

Explikation möglicher inhaltlicher Forschungsgegenstände für eine Wissenschaftskollaboration der Mathematik- und Physikdidaktik – Eine vergleichende Inhaltsanalyse aktueller deutschsprachiger Handbücher und Tagungsbände

FREDERIK DILLING, SIEGEN; KATHRIN HOLTEN, SIEGEN & EDUARD KRAUSE, SIEGEN

Zusammenfassung: In diesem Beitrag wird ein möglicher Rahmen für die Zusammenarbeit verschiedener Fachdidaktiken vorgestellt. Zudem werden die für solche Wissenschaftskollaborationen potentiellen, didaktischen Themen mittels einer strukturierenden Analyse von aktuellen deutschsprachigen Handbuch- und Tagungsbandbeiträgen am Beispiel der Mathematik- und Physikdidaktik expliziert. Die dargestellten Themen können eine Basis für weitere sog. fachdidaktischverbindende Lehr- und Forschungsprojekte bilden, wie z. B. die Einführung einer integrierten LehrerInnenbildung an Hochschulen.

Abstract: In this article, a possible framework for the cooperation of different didactics is presented. In addition, the potential didactic topics for such a scientific collaboration are explained by means of a structuring analysis of current German handbooks and conference proceedings using the example of mathematics didactics and physics didactics. The topics presented in this article can form a basis for further so-called subject-didactics-connecting projects.

1. Das Potential der Kollaboration verschiedener Fachdidaktiken

Fasst man Fachdidaktik als die Wissenschaft vom Lehren und Lernen des Fachs auf, kann man in fachdidaktischen Arbeiten verschiedene Fragen aufwerfen. Die zwei möglichen Schwerpunkte „Unterricht“ im Teilbereich Lernen und „LehrerInnenbildung“ im Teilbereich Lehren werden im Folgenden diskutiert, um daran das Potential der Zusammenarbeit verschiedener Fachdidaktiken zu erörtern. Abschließend wird in diesem Kapitel ein möglicher Rahmen für fachdidaktische Kollaborationen auf Forschungs- sowie Lehrebene vorgestellt, in dem es möglich werden soll, die Perspektiven verschiedener Fachdisziplinen in die didaktische Arbeit zu integrieren.

1.1 Interdisziplinarität an allgemeinbildenden Schulen

Allgemeinbildender Mathematikunterricht sollte es Lernenden¹ ermöglichen, Erscheinungen der Welt aus den Bereichen Natur, Gesellschaft und Kultur in einer spezifischen Weise wahrzunehmen und zu verstehen (Winter, 1996). Gleichmaßen ist die Beschreibung von Phänomenen der Realität zentrales

Ziel des Physikunterrichts (Kircher, 2015a). Diese „Erscheinungen“ bzw. Phänomene gehorchen allerdings keinen Fächergrenzen, die wiederum das Lernen in Regelschulen prägen. Auch wenn es aus vielerlei Hinsicht sinnvoll ist, Wissen in Fächern zu strukturieren und mit fachspezifischen Methoden an Probleme heranzugehen, so könnte Lernen auch in nicht ausschließlich isolierten „Schubladen“ geschehen. Die einzelnen Disziplinen könnten dann vielmehr sinnvoll vernetzt wahrgenommen werden. Seit der Kompetenzorientierung um die Jahrtausendwende wird das didaktische Potential interdisziplinären Arbeitens beim Lehren und Lernen in den Schulen tatsächlich stärker betont (Labudde, 2014 oder auch Moegling, 2010). Dabei haben sich unterschiedliche Varianten entwickelt (Caviola, 2012 oder auch Labudde, 2008). Neben den Lehr-Lern-Arrangements, die die klassischen Unterrichtsgrenzen aufbrechen (z. B. Projektunterricht), scheint es sich zu lohnen, den normalen Fachunterricht gelegentlich fachübergreifend zu gestalten, um Querverbindungen zu den benachbarten Fächern herzustellen, wo es sich anbietet. So kann das Schulfach Mathematik beispielsweise auf zahlreiche Anwendungen aus dem Bereich MINT (Physik, Chemie, Biologie, Informatik, Technik, ...) aber auch aus den Gesellschaftswissenschaften (Politik, Erdkunde, ...) oder aus dem künstlerischen Bereich (Sport, Musik, Kunst, ...) etc. zurückgreifen, die im fächerverbindenden Unterricht sinnstiftend erfahrbar werden. Neben den bekannten Vorteilen bringt interdisziplinäres Arbeiten jedoch auch Herausforderungen mit sich, wie z. B. das Zusammenbringen unterschiedlicher Methoden der beteiligten Fächer, die Bewältigung von Kommunikationsschwierigkeiten, die Identifikation gemeinsamer Forschungsgegenstände sowie der Umgang mit Vorurteilen gegenüber anderen Fächern (Defila & Giulio, 2002, S. 24). Damit Lehrerinnen und Lehrer diesen Herausforderungen begegnen können, scheint es sinnvoll zu sein, sie bereits in der ersten Phase der LehrerInnenbildung auf interdisziplinäres Arbeiten vorzubereiten. Auf diese Weise berühren wir den zweiten Aspekt der Arbeit einer Fachdidaktik als Wissenschaft vom Lehren und Lernen des Fachs, nämlich die Beschäftigung mit Fragen nach einer den o. g. Bedürfnissen gerecht werdenden LehrerInnenbildung.

1.2 Interdisziplinarität in der universitären LehrerInnenbildung

Es fällt auf, dass die universitäre LehrerInnenbildung nach wie vor weitestgehend disziplinenorientiert organisiert ist. Daher wundert es nicht, wenn Lehrerinnen und Lehrer die mangelnde Passung einer nicht integrierten LehrerInnenbildung mit den Anforderungen eines fachübergreifenden Unterrichts (Bröll & Friedrich, 2012) immer wieder als Einwand gegen einen integrierten Unterricht anführen (Jürgensen, 2012; Rehm et al., 2008). Um Synergien zwischen einzelnen Fächern zu nutzen und interdisziplinäres Lehren und Lernen mehr sein zu lassen als die additive Aneinanderreihung von Wissens-elementen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen (Wellensiek, 2002, S. 80), sollten die Hochschulen dann nicht ganzheitliche Konzepte zur integrativen LehrerInnenbildung entwickeln und umsetzen? Solche Fragen, die die Wirkungsbereiche einer einzelnen Fachdidaktik überschreiten, sind von dieser allein nur begrenzt erkundbar. Die Physikdidaktik z. B. ist laut Kircher von sich aus bereits eine interdisziplinäre Wissenschaft (Kircher, 2015b, S. 9), dabei führt er jedoch ausschließlich andere Fachwissenschaften wie die Pädagogik oder die Chemie etc. auf, ohne andere Fachdidaktiken in den Blick zu nehmen. Daher versucht dieser Beitrag fachdidaktikenübergreifende Forschungs- und Lehrprojekte am Beispiel der integrativen LehrerInnenbildung zu motivieren und eine Zusammenarbeit der verschiedenen Fachdidaktiken in möglichen Themen für eine Wissenschaftskollaboration zu konkretisieren.

1.3 Fachdidaktischverbindendes Forschen und Lehren als Rahmen der Zusammenarbeit

Bei fächerverbindendem Unterricht sind eine übergeordnete Fragestellung und damit auch der Sachkontext die verbindenden Elemente zwischen den beteiligten Disziplinen (Peterßen, 2000). Nach Überzeugung der Autoren reicht es aber nicht aus, wenn Lehrerinnen und Lehrer die fachlichen Inhalte der benachbarten Fächer berücksichtigen, die das eigene Fach tangieren. Auch fachdidaktische Inhalte der Bezugsdisziplinen erweisen sich sowohl mit Blick auf fächerverbindende Lernarrangements als auch mit Blick auf Fachunterricht als nützlich (siehe Kapitel 2). Um dies zu erreichen, könnten die Fachdidaktiken bei der universitären LehrerInnenbildung enger zusammenarbeiten. An der Universität Siegen wurde aus diesem Grund ein Forschungsverbund namens MINTUS (Forschungsverbund der MINT-Didaktiken an der Universität Siegen) gegründet. In konkreten Lehrprojekten wie FäMaPDi (Fächerverbindendes Seminar der Mathematik- und Physikdidaktik) (Krause & Witzke, 2015) und InForM PLUS

(Interdisziplinäres Forschungsseminar zur Mathematik- und Physikdidaktik in der LehrerInnenbildung an der Universität Siegen) (Holten & Krause, 2019) arbeiten die Mathematik- und die Physikdidaktik im Format des Team-Teachings zusammen. Auch gemeinsame Forschungsprojekte wie z. B. das Projekt „Inter TeTra“ (Interdisciplinary Teacher Training) in Vietnam werden in Siegen in Kooperation der Mathematik- und Physikdidaktik geführt (Krause et al., 2019). Für diese Form der interdisziplinären Zusammenarbeit wurde in Siegen der Begriff des „Fachdidaktischverbindenden Forschens und Lehrens“ geprägt. Dieser ist angelehnt an Begriffe wie fächerverbindendes (im Sinne von Peterßen, 2000) oder fächerübergreifendes Lehren und Lernen (Beckmann, 2003), will aber noch stärker die interdisziplinäre Wissenschaftskollaboration von Fachdidaktiken betonen (im Sinne von Balsinger, 1996). Nach Witzke und Holten (2017) basiert fachdidaktischverbindendes Forschen und Lehren auf einer interdisziplinären Kollaboration verschiedener Fachdidaktiken. Die einzelnen fachdidaktischverbindenden Vorhaben folgen dabei einer übergeordneten gemeinsamen Zielsetzung und berücksichtigen neben dem geeigneten inhaltlichen Thema als Ausgangspunkt der Zusammenarbeit disziplinspezifische Auffassungen, Methoden, Arbeitsweisen, Denkhaltungen und Erkenntniswege. Die gemeinsame Perspektive ist verortet im Spannungsfeld von Konsolidierung und Kooperation der Fachdidaktiken.

Perspektivisch ist eine solche Wissenschaftskollaboration auf Ebene der Fachdidaktiken auch im Bereich der Geisteswissenschaftsdidaktiken, Gesellschaftswissenschaftsdidaktiken oder darüber hinaus denkbar. Die oben beschriebene Art des fachdidaktischverbindenden Arbeitens ist jedoch aus der Perspektive der Mathematikdidaktik heraus mit Blick auf die MINT-Didaktiken entstanden. Dies liegt augenscheinlich in der als besonders fruchtbar wahrgenommenen Verbindung der beiden Schulfächer Mathematik und Physik begründet. Bei genauer Betrachtung sticht diese Verbindung aber erst dann hervor, wenn die an der Kollaboration beteiligten Wissenschaftler auf Expertise in den betreffenden fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Disziplinen zurückgreifen können. Durch den biografischen Hintergrund der Autoren sowie die stetige Zusammenarbeit der Wissenschaftler im Forschungsverbund MINTUS wurde also die verbindende Perspektive auf die beiden Disziplinen Mathematikdidaktik und Physikdidaktik erst ermöglicht. Ein Herausarbeiten der Verbindung zwischen anderen Fachdidaktiken ist zwar denkbar – ebenso kann eine Verbindung von Mathematik zu anderen Schulfächern sinnstiftend sein – jedoch können die Autoren dies im radikalen Sinne des fachdidaktischverbindenden Ansatzes nicht leisten. In Kapitel

2 wird daher ausgeführt, warum sich eine Zusammenarbeit der beiden Didaktiken der Fächer Mathematik und Physik in besonderer Weise eignet, um z. B. angehende Lehrerinnen und Lehrer schon in der ersten Ausbildungsphase auf interdisziplinäres Arbeiten an Schulen vorzubereiten. Der inhaltliche Kern dieses Artikels wird in Kapitel 3 dargestellt, indem relevante didaktische Themen für einen derartigen Austausch auf Lehr- und Forschungsebene expliziert werden.

2. Das Potential der Kollaboration von Mathematik- und Physikdidaktik

Grundsätzlich sehen die Autoren den wissenschaftlichen Austausch zu Fachdidaktiken jeden Faches als wertvoll an. Da es doch der allgemeinen und der Fachdidaktik im Kern um dasselbe geht, nämlich um die (Wissens-) Entwicklung des Lernenden, sind fruchtbare Diskussionen und Zusammenarbeiten zwischen allen Fachdidaktiken denkbar. Eine Kollaboration der Fachdidaktiken innerhalb der MINT Fächer ist aber besonders sinnvoll, da zahlreiche Probleme aus den Bereichen Natur und Technik diese Fächer miteinander vereinen. Die Zusammenarbeit der Mathematik- und Physikdidaktik bietet sich deshalb an, weil Mathematik und Physik als Fachwissenschaften zahlreiche Synergien aufweisen. In der historischen Genese haben sich Mathematik und Physik mannigfach wechselseitig befruchtet. So wurde etwa die Infinitesimalrechnung von Newton im kinematischen Kontext entwickelt oder andererseits konnten nichteuklidische Geometrien von Einstein zur Beschreibung der Allgemeinen Relativitätstheorie genutzt werden. Oft kann man historische Wissenschaftler in diesem Bereich wie z. B. Newton, Euler oder Gauß beiden Gebieten gleichermaßen zuordnen. Dabei sind es nicht nur die Inhalte, die die Schnittmenge beider Wissenschaften ausmachen, sondern auch methodisch weisen sie zahlreiche Parallelen auf: Seit Galilei sind logische Schlussformen im Prozess der Erkenntnisgewinnung in der Physik unerlässlich, sodass viele physikalische Theorien dem axiomatischen Vorbild der Mathematik folgen. So wurde und wird z. B. die Mechanik Newtons sprichwörtlich mit „more geometrico“ beschrieben, um auszudrücken, dass sie mit dem axiomatisch-deduktivem Charakter dem Vorbild der (Euklidischen) Geometrie entspricht (Schimoni, 1990). Diese sukzessive Mathematisierung der Physik wie sie sich in der Geschichte vollzogen hat, ist auch im Verlauf des Schulcurriculums der Physik wiederzufinden. In den höheren Klassen werden beispielsweise Kenntnisse aus den Bereichen Geometrie, Algebra und Analysis für ein Verständnis der Physik vorausgesetzt.

Blickt man in den Mathematikunterricht, so ist die Physik dort sehr präsent: Sie liefert an vielen Stellen

der Schulmathematik authentische Anwendungskontexte, da Lernende im Mathematikunterricht erfahren sollen wie mittels Mathematik Erscheinungen der Natur in einer spezifischen Art wahrgenommen und verstanden werden können (Winter, 1996). Lehrkräfte sind im Mathematikunterricht aber nicht selten überfordert mit physikalischen Kontexten, weil es ihnen an physikalischem Fachwissen und an physikdidaktischem Wissen fehlt (Krause, 2017a). Auch methodisch lässt sich die Physik im Mathematikunterricht wiederfinden. So ist beispielsweise das Experimentieren, gemeinhin als eine gängige naturwissenschaftliche Methode verstanden, zentral im modernen Mathematikunterricht. In der mathematikdidaktischen Reflexion des Experimentierens geht es dabei nicht nur um innermathematisches Experimentieren (Philipp, 2013), sondern auch um Experimente an und mit realen Gegenständen, wie z. B. Zeichenblattfiguren im Geometrieunterricht oder Kurven im Analysisunterricht (Struve, 1990; Witzke, 2014). Dies hat zur Folge, dass Methoden der Erfahrungs- und Naturwissenschaften wichtig für den Mathematikunterricht sind. Die physikdidaktischen Reflexionen zum methodischen Vorgehen in empirischen Theorien erweisen sich damit auch für die Mathematikdidaktik als relevant.

Dass andererseits auch die Mathematikdidaktik eine hohe Relevanz bei der Erforschung von Lehr- und Lernprozessen in der Physik hat, kann an einigen Punkten festgemacht werden (Krause, 2017b). Ob der hohen Präsenz mathematischer Notationen und Techniken in der quantitativ arbeitenden Physik sind z. B. mathematikdidaktische Aspekte beim Umgang mit Formeln für die Physikdidaktik sehr interessant.

In den folgenden beiden Abschnitten wird kurz ausgeführt, worin die Verbindung der beiden Schulfächer Mathematik und Physik gesehen werden kann und worin das Potential einer entsprechenden Zusammenarbeit beider Fachdidaktiken bestehen kann.

2.1. Gründe für eine Zusammenarbeit aus Sicht der Physikdidaktik

Da die Physik nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ arbeitet, ist die Mathematik für die Physik unabdingbar. Neben dem offensichtlichen Werkzeugcharakter, den die Mathematik in der Physik einnimmt, wird auch erwähnt, dass die Mathematik die Sprache der Physik sei. Oft wird dabei Galilei mit folgendem Zitat bemüht:

Die Philosophie steht in dem großen Buch – ich meine das Universum – das stets offen vor uns liegt, aber wir können es erst verstehen, wenn wir die Sprache und die Buchstaben verstehen, in denen es geschrieben ist. Es ist in der Sprache der Mathematik geschrieben und seine Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere ge-

ometrische Figuren, ohne die es dem Menschen unmöglich ist, ein einziges Wort daraus zu verstehen. (Galilei, 1623)

Deutet man dieses Zitat aber im historischen Kontext, so merkt man, dass es Galilei nicht primär um den Sprachaspekt der Mathematik ging, sondern um die erkenntnistheoretische Rolle der Mathematik in der Physik. Zur Zeit Galileis war die aristotelische Sichtweise vorherrschend, dass das Buch der Natur in folgender Weise zu lesen sei: Die Vokabeln sind sinnlich wahrnehmbare Qualitäten wie Wärme, Farbe usw. Die Grammatik dieser Sprache ist durch die aristotelische Beziehungslogik vorgegeben. Durch die Implementierung der Mathematik in die Physik nimmt Galilei die quantitative Erfassung von Naturphänomenen in den Fokus, im Gegensatz zur bis dahin geltenden Lehrmeinung des Aristoteles, die sich nur für qualitative Veränderungen interessiert hat (vgl. Schimony, 1990). Seit Galilei sind nicht mehr empirisch-induktive Schlüsse maßgeblich für die Erkenntnisgewinnung in der Physik, sondern logisch-deduktive Schlüsse.

Er meint wörtlich:

Ich weiß ohne den Versuch, dass das Ergebnis so ausfällt, wie ich sage, weil es so sein muss. (Galilei, zitiert nach Kuhn, 2016, S. 145)

Oder

Ich habe ein Experiment darüber angestellt, aber zuvor hatte die natürliche Vernunft mich ganz fest davon überzeugt, dass die Erscheinung so verlaufen musste, wie sie tatsächlich verlaufen ist. (ebd.)

Die deduktive Denk- und Arbeitsweise der Mathematik ist also maßgeblich für die Physik. Durch diese Implementierung der Mathematik in die Physik in der sogenannten experimentellen Methode gilt Galilei als der Begründer der Physik im eigentlichen Sinne (Schwarz, 2009; Kuhn, 2016 oder auch Galili, 2018). Die Mathematik gehört folglich genuin zur Physik. Wohl unterscheidet sich Schulphysik von der allgemeinen Physik gerade im Gebrauch der Mathematik (Krause, 2016a), aber auch im Physikunterricht ist die Mathematik unerlässlich (DPG, 2016). Dem muss auch die physikdidaktische Forschung Rechnung tragen. Die Rolle der Mathematik beim Lehren und Lernen von Physik wurde in der jüngeren Vergangenheit in einigen Arbeiten thematisiert. Exemplarisch sei auf die Dissertationen von Olaf Uhden (2012) und Olaf Krey (2012) sowie auf das Heft zur Mathematik im Physikunterricht von Pospiech und Karam (2016) verwiesen. Dabei setzt sich die Physikdidaktik vor allem mit den praktischen Problemen auseinander, die SchülerInnen im Umgang mit Formeln haben, wie etwa dem Umgang mit unterschiedlichen mathematischen Darstellungsformen (Geyer & Pospiech, 2017) oder dem Umgang mit Formeln (Strahl et al., 2017,

2015; Strahl & Thoms, 2012; Müller & Heise, 2006). Es zeigt sich, dass die Probleme, die SchülerInnen mit der Mathematik im Physikunterricht haben, daher rühren, dass mathematisches Wissen und Fertigkeiten nur sehr schwer in den Physikunterricht transferiert werden können (Rebello et al., 2007; Redish, 2006; Bing & Redish, 2009). Wie sollte die Physikdidaktik mit den Herausforderungen, die die Mathematik in der Physik mit sich bringt, umgehen? Im Physikunterricht sind damit nicht nur Inhalte der Mathematik und deren technische Handhabung relevant, sondern auch die Denk- und Arbeitsweisen der Mathematik (Pospiech et al., 2015) und damit auch die Didaktik der Mathematik (Krause, 2017). In den genannten Forschungen der Physikdidaktik zur Rolle der Mathematik in der Physik wird zwar auch die Mathematikdidaktik bedacht, aber es sind in der Regel keine Forschungstätigkeiten, bei denen Physik- und Mathematikdidaktik im Sinne des fachdidaktisch verbindenden Arbeitens (vgl. Abschnitt 1.3) zusammenkommen. Eine solche Kollaboration könnte neue Perspektiven auf den Umgang mit Mathematik im Physikunterricht eröffnen, Synergien identifizieren und nutzen.

2.2. Gründe für eine Zusammenarbeit aus Sicht der Mathematikdidaktik

The most distinctive characteristic which differentiates mathematics from the various branches of empirical science, and which accounts for its fame as the queen of the sciences, is no doubt the peculiar certainty and necessity of its results. (Hempel, 1945)

Mit dieser (modernen) Mathematikauffassung lässt sich argumentieren, dass die Anwendung (und damit auch der Bezug zur Physik) nicht genuin zur Mathematik gehört, wodurch eine Zusammenarbeit beider Didaktiken als optionaler Luxus abgetan werden könnte. Dabei wird aber verkannt, dass Schulmathematik in der Regel eine andere Auffassung von Mathematik vermittelt als in Bezug auf die Fachwissenschaft natürlich wäre. Die ontologische Loslösung der Mathematik von der Realität wurde in der Geschichte erst relativ spät vollzogen – um die Jahrhundertwende vom 19. zum 20. Jh. Diese wird meist mit David Hilbert in Verbindung gebracht. Albert Einstein bringt die Notwendigkeit dieser Trennung von Mathematik und Wirklichkeit in seinem berühmten Zitat auf den Punkt.

Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und insofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit. (Einstein, 1921).

Die Natur der modernen Mathematik, die mit Hilbert eingeleitet wurde, ist geprägt von analytischer Strenge und begrifflicher Exaktheit und bietet damit die von Einstein hervorgehobene Sicherheit, die

keine Naturwissenschaft erreicht. Die Schulmathematik hat in der Regel gar nicht den Anspruch dieses Abstraktionsniveau zu erreichen, oder wie Lisa Hefendehl-Hebeker es ausdrückt:

Jedoch bleibt insgesamt die ontologische Bindung an die Realität bestehen, wie es bildungstheoretisch und entwicklungspsychologisch durch Aufgabe und Ziele der allgemeinbildenden Schule gerechtfertigt ist. Damit geht die Schulmathematik kaum über das begriffliche Niveau und den Wissensstand des 19. Jahrhunderts hinaus. (Hefendehl-Hebeker, 2016, S. 16)

Das bedeutet nicht nur, dass Anwendungen in der Schulmathematik unabdingbar sind, sondern dass empirische Wahrnehmungen genuin zur Schulmathematik gehören. Schulmathematik kann damit als Quasi-Naturwissenschaft bezeichnet werden (Krause, 2016a): Fragestellungen werden empirisch an Phänomenen motiviert, bei der Wissenserkundung fließen empirisch gewonnene Erkenntnisse als Argumente ein und auch die Wissensbegründung geschieht durch die Prüfung an der Empirie. Diese so genannte empirische Auffassung von Mathematik wurde vor allem durch die deskriptiven Forschungen von Alan Schoenfeld (1985) offengelegt. Sie weist zahlreiche epistemologische Parallelen zur Physik auf, wenngleich die betrachteten Gegenstände unterschiedlich sind. Ein empirisch-gegenständliches Verständnis von Mathematik in der Schule muss aber keinesfalls defizitär sein. Historische Analysen (vgl. Witzke, 2009) zeigen, dass viele Mathematiker in der Geschichte der Mathematik genau eine solche Auffassung besaßen und damit auf ihrem Gebiet erfolgreich waren: so beispielsweise Moritz Pasch für die Geometrie sowie Gottfried Wilhelm Leibniz oder Jakob und Johann Bernoulli für die Analysis. Diese historischen Fallbeispiele legen nahe, dass eine empirisch-gegenständliche Auffassung von Mathematik auch für den Schulunterricht angemessen erscheint.

Durch diese Parallelen zur Physik (oder zur Naturwissenschaft im Allgemeinen) halten auch zunehmend naturwissenschaftliche Methoden Einzug in den Mathematikunterricht, wie z. B. das Experimentieren (Goy & Kleine, 2015a). In der MathematiklehrerInnenbildung gehört der Erwerb experimenteller Kompetenz aber nicht zu den kanonischen Inhalten. Diesbezüglich weisen die Naturwissenschaften eine Expertise auf, die auf einer langen Methodentradiation gründet.

Neben diesen Berührungspunkten von Mathematik- und Physikdidaktik auf methodischer Ebene, sind auch auf inhaltlicher Ebene Schnittpunkte zu vermuten. Wie eingangs erwähnt, sollen SchülerInnen mittels Mathematik Erscheinungen der Welt auch aus dem Bereich der Natur in einer spezifischen Weise wahrnehmen und verstehen (Winter, 1996). Auch der Blick in die Bildungsstandards Mathematik macht

deutlich, dass ein wichtiger Auftrag des Mathematikunterrichts darin besteht, Mathematik in authentischen Anwendungssituationen mit realem Sachkontext zu erfahren (vgl. Winter, 2016; Büchter & Henn 2015; Baumann et al., 1994). Zwar gibt es bereits vielfältige Ansätze zur Einbettung von außermathematischen Anwendungskontexten in den Unterricht, leider offenbaren sich diese aber teilweise immer noch als in außermathematische Situationen eingekleidete Standardrechenstechniken (Jahnke, 2005 oder auch Baumann, 2011), oder es werden sehr viele verschiedene Anwendungsbezüge eröffnet, die dann nicht konsequent ausgeführt werden und verwirrend wirken können (vgl. Witzke, 2014). Zur authentischen Kontextualisierung der Mathematik bietet sich vor allem die Physik an, da diese Verbindung oft auch der geschichtlichen Genese der Inhalte entspricht (der Ableitungsbegriff in der Kinematik, Kräfte als Vektoren etc.). Auch hier gilt, dass die entsprechenden physikalischen Inhalte kaum bis gar nicht Teil der MathematiklehrerInnenbildung sind. Damit muss die/der Mathematiklehrende bei fachübergreifenden Inhalten quasi fachfremd unterrichten, weil ihm nicht nur das inhaltliche Wissen fehlt, sondern auch die entsprechende physikdidaktische Expertise.

Durch eine Kollaboration der Mathematikdidaktik mit der Physikdidaktik könnten physikalische und physikdidaktische Inhalte in die MathematiklehrerInnenbildung implementiert werden und stoffdidaktische Konzepte erarbeitet werden, die für beide Seiten gewinnbringend sein können (siehe u. a. Witzke & Krause, 2017).

3. Analyse von Handbüchern und Tagungsbänden zur Identifikation vergleichbarer Inhalte

Die in Kapitel 2 formulierten potentiellen Synergien zwischen Mathematik- und Physikdidaktik werden mittels strukturierender Analyse² von Handbüchern beider Fachdidaktiken sowie von Tagungsbänden systematisch herausgestellt. Die Forschungsfragen lauten dabei:

- 1) Welche der aktuell im deutschsprachigen Raum diskutierten fachdidaktischen Themenbereiche innerhalb der Mathematik- und Physikdidaktik scheinen sich auf verwandte Inhalte zu gründen und welche dieser Themenbereiche eignen sich für einen Vergleich im Sinne des fachdidaktisch-verbindenden Ansatzes?
- 2) Welche für eine Wissenschaftskollaboration der Mathematikdidaktik und Physikdidaktik möglichen Themen lassen sich explizieren?

Der Ausdruck „verwandt“ in der ersten Forschungsfrage bedeutet in diesem Kontext, dass sowohl in der Mathematik- als auch in der Physikdidaktik gleiche oder ähnliche Begriffe verwendet werden, dass es sich um das gleiche Thema handelt, das von beiden Fachdidaktiken bearbeitet wird, oder dass innerhalb beider Fachdidaktiken gleiche oder ähnliche Phänomene beschrieben werden. Mithilfe der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2000) wurde diese erste Forschungsfrage bearbeitet. Für die in Forschungsfrage 2 anvisierte Explikation der möglichen Themen wurde teilweise weitere Literatur hinzugezogen. Die so identifizierte inhaltliche Schnittmenge kann die Grundlage für weitere fachdidaktisch verbindende Forschungs- und Lehrprojekte bilden, wie z. B. eine Entwicklung der eingangs beschriebenen integrativen LehrerInnenbildung an Hochschulen.

3.1 Corpusbildung

Zur Offenlegung relevanter Themengebiete für einen Austausch zwischen Mathematik- und Physikdidaktik wurden die Inhalte aus neun grundlegenden mathematik- bzw. physikdidaktischen Handbüchern sowie die Beiträge der beiden großen deutschsprachigen Tagungen, der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, aus den Jahren 2014 bis 2017 vergleichend analysiert. Ein grundlegendes Kriterium für diese Eingrenzung der Stichprobe war die Durchführbarkeit. Dies betrifft zum einen die limitierte Personalkapazität zur Auswertung und zum anderen die Verfügbarkeit des Materials. Die genannten Tagungsbandbeiträge waren zum Zeitpunkt der Analyse bis zum Jahr 2017 online abrufbar. Beiträge für Tagungen, die weitere Naturwissenschaften betreffen (z. B. GDGP-Tagung, MNU-Kongress), wurden in die Analyse nicht miteinbezogen, um den Fokus gezielt auf Verbindungen zwischen Mathematik- und Physikdidaktik zu setzen. Zudem wurde sich auf deutschsprachige Literatur beschränkt. Die analysierten Tagungsbände stellen einen Überblick über die aktuellen Forschungsinteressen der Mathematik- und Physikdidaktik dar. Die neueren und älteren Handbücher nehmen besonders traditionelle Erkenntnisinteressen der beiden deutschen Forschungscommunities in den Blick. Gemeinsam bilden sie den Analysekorpus der vorliegenden Untersuchung.

Folgende Handbücher wurden analysiert:

- Bruder, Regina, Hefendehl-Hebeker, Lisa, Schmidt-Thieme, Barbara & Weigand, Hans-Georg (Hrsg.) (2015). *Handbuch der Mathematikdidaktik*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kircher, Ernst, Girwidz, Raimund & Häußler, Peter (Hrsg.) (2015). *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kircher, Ernst & Schneider, Werner (Hrsg.) (2002). *Physikdidaktik in der Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Krauthausen, Günter (2018). *Einführung in die Mathematikdidaktik – Grundschule*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Leuders, Timo (Hrsg.) (2003). *Mathematik Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. Berlin: Cornelsen.
- Reiss, Kristina & Hammer, Christoph (2013). *Grundlagen der Mathematikdidaktik*. Basel: Birkhäuser.
- Mikelskis, Helmut (Hrsg.) (2006). *Physik Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. Berlin: Cornelsen.
- Wiesner, Hartmut, Schecker, Horst & Hopf, Martin (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Hallbergmoos: Aulis.
- Zech, Friedrich (2002). *Grundkurs Mathematikdidaktik*. Weinheim, Basel: Beltz.

Diese Tagungsbände wurden der Analyse zugrunde gelegt:

- Beiträge zum Mathematikunterricht 2014-2017 sowie das Vortragsprogramm der GDM 2018.
- PhyDid B 2014-2017 sowie das Vortragsprogramm der DPG Tagung für Physikdidaktik 2018.

3.2 Kategorienbildung

Die Kategorienbildung wurde mit der Methode der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2000) induktiv vorgenommen. Diese kann in vier wesentliche Schritte unterteilt werden. Zunächst wurde das zu analysierende Material detailliert beschrieben. Hierbei handelt es sich um die Beiträge in den oben genannten Handbüchern und Tagungsbänden. Der Inhalt eines Einzelbeitrags bildete die Analyseeinheit, welche auf Verwandtschaft zwischen den Disziplinen Mathematik- und Physikdidaktik hin untersucht wurde. Im zweiten Schritt der Inhaltsanalyse wurden die relevanten Textteile in einer auf den Inhalt beschränkten Form zusammengefasst (Paraphrasierung). Diese Paraphrasen wurden dann auf einer definierten Abstraktionsebene generalisiert, d. h. aus ihnen wurde induktiv ein erster Code generiert. Die Abstraktionsebene ist im konkreten Fall das Thema der Beiträge, wobei die Generalisierung bereits von einer interdisziplinären Perspektive

(Mathematik- und Physikdidaktik) heraus erfolgte. Im dritten Schritt wurden diese Codes in einem Kategoriensystem weiter zusammengefasst. Zudem wurden die induktiv gewonnenen Unterkategorien durch das Bilden von sieben Oberkategorien gebündelt. Im vierten Schritt wurde das induktiv aus dem Material gewonnene Kategoriensystem anhand des gesamten Datenmaterials durch erneute Anwendung überprüft. Es konnte also jedem Beitrag eindeutig eine einzige Kategorie (im Falle K6 oder K7) bzw. Unterkategorie (bei K1 bis K5) zugewiesen werden.

3.3 Ergebnis

Die Analyse der Handbücher und Tagungsbände hat insgesamt 24 verschiedene Kategorien ergeben, die verwandte Themenbereiche der Mathematik- und Physikdidaktik darstellen. Die gebildeten Kategorien lassen sich in sieben Oberkategorien mit teilweiser Aufsplitterung in mehrere Unterkategorien zusammenfassen und ermöglichen letztlich eine Betrachtung von 24 zwischen beiden Fachdidaktiken vergleichbaren Themenbereichen. Eine entsprechende Auflistung der Kategorien ist in Tabelle 1 dargestellt. Als kleine Auswahl von Ankerbeispielen zu einer Kategorie sind beispielweise zu nennen: Die Kategorie „Mathematik-/ Physikdidaktik als Wissenschaftsdisziplin“ (K1.2) bekommt das Ankerbeispiel „Zur geschichtlichen Entwicklung der Mathematikdidaktik als wissenschaftliche Disziplin (Struve, 2015)“ aus der Mathematikdidaktik sowie „Einführung: Was ist Physikdidaktik? (Kircher, 2015b)“ aus der Physikdidaktik. In Tabelle 2 im Anhang sind zusätzlich Ankerbeispiele zu allen 24 Kategorien angegeben. Im folgenden Kapitel dieses Beitrags werden einige der herausgestellten Themen als Grundlage für weitere verbindende Projekte expliziert.

<p>K1: Mathematik(didaktik) und Physik(didaktik) als Wissenschaftsdisziplin</p> <p>K1.1: Relevanz von Mathematik / Physik</p> <p>K1.2: Mathematik-/ Physikdidaktik als Wissenschaftsdisziplin</p> <p>K1.3: Auffassungen von Mathematik / Physik</p> <p>K1.4: Geschichte der Mathematik / Physik (im Unterricht)</p>
<p>K2: Fachdidaktische Theorien</p> <p>K2.1: Fachdidaktische / Lerntheoretische Prinzipien</p> <p>K2.2: Schülervorstellungen / Präkonzepte / Grundvorstellungen / ...</p> <p>K2.3: Stoffdidaktik</p>
<p>K3: Ziele und Kompetenzen im Mathematik- und Physikunterricht</p> <p>K3.1: Ziele und Kompetenzen</p> <p>K3.2: Modell / Modellieren / Anwendungen</p> <p>K3.3: Begriffs-/ Konzeptbildung</p> <p>K3.4: Problemlösen</p> <p>K3.5: Argumentieren und Beweisen</p> <p>K3.6: Experimentieren</p> <p>K3.7: Kommunizieren / Sprache</p>
<p>K4: Lehrerbildung</p> <p>K4.1: Lehrerbildung / Lehrerprofessionalisierung / Kompetenz von Lehrkräften</p> <p>K4.2: Schülerlabore / Lehr-Lernlabore</p> <p>K4.3: Übergang Schule Hochschule / Studienbeginn</p>
<p>K5: Unterrichtspraktische und pädagogische Themen</p> <p>K5.1: Planung, Analyse und Organisation von Unterricht</p> <p>K5.2: Unterrichtsmethoden</p> <p>K5.3: Leistungsbeurteilung und Diagnose</p> <p>K5.4: Medien</p> <p>K5.5: Differenzierung / Heterogenität / Inklusion</p>
<p>K6: Aufgaben</p>
<p>K7: Fächerverbindung / Fachdidaktikenverbindung</p>

Tab. 1: Induktiv entwickeltes Kategoriensystem der strukturierenden Analyse.

4. Explikation möglicher Themen für eine Wissenschaftskollaboration der Mathematik- und Physikdidaktik

Die aus der vergleichenden Analyse gewonnenen Kategorien bilden genau die Themenbereiche ab, die in beiden Fachdidaktiken, also innerhalb der Mathematik- und der Physikdidaktik, aktuell diskutiert werden und von verwandten Inhalten geprägt sind. Sie beschreiben sowohl traditionelle (z. B. K1.1 Relevanz von Mathematik/Physik) als auch neue (z. B. K3 Ziele und Kompetenzen im Mathematik- und Physikunterricht) Erkenntnisinteressen der beiden Fachdidaktiken. Die insgesamt 24 Kategorien unterscheiden sich in ihrem didaktischen Potential hinsichtlich eines Vergleichs im Sinne des fachdidaktischverbindenden Ansatzes. D. h. in Hinblick auf die eingangs geschilderte integrierte LehrerInnenbildung oder einen interdisziplinären Wissenschaftsaustausch mit anderen Zielen besitzen die hier dargestellten Kategorien unterschiedliche Relevanz. Im Folgenden wird die Auswahl für den tieferen fachdidaktischverbindenden Vergleich bzw. für die Explikation von möglichen Themen kurz begründet.

In der ersten Oberkategorie K1 zur Mathematik und Physik bzw. ihren Fachdidaktiken als Wissenschaftsdisziplin scheint insbesondere die Kategorie zu Auffassungen von Mathematik und Physik fruchtbar zu sein. Die anderen Kategorien sind sehr fachspezifisch und werden daher in diesem Rahmen nicht weiterverfolgt. Ein Austausch zu fachdidaktischen Theorien (Oberkategorie K2) kann in vielerlei Hinsicht gewinnbringend sein, sodass alle drei Kategorien sowohl für die Lehramtsausbildung als auch für eine Wissenschaftskollaboration im Bereich Forschung relevant zu sein scheinen. Im Weiteren werden daher alle drei Kategorien in dieser zweiten Oberkategorie in die Betrachtungen mit einbezogen. Bezogen auf die in der dritten Oberkategorie K3 aufgeführten Ziele und Kompetenzen des Mathematik- und Physikunterrichts ist weniger der Austausch über Kompetenzen im Allgemeinen interessant für die weiteren Betrachtungen, als vielmehr der Vergleich der Aspekte einzelner Kompetenzen. Daher werden alle Kategorien, die einzelne Kompetenzen bzw. Ziele des Mathematik- und Physikunterrichts betreffen, im Folgenden erneut aufgegriffen und fachdidaktischverbindend verglichen. Die Oberkategorie zur Lehrerbildung (Oberkategorie K4) ist für die Entwicklung einer fachdidaktischverbindenden LehrerInnenbildung lediglich auf der Metaebene relevant. Die in Oberkategorie K5 zusammengefassten unterrichtspraktischen und pädagogischen Themen sind wenig spezifisch für die beiden Fächer Mathematik und Physik und damit für den fachdidaktischen Austausch weniger interessant. Sie werden daher nicht

weiter berücksichtigt. Die beiden letzten Oberkategorien zu Aufgaben im Mathematik- und Physikunterricht (Oberkategorie K6) sowie zur Fächer- und Fachdidaktikenverbindung (Oberkategorie K7) scheinen für den Austausch fruchtbar zu sein und werden daher weiterverfolgt.

In den nächsten Abschnitten dieses Kapitels werden die oben als fruchtbar eingeschätzten Themenbereiche für eine fachdidaktische Zusammenarbeit zwischen der Mathematik und der Physik genauer beschrieben und dadurch für die Nutzung durch weitere Projekte, z. B. innerhalb der Entwicklung einer integrierten LehrerInnenbildung, präzisiert. Hierbei wird weiterführende Literatur hinzugezogen, die über den Analysecorpus hinausgeht.

4.1. Auffassungen von Mathematik & Physik

Unter dem Begriff Nature of Science (kurz NoS) beschäftigt sich die Physikdidaktik schon seit längerem mit dem philosophischen Hintergrund der Naturwissenschaften. Die Methodologie der Physik im Rahmen von Theoriebildungsprozessen wird dabei zu einem zentralen Unterrichtsgegenstand erklärt. Das Experiment fungiert dabei sowohl als Medium und Lernobjekt im Physikunterricht als auch als entscheidende Begründungsinstanz und als Verbindung zur Realität in der wissenschaftlichen Methodologie (Kircher, 2015c). Auch die Vorstellungen von SchülerInnen oder Studierenden zu NoS werden in der Fachdidaktik regelmäßig thematisiert (Höttecke & Rieß, 2007). Ein guter Überblick über Forschung zum Thema NoS ist im Themenheft „Was ist Physik?“ in Naturwissenschaften im Unterricht Physik gegeben (Höttecke, 2008).

Auf Seiten der Mathematikdidaktik werden zunehmend in offenen Fragebogenstudien bereichsspezifische Auffassungen zur Mathematik untersucht (Rott et al., 2015). Grigutsch, Raatz und Törner (1998) konnten in einem geschlossenen Fragebogenformat vier Faktoren der Einstellung von MathematiklehrerInnen gegenüber Mathematik ausmachen, die immer noch als Grundlage von Studien (Witzke & Spies, 2016) dienen. Hierbei handelt es sich um den Formalismus-Aspekt, bei dem der Mathematik Strenge und Exaktheit auf unterschiedlichen Ebenen zugesprochen wird, um den Anwendungs-Aspekt, der die Alltags- und Gesellschaftsrelevanz beleuchtet, um den Prozess-Aspekt, nach dem Mathematik konstruktivistisch als Prozess aufgefasst wird und um den Schema-Aspekt, der die Algorithmen und Schemata der Mathematik als Werkzeuge betrachtet.

Ein Vergleich der Auffassungsforschung der Mathematik- und Physikdidaktik kann tiefere Einsichten über die Hintergründe und Methoden des eigenen Faches und den Zusammenhang mit dem anderen Fach

liefern. Damit interdisziplinäres Lernen möglich wird, muss die wissenschaftstheoretische Basis der beteiligten Fächer bekannt sein.

4.2. Fachdidaktische und lerntheoretische Prinzipien

In der Physikdidaktik wird im Zusammenhang mit lerntheoretischen Prinzipien insbesondere mit der Elementarisierung und der didaktischen Rekonstruktion gearbeitet. Unter Elementarisierung wird die Vereinfachung realer und theoretischer Sachverhalte durch Zerlegung in elementare Sinneinheiten verstanden. Die didaktische Rekonstruktion ist die Entwicklung einer für Unterrichtszwecke sinnvollen Struktur aus diesen Sinneinheiten (Kircher, 2015d).

In der Mathematikdidaktik werden vielfältige lerntheoretische und didaktische Prinzipien genutzt, darunter auch die Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. Einige weitere Beispiele seien im Folgenden aufgeführt. Das Spiralprinzip (Bruner, 1979) besagt, dass ein mathematischer Inhalt auf abstrakterem Niveau immer wieder aufgegriffen werden sollte. Nach dem genetischen Prinzip soll das Lernen von Mathematik auch den Prozess der Entstehung dieser beleuchten (Schubring, 1978). Das operative Prinzip geht von einer Verbindung zwischen praktischen Handlungen und Denken aus (Aebli, 2001). Das Prinzip des Entdeckenden Lernens baut auf sinnlichen Erfahrungen bei selbstständig entdeckenden Unternehmungen der SchülerInnen auf (Winter, 2016). Das EIS-Prinzip betrachtet Repräsentationsformen (enaktiv, ikonisch, symbolisch) vor einem entwicklungstheoretischen Hintergrund (Bruner, 1974).

Fachdidaktische Prinzipien stellen wichtige Leitlinien für den Unterricht der einzelnen Fächer dar, können aber auch sinnvoll auf andere Fächer übertragen werden. Insbesondere die Physikdidaktik kann hier von den mathematikdidaktischen Erkenntnissen profitieren.

4.3. Vortheorien

Die Vorstellungen unterschiedlicher Personengruppen zu Inhalten aus der Mathematik bzw. Physik sind häufiger Forschungsgegenstand in beiden Didaktiken.

Die Physikdidaktik spricht in diesem Zusammenhang z. B. von Alltagsvorstellungen zu physikalischen Phänomenen, die Lernende außerhalb des Unterrichts erworben haben. Sie seien tief verankert und häufig nicht mit der wissenschaftlichen Theorie vereinbar, weshalb häufig das negativ konnotierte Wort „Fehlvorstellungen“ verwendet wird. Der Unterricht soll auf die Vorstellung der Lernenden eingehen und einen Konzeptwechsel bewirken. Dies kann entweder

durch Anknüpfen und Umdeuten der Vorstellungen oder durch einen kognitiven Konflikt und anschließendes Lernen des neuen Konzepts geschehen (Duit, 2015).

In der Mathematikdidaktik werden Schülervorstellungen in verschiedenen Kontexten untersucht. Die Grundvorstellungen nach vom Hofe (1992) können insbesondere als eine präskriptive Vorstellungsbeschreibung angesehen werden. Ausgehend vom mathematischen Inhalt werden mögliche Vorstellungen entwickelt, die der Unterricht in diesem Bereich vermitteln soll. Beispiele im Bereich der Analysis lassen sich beispielsweise bei Greefrath et al. (2016) finden. Im Gegensatz dazu gibt es viele deskriptive Perspektiven zum Vorstellungsbegriff. Darunter sind unter anderem die Subjektiven Erfahrungsbereiche nach Bauersfeld (1983) sowie unterschiedliche Ansätze im Bereich Beliefs (z. B. Pehkonen & Pietilä, 2004; Schoenfeld, 1998) zu fassen.

Den Vergleich zwischen Mathematik- und Physikdidaktik zu subjektiven Lernvoraussetzungen hat Krause (2015) genauer beleuchtet. Dabei drängt sich der Eindruck auf, dass kognitionspsychologische Aspekte von subjektiven Lernvoraussetzungen in der Mathematik schon länger diskutiert werden (u. a. Bauersfeld, 1983). Diese sind meist nicht mathematikspezifisch, sodass diese Ansätze auch in der Physikdidaktik angewendet werden könnten. Ein wissenschaftlicher Austausch in diesem Bereich scheint aus Sicht der Autoren sehr gewinnbringend.

4.4. Stoffdidaktik

Viele der stoffdidaktischen Überlegungen beider Fächer können Ausgangspunkt eines fruchtbaren Austauschs sein. Dieser sei beispielhaft am Thema Vektoren erläutert (vgl. Dilling, 2019).

Im Physikunterricht tauchen diese meist in der Mechanik bei der Einführung des Kraftbegriffs auf. Auf diese Weise wird dem Vektorkonzept eine anwendungsbezogene Bedeutung gegeben, die auch dem Mathematikunterricht nutzen kann.

Die Mathematikdidaktik befasst sich im Zusammenhang mit Vektoren unter anderem mit verschiedenen Darstellungen dieser, insbesondere der algebraischen Form als Tupel und der geometrischen Interpretation als Vektorpfeil (Henn & Filler, 2015). Zugänge zum Vektorbegriff stellen auch sinnvolles Metawissen für Physiklehrerinnen und -lehrer dar, insbesondere weil SchülerInnen den Vektorbegriff häufig zunächst in der Physik und erst später in der Mathematik kennen lernen.

4.5. Modelle und Modellieren

Modelle sind wichtige Bestandteile des Erkenntnisgewinnungsprozesses der Fachwissenschaft Physik und des Physikunterrichts. Aus diesem Grund beschäftigt sich die Physikdidaktik schon seit langem mit dem Modellbegriff. Von besonderer Bedeutung sind der Zusammenhang von Modell und Objekt sowie die Eigenschaften und Funktionen von Modellen (Kircher, 2015e). Lernende sollen in den Entwicklungsprozess von Modellen, das Modellieren, konkret eingebunden werden, sodass Modelle nicht als etwas natürlich Gegebenes betrachtet werden (Mikelskis-Seifert & Kasper, 2011). Weiterführende Aspekte und Beispiele zum Modellieren im Physikunterricht sind im Themenheft Modelle von Naturwissenschaften im Unterricht Physik gegeben (Mikelskis-Seifert, 2011). Wichtig für die Physikdidaktik sind auch Überlegungen darüber, was Lehrerinnen und Lehrer über Modelle wissen sollten (Oh & Oh, 2016)

In der Mathematikdidaktik ist weniger das Modell als fertiges Produkt von Interesse, als vielmehr der Prozess des Modellierens. Es soll hierbei als Bindeglied zwischen der Mathematik und der Realität fungieren (Kaiser et al, 2015). In diesem Zuge wurden unterschiedliche Modellierungskreisläufe entwickelt, die Modelle für den Prozess des Modellierens darstellen. Einer der bekanntesten Modellierungskreisläufe ist das Modell von Blum und Leiß (2005).

Wenn nun die Physikdidaktik über Expertise zum Thema „Modelle“ verfügt und die Mathematikdidaktik zum Modellieren eine langjährige Forschungserfahrung aufweisen kann, scheint ein Wissensaustausch zu diesem Thema naheliegend. Welche Chancen und Herausforderungen das Zusammenführen des mathematischen Modellierens und der Modellbildung im Physikunterricht birgt, zeigt (Neumann et al., 2011).

4.6. Begriffs- und Konzeptbildung

Begriffe sind zentrale Elemente der Fachwissenschaft Mathematik und des Mathematikunterrichts. In der Mathematikdidaktik wird das Lernen von Begriffen im Allgemeinen konstruktivistisch als Prozess aufgefasst, in dem SchülerInnen ein immer genaueres Verständnis für einen Begriff entwickeln (Vollrath, 1984). Unterschiedliche Arten der Begriffsbildung werden unterschieden, darunter die exemplarische Begriffsbildung, die Begriffsbildung durch Abstraktion, die Spezifikation aus einem Oberbegriff und die Begriffsbildung auf Grundlage von Handlungen (Weigand, 2015).

Der vermeintlich größte Unterschied in der Begriffsbildung in der Mathematik und der Physik scheint da-

rin zu liegen, dass Begriffe in der Mathematik deduktive Setzungen sind und in der Physik induktiv durch Klassifizieren und Systematisieren von empirischen Beobachtungen gewonnen werden. Diese Sichtweise wird auch von zahlreichen älteren physikdidaktischen Arbeiten gestützt (z. B. Klinger, 1989). In jüngeren Arbeiten wird der rein induktive Charakter physikalischer Begriffe kritisch diskutiert (vgl. Krause, 2017). Wohl werden Begriffe in der Physik durch empirische Phänomene motiviert, sie sind aber von ihrem epistemologischen Charakter eher mit Begriffen in der Mathematik verwandt: geistige Schöpfungen, die in das deduktiv geordnete Gedankengebäude der Wissenschaft eingebaut werden.

In der Mathematikdidaktik wird im Zusammenhang mit dem Thema „Begriffsbildung“ die Abduktion diskutiert (Meyer & Voigt, 2008 oder auch Söhling, 2015). So wurde beispielsweise die didaktische Theorie des Begriffslernens in Anlehnung an die Abduktion beschrieben und empirisch beforcht (Meyer, 2012).

Die Aufarbeitung der Abduktion für Begriffsbildungsprozesse in der Physik würde aus Sicht der Autoren für die Physikdidaktik ebenfalls ein lohnenswertes Unterfangen darstellen. Vor allem vor dem Hintergrund der erkenntnistheoretischen Parallelen zwischen Schulmathematik und Physik.

4.7. Problemlösen

Beim Problemlösen handelt es sich um eine grundlegende Kompetenz des Mathematikunterrichts und ein klassisches Forschungsgebiet der Mathematikdidaktik. Viele Bedingungen beeinflussen den Problemlöseprozess, darunter Kognitionen (Bereichswissen und Heuristiken), Metakognitionen (Wissen über mathematisches Denken, Steuerungsprozesse) sowie die Grundhaltung. Die Mathematikdidaktik untersucht insbesondere den Verlauf von Problemlöseprozessen sowie Möglichkeiten des Erwerbs von Problemlösekompetenz (Heinrich et al., 2015). Bedeutende Vertreter sind Pólya (1949) und Schoenfeld (1985).

In der Physikdidaktik wird versucht neben allgemeinen Heuristiken auch physikspezifisches zum Problemlösen herauszuarbeiten. Dabei ist u. a. das wissenszentrierte Problemlösen nach Friege (2001, 2003) zu nennen oder auch die Bedeutung von grundlegenden physikalischen Prinzipien beim Lösen physikalischer Probleme (Krause, 2013).

Auf der einen Seite kann damit die langjährige Erfahrung der Mathematikdidaktik zum Problemlösen gewinnbringende Einsichten über physikalische Problemlöseprozesse und -kompetenzen liefern. Auf der anderen Seite können insbesondere anwendungsori-

enterte Problemlösungsprozesse im Mathematikunterricht durch die physikdidaktische Forschung genauer untersucht werden.

4.8. Argumentieren und Beweisen

In den curricularen Vorgaben für den Mathematikunterricht wird Argumentieren und Beweisen meist als explizite prozessbezogene Kompetenz geführt, gilt doch die Mathematik als die beweisende Wissenschaft schlecht hin. Dem entsprechend groß ist auch der Niederschlag in der mathematikdidaktischen Forschung zu diesem Thema (z. B. Bruder und Pinkernell, 2011).

Im Physikunterricht ist Argumentieren und Beweisen implizit in den Kompetenzbereichen Kommunizieren oder auch Bewerten relevant. Das Begründen spielt in der Physik eine zentrale Rolle (Jiménez-Aleixandre, 2007). In der physikdidaktischen Forschung wird es meist an der Schnittstelle zwischen theoretischer Hypothese und experimentellen Daten bzw. Beobachtungen verortet mit der Frage wann und wie sich Empirie und Theorie bestärken oder korrigieren. Empirische Studien befassen sich dabei auch mit der Argumentationsfähigkeit von Lehramtsstudierenden des Faches Physik (z. B. Kittel & Mikelskis-Seifert, 2010).

Aus Sicht der AutorInnen ist der Vergleich mathematikdidaktischer und physikdidaktischer Arbeiten zum Thema Argumentieren und Beweisen sehr fruchtbar, da dabei über Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Wahrheitsbegriffs diskutiert werden kann. Das eröffnet eine wertvolle Reflexion des jeweiligen Faches. Eng damit verbunden ist auch die vergleichende Diskussion zu Auffassungen von Mathematik und Physik (Abschnitt 4.1), die man beim Thema Argumentieren und Beweisen konkreter führen kann, als wenn man den Vergleich unterschiedlicher Auffassungen nur auf einer Meta-Ebene führt.

4.9. Experimentieren

Das Experiment ist in der physikalischen Forschung ein unter festgelegten und kontrollierenden Rahmenbedingungen stattfindendes Beobachten und Messen von physikalischen Prozessen und Objekten zur Erkenntnisgewinnung. Es gilt als grundlegende Begründungsinstanz im naturwissenschaftlichen Theoriebildungsprozess. In der Schule hat das Experiment neben dem qualitativen und quantitativen Überprüfen von Theorien viele weitere Funktionen, darunter z. B. das Veranschaulichen physikalischer Phänomene, das Wecken von Interesse und das Erlernen naturwissenschaftlichen Arbeitens. Die fachdidaktische Forschung befasst sich unter anderem mit den funktiona-

len Aspekten, dem richtigen Einsatz und dem Entwickeln neuer innovativer Experimente für den Unterricht (Girwidz, 2015a).

In den letzten Jahren hat sich auch die Mathematikdidaktik verstärkt mit dem Experimentieren auseinandergesetzt (vgl. Goy & Kleine, 2015). Mathematik gilt im Allgemeinen als deduktive Wissenschaft, einige Arbeitsweisen bei der Entstehung neuen Wissens haben aber durchaus experimentellen Charakter. Im Gegensatz zur Physik stellt aber nur ein formaler Beweis eine abschließende Begründungsinstanz dar. Die Funktion des Experiments im Mathematikunterricht beschränkt sich somit vor allem auf das Generieren und vorläufige Überprüfen von Hypothesen (Philipp, 2013).

Der Austausch über die Rolle des Experimentierens in der jeweiligen Disziplin kann wichtige Einsichten in die Erkenntniswege der Fächer liefern. Insbesondere der Mathematikunterricht kann aus den reichhaltigen Forschungsergebnissen der Physikdidaktik zum Experimentieren profitieren.

4.10. Kommunizieren und Sprache

Die Physikdidaktik befasst sich im Hinblick auf Sprache im Unterricht vor allem mit der Beziehung von Alltagssprache und Fachsprache. Es wird den Fragen nachgegangen, welche Merkmale Fachsprache hat und wie sich diese bei den SchülerInnen fördern lässt (Rincke & Leisen, 2015).

In der Mathematik wird insbesondere die Kommunikationskompetenz der SchülerInnen in Bezug auf die Darstellung und Vermittlung mathematischer Inhalte in den Blick genommen. Dazu stehen den SchülerInnen verschiedene Repräsentationsformen und Zeichensysteme zur Verfügung, darunter auch die mathematische Fachsprache (Jörissen & Schmidt-Thieme, 2015).

Ein Austausch über die Gemeinsamkeiten und Unterschiede mathematischer und physikalischer Kommunikation bzw. mathematischer und physikalischer Fachsprache kann als Ansatz für die Auseinandersetzung mit Darstellungsformen genutzt werden.

4.11. Aufgaben im Unterricht

Aufgaben sind zentrale Elemente des naturwissenschaftlichen und mathematischen Unterrichts. Dies macht sie zu einem beliebten Untersuchungsgegenstand in den Fachdidaktiken. Dabei werden unter anderem Merkmale von Aufgaben, der richtige Einsatz von Aufgaben und die Qualität von Aufgaben untersucht.

Kauertz, Löffler und Fischer (2015) formulieren drei Anforderungen an Physikaufgaben. Sie sollen

sprachlich präzise und verständlich formuliert, passend zu einer im Unterricht entwickelten theoretischen Annahme sowie fachlich und fachdidaktisch fundiert sein.

Leuders (2015) unterscheidet drei Qualitätsmerkmale von Mathematikaufgaben. Sie sollten die intendierte didaktische Funktion adäquat erfüllen, offen für unterschiedliche Lösungswege sein und differenziertes Arbeiten ermöglichen.

Ein Vergleich der Aufgabenkulturen im Mathematik- und Physikunterricht und der Kriterienkataloge für Aufgaben kann die Qualität der im Unterricht genutzten Aufgaben und den Umgang mit Aufgaben verbessern.

5. Resümee

Die Intention der AutorInnen ist es, mit diesem Artikel für eine Zusammenarbeit der Mathematik- und Physikdidaktik in den Bereichen Forschung und Lehre zu werben und mögliche Forschungsgegenstände für Kooperationen beider hier exemplarisch betrachteten Disziplinen Mathematik- und Physikdidaktik auf inhaltlicher Ebene als eine gemeinsame Basis zu identifizieren. Dieser Beitrag hat nicht den Anspruch, bestimmte qualitative oder quantitative Forschungsmethoden oder die Richtung von Forschungsfragen herauszustellen. Die Ergebnisse der hier vorgestellten Explikation potentieller interdisziplinärer Arbeitsfelder legen lediglich verschiedene inhaltliche Anknüpfungspunkte für mögliche gemeinsame Lehr- und Forschungsprojekte zwischen der Mathematik- und der Physikdidaktik offen. So konnten elf verwandte Themenbereiche identifiziert werden (Abschnitt 4), deren genauere Analyse dieser Beitrag nicht leisten kann, die aber lohnenswert scheint. Diese Anknüpfungspunkte dürfen daher beispielsweise als Anregung zur Formulierung von disziplinübergreifenden Forschungsfragen oder als Ausgangspunkt zur Diskussion curricularer Inhalte von interdisziplinären Lehrveranstaltungen verstanden werden. Die hier vorgestellte qualitative Methode der Explikation selbst kann aber auch als Vorbild für Analysen zur Explikation verwandter Themen zwischen anderen Fachdidaktiken im MINT-Bereich, zwischen Fachdidaktiken und ihren Bezugsdisziplinen oder darüber hinaus dienen.

Anmerkungen

¹ In diesem Beitrag wurde zur Wahrung einer geschlechtergerechten Sprache auf die Verwendung von Formen im generischen Maskulinum verzichtet. Größtenteils wurde daher die neutrale Form gewählt, wie bei „Studierende“. Sofern dies im Sinne einer eindeutigen Beschreibung nicht möglich war, wurde das Binnen-I verwendet, wie bei „LehrerInnen“. In diesem zweiten Beispiel soll der Kontext Schulunterricht vom Kontext der universitären Lehre abgegrenzt werden, weshalb der neutrale Begriff „Lehrende“ unpräzise wäre. Dennoch dürfen sich grundsätzlich Menschen jeden Geschlechts angesprochen fühlen, sofern es nicht ausdrücklich anders formuliert ist.

² Diese Analyse gründet auf einer Diskursanalyse als Teil des Dissertationsprojektes von Kathrin Holten, das sich mit erkenntnistheoretischen Parallelen zwischen Schulmathematik und Schulphysik beschäftigt und wurde für den vorliegenden Beitrag mit den unten genannten Handbüchern und Tagungsbänden von Frederik Dilling durchgeführt.

Literatur

- Aebli, H. (2001). *Zwölf Grundformen des Lehrens*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Balsiger, P. W. (1996). Überlegungen und Bemerkungen hinsichtlich einer Methodologie interdisziplinärer Wissenschaftspraxis. In P. Balsiger, R. Defila, A. di Giulio (Hrsg.), *Ökologie und Interdisziplinarität: Eine Beziehung mit Zukunft? Wissenschaftsforschung zur Verbesserung der fachübergreifenden Zusammenarbeit* (S. 73–85). Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser.
- Bauersfeld, H. (1983). Subjektive Erfahrungsbereiche als Grundlage einer Interaktionstheorie des Mathematiklehrens und -lernens. In H. Bauersfeld, H. Bussmann & G. Krummheuer (Hrsg.), *Lernen und Lehren von Mathematik. Analysen zu Unterrichtshandeln II* (S. 1–56). Köln: Aulis.
- Baumann, H.-W., Dürr, R., Henn, H.-W. & Weyrauch, R. (1994). *Zum anwendungsorientierten Mathematikunterricht. – Heft 1: Analysis, Fächerverbindender Unterricht*. Stuttgart: LEU.
- Baumann, A. (2011). Eine kritische Betrachtung zum Thema „Modellierungsaufgaben“ anhand von Beispielen aus dem hessischen Zentralabitur 2009. *Mathematikinformation*, 55, 15–23.
- Beckmann, A. (2003). *Fächerübergreifender Mathematikunterricht*. Hildesheim: Franzbecker.
- Bing, T. J. & Redish, E. F. (2009). Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 5(2).
- Blum, W. & Leiß, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der Tanken-Aufgabe. *Der Mathematikunterricht*, 25 (1), 18–21.
- Brandenburger, M., Mikelskis-Seifert, S. & Labudde, P. (2014). Problemlösen in der Mechanik: eine Untersuchung mit Studierenden. *Phy-DidB – Didaktik der Physik*, Beitrag DD 13.05.
- Bröll, L. & Friedrich, J. (2012). Zur Qualifikation der Lehrkräfte für den NWA-Unterricht – eine Bestandsaufnahme in Baden-Württemberg. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 65(3), 180–186.

- Bruder, R., Linneweber-Lammerskitten, H. & Reibold, J. (2015). Individualisieren und differenzieren. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 513-538). Berlin, Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Bruder, R. & Pinkernell, G. (2011). Die Richtige Antwort finden. *Mathematik lehren*, 168, 2–7.
- Bruner, J. S. (1979). *Der Prozess der Erziehung*. Berlin: Berlin Verlag.
- Bruner, J. S. (1974). *Entwurf einer Unterrichtstheorie*. Berlin: Berlin Verlag.
- Büchter, A. und Henn, H.-W. (2015). Schulmathematik und Realität – Verstehen durch Anwenden. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 19–48). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Büchter, A., Scheibke, N. & Wilzek, W. (2017). Zur Problematik des Übergangs von der Schule in die Hochschule – Zielsetzungen, Eingangsvoraussetzungen und Wirksamkeit von Vorkursen Mathematik. In U. Kortenkamp & A. Kuzle (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017* (151–154). Münster: WTM.
- Caviola, H. (2012). Wie Fächer miteinander ins Gespräch kommen: Modelle der Fächervernetzung und ihre Lernziele. In H. Caviola et al. (Hrsg.), *TriOS: Nr. 2/2012. Interdisziplinarität* (S. 5–36). Münster: LIT-Verlag.
- Defila, R. & Di Giulio, A. (2002). "Interdisziplinarität" in der wissenschaftlichen Diskussion und Konsequenzen für die Lehrerbildung. In A. Wellensiek (Hrsg.), *Interdisziplinäres Lehren und Lernen in der Lehrerbildung. Perspektiven für innovative Ausbildungskonzepte* (S. 17–29). Weinheim, Basel: Beltz.
- Deutsche Physikalische Gesellschaft (2016). *Physik in der Schule – Zusammenfassung*. Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V., Januar 2016.
- Dilling, F. (2019). Vektoren in der mathematik- und physikdidaktischen Forschung. Stoffdidaktisch verbindende Ansätze zwischen linearer Algebra und klassischer Mechanik. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, Beitrag DD 17.1.
- Duit, R. (2015). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In E. Kircher, R. Girwitz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 657–680). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Einstein, A. (1921). Geometrie und Erfahrung. Erweiterte Fassung des Festvortrages gehalten an der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 27. Januar 1921. In: C. Seelig (Hrsg., 1998), *Mein Weltbild* (S. 132–141). Frankfurt a. M.: Ullstein.
- Euler, M., Schüttler, T. & Hausmann, D. (2015). Schülerlabore: Lernen durch Forschen und Entwickeln. In E. Kircher, R. Girwitz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 759-782). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Fischler, Helmut. (2015). Aus- und Fortbildung von Physik Lehrkräften. In E. Kircher, R. Girwitz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 681–704). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Friege, G. & Lind, G. (2003). Allgemeine und fachspezifische Problemlösekompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 63–74.
- Friege, G. (2001). *Wissen und Problemlösen. Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleich*. Band 19 von Studien zum Physiklernen. Berlin: Logos-Verlag.
- Galilei, G. (1623). Saggiatore; z. n. Blumenberg, H., *Galileo Galilei. Siderius Nuncius. Nachricht von den Sternen*. Frankfurt: Suhrkamp 1980.
- Galili, I. (2018). Physics and Mathematics as Interwoven Disciplines in Science Education. *Science & Education*, 27, 7–37.
- Geyer, M.-A. & Pospiech, G. (2017). Tätigkeiten und Schwierigkeiten von SchülerInnen bei Darstellungswechseln funktionaler Zusammenhänge im Physikunterricht. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Zürich 2016* (S. 444–447). Regensburg: Universität Regensburg.
- Girwitz, R. (2015a). Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwitz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 193–246). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Girwitz, R. (2015b). Neue Medien und Multimedia. In E. Kircher, R. Girwitz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 401-428). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Goy, A. & Kleine, M. (2015). Experimentieren: Themenheft Oktober 2015. *Praxis der Mathematik in der Schule*. (65).
- Greefrath, G., Oldenburg, R., Siller, H.-S., Ulm, V., Weigand, H.-G. (2016). Aspects and „Grundvorstellungen“ of the Concepts of Derivative and Integral. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 37(1), 99–129.
- Goy, A., Kleine, M. (2015a) Experimentieren Mathematische Zusammenhänge erforschen. *Praxis der Mathematik in der Schule* 65, 2–8.
- Grigutsch, S., Raatz, U. & Törner, G. (1998). Einstellungen gegenüber Mathematik bei Mathematiklehrern. *Journal für Mathematik-Didaktik* 19, 3–45.
- Heering, P. (2013). Der Elektrische Salon: Physikgeschichte. *Phy-DidB – Didaktik der Physik Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, Beitrag DD 17.47.
- Hefendehl-Hebeker, L. (2016). Mathematische Wissensbildung in Schule und Hochschule. In A. Hoppenbrock, R. Biehler, R. Hochmuth & H.-G. Rück (Hrsg.), *Lehren und Lernen von Mathematik in der Studieneingangsphase, Konzepte und Studien zur Hochschuldidaktik und Lehrerbildung Mathematik* (S. 15–24). Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Heinrich, F., Bruder, R. & Bauer, C. (2015). Problemlösen lernen. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 279–301). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hempel, C. G. (1945). Geometry and Empirical Science. Published in *American Mathematical Monthly* 52, 1945. Reprinted in *Readings in Philosophical Analysis*, ed. H. Feigl and W. Sellars (New York: Appleton-Century-Crofts, 1949). Reprinted in *The World of Mathematics*, vol. III, ed. James R. Newman, New York: Simon and Shuster, 1956.
- Henn, H.-W. & Filler, A. (2015). *Didaktik der Analytischen Geometrie und Linearen Algebra*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Heuling, L. (2015). Heterogene Lernvoraussetzungen in naturwissenschaftlichen Bildungsprozessen. *Phy-Did B*

- *Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, Beitrag DD 02.20.
- Holten, K. & Krause, E. (2019). InForM PLUS vor der Praxisphase – Zwischenbericht eines interdisziplinären Elements in der Lehramtsausbildung an der Universität Siegen. In M. Degeling, N. Franken, S. Freund, S. Greiten, D. Neuhaus & J. Schellenbach-Zell (Hrsg.), *Herausforderung Kohärenz: Praxisphasen in der universitären Lehrerbildung. Bildungswissenschaftliche und fachdidaktische Perspektiven* (S. 260–274). Verlag Julius Klinkhardt.
- Holten, K. & Witzke, I. (2017). Chancen und Herausforderungen fachdidaktischverbindender Elemente in der Lehramtsausbildung. In U. Kotenkamp & A. Kuzle (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017* (S. 457–460). Münster: WTM-Verlag.
- Höttecke, D. (Hrsg.) (2008). Was ist Physik? Über die Natur der Naturwissenschaften unterrichten. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik 103*.
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2007). Rekonstruktion der Vorstellungen von Physikstudierenden über die Natur der Naturwissenschaften – eine explorative Studie. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, PhyDid A*, 6 (1), 1–14.
- Jahnke, H. N., Ufer, S. (2015). Argumentieren und Beweisen. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 331–357). Berlin, Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Jahnke, T. (2005). Zur Authentizität von Mathematikaufgaben. In Graumann, G. (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2005*. Hildesheim: Franzbecker.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2007). Designing Argumentation Learning Environments. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Hrsg.), *Argumentation in Science Education* (91–117). Science & Technology Education Library. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Jörissen, S. & Schmidt-Thieme, B. (2015). Darstellen und Kommunizieren. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 385–408). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Jürgensen, F. (2012). Das integrierte Fach Naturwissenschaften und seine Beliebtheit bei Lehrern und Schülern. In Rossa, E. (Hrsg.), *Chemie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 197–230). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Kaiser, G., Blum, W., Borromeo Ferri, R. & Greefrath, G. (2015). Anwendungen und Modellieren. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 357–383). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kauertz, A., Löffler, P. & Fischer, H. E. (2015). Physikaufgaben. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 451–475). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kircher, E. (2015a). Warum Physikunterricht? In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 15–74). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kircher, E. (2015b). Einführung: Was ist Physikdidaktik? In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 3–14). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kircher, E. (2015c). Über die Natur der Naturwissenschaften lernen. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 807–840). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kircher, E. (2015d). Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 107–139). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kircher, E. (2015e). Modellbegriff und Modellbildung in der Physikdidaktik. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 782–807). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kircher, E. (2015f). Ziele und Kompetenzen im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 75–106). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kircher, E. (2015g). Planung und Analyse von Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 295–322). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kircher, E. (2015h). Methoden im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 141–192). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kittel, C. & Mikelskis-Seifert, S. (2010). Argumentationsfähigkeit der Lehramtsstudierenden im Fach Physik – Eine Hypothesen generierende Studie. *Phydid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, Beitrag DD 15.04.
- Klinger, W. (1989). Bildung physikalischer Begriffe und ihre Vermittlung im Unterricht. In Schneider, W. B. (Hrsg.), *Wege in der Physikdidaktik. Band 1. Sammlung aktueller Beiträge aus der physikdidaktischen Forschung* (S. 19–29). Erlangen: Palm & Enke.
- Krause, E. (2017a). Physikdidaktik in der Mathematiklehrerbildung? Anregungen zur fachdidaktischverbindenden Lehrerbildung. In U. Kotenkamp & A. Kuzle (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017* (S. 565–568). Münster: WTM-Verlag.
- Krause, E. (2017b). Mathematikdidaktik in der Physiklehrerbildung? Projekte zur fachdidaktisch-verbindenden Lehrerbildung. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, Beitrag DD 5.4.
- Krause, E. (2016a). Erkenntnistheoretische Parallelen zwischen Schulmathematik und -physik. In Institut für Mathematik und Informatik Heidelberg (Hrsg.) *Beiträge zum Mathematikunterricht 2016* (S. 581–584). Münster: WTM.
- Krause, E. (2016b). Die Übergangsproblematik von der Schule zur Hochschule im Fach Physik aus lerntheoretischer Sicht. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, Beitrag DD 08.04.
- Krause, E. (2015). Fächerverbindende Didaktik am Beispiel von subjektiven Lernvoraussetzungen im Mathematik- und Physikunterricht. In F. Caluorim H. Linneweber-Lammerskitten & C. Streit (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2015* (S. 492–495). Münster: WTM.
- Krause, E. (2013). *Das Erhaltungsprinzip in der Physik und seine Anwendung im Physikunterricht*. Dissertation an der Universität Siegen.
- Krause, E., Bien, N. V., Chat, T. N., Chi, N. P., Dilling, F., Geppert, J., Holten, K., Le, T. A., Kraus, S. & Tho, C. C. (2019, im Druck). Inter TeTra – Interdisciplinary Teacher Training with Mathematics and Physics. Description of a Project Partnership between Siegen (Ger-

- many) and Hanoi National University of Education (Vietnam). *Proceedings of the Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*.
- Krause, E. & Witzke, I. (2015). Fächerverbindung von Mathematik und Physik im Unterricht und in der didaktischen Forschung. *Phy-DidB – Didaktik der Physik*, Beitrag DD 8.3.
- Krauthausen, G. (2018). *Einführung in die Mathematikdidaktik – Grundschule*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Krey, O. (2012). *Zur Rolle der Mathematik in der Physik. Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*. Dissertation an der Universität Potsdam.
- Kuhn, W. (2016). *Ideengeschichte der Physik – Eine Analyse der Entwicklung der Physik im historischen Kontext*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Labudde, P. (Hrsg.) (2008). *Naturwissenschaften vernetzen - Horizonte erweitern: Fächerübergreifender Unterricht konkret*. Seelze-Velber: Klett/Kallmeyer.
- Labudde, P. (2014). Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht – Mythen, Definitionen, Fakten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 11–19.
- Lamprecht, X. (2017). Erfassung der konnotativen Überzeugungen von Lehramtsstudierenden zur Mathematik als Wissenschaft und als Schulfach. In U. Kortenkamp & A. Kuzle (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017* (S. 593–596). Münster: WTM.
- Lengnink, K. & Roth, J. (2017). Lernprozesse in Lehr-Lern-Laboren Mathematik. In U. Kortenkamp & A. Kuzle (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017* (S. 1267–1268). Münster: WTM.
- Leuders, T. (2015). Aufgaben in Forschung und Praxis. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 435–460). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Leuders, T. (Hrsg.) (2003). *Mathematik Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. Berlin: Cornelsen.
- Loos, A. & Ziegler, M. (2015). Gesellschaftliche Bedeutung der Mathematik. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 3–18). Berlin, Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Mayring, P. (2000). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Meyer, M. (2012). *Vom Satz zum Begriff*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Meyer, M. & Voigt, J. (2008). Entdecken mit latenter Beweisidee – Analyse von Schulbuchseiten. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 29(2), 124–151.
- Mikelskis-Seifert, S. (Hrsg.) (2011). Modelle. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 122.
- Mikelskis-Seifert, S. & Kasper, L. (2011). Modellieren in der Physik, im Alltag und im Unterricht. Hintergründe und unterrichtliche Orientierung zum Thema Modelle. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 122, 4–12.
- Moegling, K. (2010). *Kompetenzaufbau im fächerübergreifenden Unterricht: Förderung vernetzten Denkens und komplexen Handelns. Didaktische Grundlagen, Modelle und Unterrichtsbeispiele für die Sekundarstufen I und II*. Immenhausen bei Kassel: Prolog-Verl.
- Müller, A. (2015). Astronomie im Unterricht. In Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (529–552). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Neumann, I., Heinze, A., Ufer, S. & Neumann, K. (2011). Modellieren aus mathematischer und physikalischer Perspektive. In R. Haug & L. Holzäpfel (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2011* (S. 603–607). Münster: WTM.
- Oh, P. S. & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130.
- Opitz, E. M. & Nührenbörger, M. (2015). Diagnostik und Leistungsbeurteilung. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 491–512). Berlin, Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Pehkonen, E. & Pietilä, A. (2004). On relationships between beliefs and knowledge in mathematics education. *European Research in Mathematics Education III: Proceedings of the Third Conference of the European Society for Research in Mathematics Education*. URL: http://www.dm.unipi.it/~didattica/CERME3/proceedings/Groups/TG2/TG2_pehkonen_cerme3.pdf.
- Peterßen, W. H. (2000). *Fächerverbindender Unterricht. Begriff – Konzept – Planung – Beispiele. Ein Lehrbuch*. München: Oldenbourg.
- Philipp, K. (2013). *Experimentelles Denken. Theoretische und empirische Konkretisierung einer mathematischen Kompetenz*. Wiesbaden: Springer.
- Philipp, K. (2015). Kinder experimentieren mit Zahlen – Eine mathematische Tätigkeit unter der Lupe. In Caluori, F., Linneweber-Lammerskitten, H. & Streit, C. (Hrsg.) *Beiträge zum Mathematikunterricht 2015* (S. 34–41). Münster: WTM.
- Polya, G. (1949). *Schule des Denkens. Vom Lösen mathematischer Probleme*. Tübingen: Francke.
- Pospiech, G. & Karam, R. (2016). *Mathematik im Physikunterricht*. Seelze: Friedrich.
- Pospiech, G., Eylon, B., Bagno, E., Lehavi, Y. & Geyer, M.-A. (2015). The role of mathematics for physics teaching and understanding. *GIREP-MPTL 2014. Teaching/Learning Physics: Integrating Research into Practice*, 889–896.
- Rebello, N. S., Cui, L., Benett, A. G., Zollman, D. A., Ozimek, D. J. (2007). Transfer of learning in problem solving in the context of mathematics and physics. In Jonassen, D. (Hrsg.), *Learning to Solve Complex Scientific Problems*. New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Redish, E. F. (2006). Problem solving and the use of math in physics courses. ArXiv Physics e-prints.
- Rehm, M., Bündler, W., Haas, T., Buck, P., Labudde, P., Brovelli, D., Ostergaard, E., Rittersbacher, C., Wilhelm, M., Gensenberger, R., Svoboda, G. (2008). Legitimationen und Fundamente eines integrierten Unterrichtsfachs Science. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, 99–123.
- Reiss, K. & Hammer, C. (2013). *Grundlagen der Mathematikdidaktik*. Basel: Birkhäuser.
- Rincke, K. & Leisen, J. (2015). Sprache im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 636–655). Berlin, Heidelberg: Springer.

- Roetger, R. & Wodzinski, R. (2017). Wie fachspezifisch ist das Naturwissenschaftsverständnis? *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, Beitrag DD 09.02.
- Rott, B., Groß Ophoff, J. & Leuders, T. (2017) Erfassung der konnotativen Überzeugungen von Lehramtsstudierenden zur Mathematik als Wissenschaft und als Schulfach. In U. Kortenkamp & A. Kuzle (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017* (S. 1101–1104). Münster: WTM.
- Rott, B., Leuders, T. & Stahl, E. (2015). Assessment of Mathematical Competencies and Epistemic Cognition of Pre-Service Teachers. *Zeitschrift für Psychologie*, 223(1), 39–46.
- Schimoni, K. (1990). *Kulturgeschichte der Physik*. Thun, Frankfurt a. M.: Verlag Harri Deutsch.
- Schoenfeld, A. H. (1998). Toward a Theory of Teaching-in-Context. *Issues in Education*, 4(1), 1–94.
- Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving*. Orlando: Academic Press.
- Schubring, G. (1978). *Das genetische Prinzip in der Mathematikdidaktik*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Schorcht, S. (2017). Von Anamaya bis John Neper – Mathematikgeschichte in Schulbüchern der Grundschule. In U. Kortenkamp & A. Kuzle (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017* (S. 869-872). Münster: WTM.
- Schwarz, O. (2009). Die Theorie des Experiments - Aus Sicht der Physik, der Physikgeschichte und der Physikdidaktik. *Geographie und Schule*. (180), 15–21.
- Söhling, A. C. (2015). Problemlösen – Mittels Irrtümern zu strukturellen Erkenntnissen. In F. Caluorim H. Linneweber-Lammerskitten & C. Streit (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2015* (S. 872–875). Münster: WTM.
- Strahl, A., Thoms, L.-J. & Geyer, M.-A. (2015). Überzeugungen und Einstellungen von Lehrkräften: Definition und Vermittlung der Bedeutung von Formeln. Eine Lehrerbefragung zur Rolle der Mathematik in der Physik. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Wuppertal 2015*.
- Struve, H. (2015). Zur geschichtlichen Entwicklung der Mathematikdidaktik als wissenschaftlicher Disziplin. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 539-566). Berlin, Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Struve, H., (1990). *Grundlagen einer Geometriedidaktik*. Mannheim u. a.: BI-Wiss.-Verlag.
- Ufer, S., Heinze, A. & Lipowsky, F. (2015). Unterrichtsmethoden und Instruktionsstrategien. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 411–434). Berlin, Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Uhlen, O. (2012). *Mathematisches Denken im Physikunterricht – Theorieentwicklung und Problemanalyse*. Dissertation an der Technischen Universität Dresden.
- Vollrath, H.-J. (1984). *Methodik des Begriffslehrens*. Stuttgart: Klett.
- Vom Hofe, R., Lotz, J. & Salle, A. (2015). Analysis: Leitidee Zuordnung und Veränderung. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (149-184). Berlin, Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Vom Hofe, R. (1992). Grundvorstellungen mathematischer Inhalte als didaktisches Modell. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 13(4), 345–364.
- Weigand, H.-G. (2015). Begriffsbildung. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 255–278). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wellensiek, A. (Hrsg.) (2002). *Interdisziplinäres Lehren und Lernen in der Lehrerbildung: Perspektiven für innovative Ausbildungskonzepte*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Hallbergmoos: Aulis.
- Winter, H. (2016). *Entdeckendes Lernen im Mathematikunterricht*. Wiesbaden: Springer.
- Winter, H. (1996). Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. *DMV Mitteilungen*. (2), 35–41.
- Witzke, I. & Krause, E. (Hrsg.) (2017). Mathematikunterricht im Kontext physikalischer Anwendungen – Grundlagen und Konzepte zu fächerverbindendem Unterricht. *Der Mathematikunterricht*. 63(5).
- Witzke, I. (2014). Zur Problematik der empirisch gegenständlichen Analysis des Mathematikunterrichtes. *Der Mathematikunterricht*, 60(2), 19–31.
- Witzke, I. (2009). *Die Entwicklung des Leibnizschen Calculus. Eine Fallstudie zur Theorieentwicklung in der Mathematik*. Hildesheim: Franzbecker.
- Witzke, I. & Spies, S. (2016). Domain-Specific Beliefs of School Calculus. *Journal für Mathematik-Didaktik* 37(1), 131-161.

Anschrift der Verfasser

Frederik Dilling
 Universität Siegen
 Didaktik der Mathematik
 Herrengarten 3
 57072 Siegen
dilling@mathematik.uni-siegen.de

Kathrin Holten
 Universität Siegen
 Didaktik der Mathematik
 Herrengarten 3
 57072 Siegen
holten@mathematik.uni-siegen.de

Eduard Krause
 Universität Siegen
 Didaktik der Physik
 Adolf-Reichwein-Straße 2
 57068 Siegen
krause@physik.uni-siegen.de

Anhang

Oberkategorie	Kategorie	Ankerbeispiele
Mathematik(didaktik) und Physik(didaktik) als Wissenschaftsdisziplin	K1.1: Relevanz von Mathematik / Physik	Gesellschaftliche Bedeutung der Mathematik (Loos & Ziegler, 2015) Warum Physikunterricht? (Kircher, 2015a)
	K1.2: Mathematik-/ Physikdidaktik als Wissenschaftsdisziplin	Zur geschichtlichen Entwicklung der Mathematikdidaktik als wissenschaftliche Disziplin (Struve, 2015) Einführung: Was ist Physikdidaktik? (Kircher, 2015b)
	K1.3: Auffassungen von Mathematik / Physik	Erfassung der konnotativen Überzeugungen von Lehramtsstudierenden zur Mathematik als Wissenschaft und als Schulfach (Rott, Ophoff & Leuders, 2017) Wie fachspezifisch ist das Naturwissenschaftsverständnis? (Roetger & Wodzinski, 2017)
	K1.4: Geschichte der Mathematik / Physik (im Unterricht)	Von Anamaya bis John Neper – Mathematikgeschichte in Schulbüchern der Grundschule (Schorcht, 2017) Der Elektrische Salon: Physikgeschichte in einem Science Center (Heering, 2013)
Fachdidaktische Theorien	K2.1: Fachdidaktische / Lerntheoretische Prinzipien	Didaktische Prinzipien (Reiss & Hammer, 2013) Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion (Kircher, 2015d)
	K2.2: Schülervorstellungen / Präkonzepte / Grundvorstellungen / ...	„Sich Multiplikation vorstellen“ – Individuelle Grundvorstellungen von Kindern mit und ohne Förderbedarf (Lamprecht, 2017) Schülervorstellungen und Unterricht (Wiesner, Schecker & Hopf, 2011)
	K2.3: Stoffdidaktik	Analysis: Leitidee Zuordnung und Veränderung (Vom Hofe, Lotz und Salle, 2015) Astronomie im Unterricht (Müller, 2015)
Ziele und Kompetenzen im Mathematik- und Physikunterricht	K3.1: Ziele und Kompetenzen	Bildungsstandrads und Kompetenzen (Reiss & Hammer, 2013) Ziele und Kompetenzen im Physikunterricht (Kircher, 2015f)
	K3.2: Modell / Modellieren / Anwendungen	Anwendungen und Modellieren (Kaiser et al., 2015) Modellbegriff und Modellbildung in der Physikdidaktik (Kircher, 2015e)
	K3.3: Begriffs-/ Konzeptbildung	Begriffsbildung (Weigand, 2015) Begriffswechsel und Begriffsentwicklung (Wiesner, Schecker & Hopf, 2011)
	K3.4: Problemlösen	Problemlösen lernen (Heinrich, Bruder & Bauer, 2015) Problemlösen in der Mechanik: eine Untersuchung mit Studierenden (Brandenburger, Mikelskis-Seifert & Labudde, 2014)
	K3.5: Argumentieren und Beweisen	Argumentieren und Beweisen (Jahnke & Ufer, 2015) Die Förderung der Argumentationsfähigkeit beim Experimentieren im Physikunterricht (Ludwig, T. & Priemer, B., DPG-Tagung, 2018)
	K3.6: Experimentieren	Kinder experimentieren mit Zahlen – Eine mathematische Tätigkeit unter der Lupe (Philipp, 2015)

		Experimentieren (Wiesner, Schecker & Hopf, 2011)
	K3.7: Kommunizieren / Sprache	Darstellen und Kommunizieren (Jörissen & Schmidt-Thieme, 2015) Sprache im Physikunterricht (Rincke & Leisen, 2015)
Lehrerbildung	K4.1: Lehrerbildung / Lehrerprofessionalisierung / Kompetenz von Lehrkräften	Aufgaben und Kompetenzspektrum der Lehrperson (Krauthausen, 2018) Aus- und Fortbildung von Physiklehrkräften (Fischler, 2015)
	K4.2: Schülerlabore / Lehr-Lernlabore	Lernprozesse in Lehr-Lern-Laboren Mathematik (Lengnink & Roth, 2017) Schülerlabore: Lernen durch Forschen und Entwickeln (Euler, Schüttler & Hausmann, 2015)
	K4.3: Übergang Schule Hochschule / Studienbeginn	Zur Problematik des Übergangs von der Schule in die Hochschule – Zielsetzungen, Eingangsvoraussetzungen und Wirksamkeit von Vorkursen Mathematik (Büchter, Scheibke & Wilzek, 2017) Die Übergangsproblematik von der Schule zur Hochschule im Fach Physik aus lerntheoretischer Sicht (Krause, 2016b)
Unterrichtspraktische und pädagogische Themen	K5.1: Planung, Analyse und Organisation von Unterricht	Mathematikunterricht planen (Leuders, 2003) Planung und Analyse von Physikunterricht (Kircher, 2015g)
	K5.2: Unterrichtsmethoden	Unterrichtsmethoden und Instruktionsstrategien (Ufer, Heinze & Lipowsky, 2015) Methoden im Physikunterricht (Kircher, 2015h)
	K5.3: Leistungsbeurteilung und Diagnose	Diagnostik und Leistungsbeurteilung (Opitz & Nührenbörger, 2015) Leistungsmessung und Schülerbeurteilung (Wiesner, Schecker & Hopf, 2011)
	K5.4: Medien	Mit neuen Medien lernen (Leuders, 2003) Neue Medien und Multimedia (Girwidz, 2015b)
	K5.5: Differenzierung / Heterogenität / Inklusion	Individualisieren und differenzieren (Bruder, Linneweber-Lammerskitten & Reibold, 2015) Heterogene Lernvoraussetzungen in naturwissenschaftlichen Bildungsprozessen (Heuling, 2017)
K6: Aufgaben	Aufgaben und Mathematikunterricht (Reiss & Hammer, 2013) Aufgaben im Physikunterricht (Wiesner, Schecker & Hopf, 2011)	
K7: Fächerverbindung / Fachdidaktikenverbindung	Chancen und Herausforderungen fachdidaktischverbindender Elemente in der Lehramtsausbildung (Holten & Witzke, 2017) Mathematikdidaktik in der Physiklehrerbildung? Projekte zur fachdidaktischverbindenden Lehrerbildung (Krause, 2017b)	

Tab. 2: Kategorien und Ankerbeispiele der strukturierenden Analyse.