

Modelle und Modellieren aus der Sicht von Mathematik- und Physiklehrkräften

Simon F. Kraus*, Frederik Dilling⁺

*Universität Siegen, Didaktik der Physik, Adolf-Reichwein-Str. 2, 57076 Siegen + Universität Siegen, Didaktik der Mathematik, Adolf-Reichwein-Str. 2, 57076 Siegen
kraus@physik.uni-siegen.de

Kurzfassung

Die Begriffe des Modells und des Modellierens spielen sowohl in den Bildungsstandards der Fächer Mathematik und Physik als auch in den entsprechenden Fachdidaktiken eine große Rolle. Die dem vorliegenden Beitrag zugrundeliegende Untersuchung versucht daher, die Überzeugungen von Lehrkräften der beiden Unterrichtsfächer mit Bezug zu diesen Begriffen zu erheben. Die Studie bedient sich dabei leitfadengestützter Interviews, in deren Verlauf die jeweilige Sichtweise der Lehrerinnen und Lehrer auf ihre eigene Unterrichtspraxis erhoben wird. Der Schwerpunkt der Auswertung liegt für diesen Beitrag auf dem Teilthema des Modellierens. Hierfür ergeben sich vier Kategorien, in die sich die Aussagen der Lehrkräfte einordnen lassen. Die Analyse ergibt einen fundamentalen Unterschied in der Sichtweise der Fächer auf das Modellieren und dazu vielfache, für beide Fächer übereinstimmende, Einstellungen und Überzeugungen der Lehrkräfte, die im Einzelnen dargestellt werden.

1. Bedeutung von Modellen und Modellieren im Mathematik- und Physikunterricht

Den Themen „Modelle“ und „Modellieren“ wird sowohl im Mathematik- wie auch im Physikunterricht eine hohe Bedeutung beigemessen, die sich u. a. in den normativen Setzungen innerhalb der Bildungsstandards zeigt. So verweisen die KMK-Bildungsstandards für die allgemeine Hochschulreife auf den Charakter der Physik als „theoriegeleitete Erfahrungswissenschaft“, die „durch Modelle beschreibbar“ ist. Lernende sollen diesbezüglich im Unterricht die Bedeutung von „abstrahierenden, idealisierenden und formalisierenden“ Beschreibungen erfahren, während sie selbst mathematisch modellieren [2].

Der Blick in die entsprechenden Bildungsstandards für das Fach Mathematik [1] zeigt, dass hier ebenso der Wechsel zwischen einer Realsituation und den mathematischen Begriffen hervorgehoben wird. Lernenden kommt im Mathematikunterricht die Aufgabe zu, bestehende mathematische Modelle zu verstehen und zu bewerten sowie selbst solche Modelle zu konstruieren.

Der Vergleich dieser Vorgaben zeigt deutliche Parallelen in den Zielsetzungen sowie eine beiderseitige Thematisierung von Modellen als Produkt und dem Modellieren als einem Prozess.

Aufgrund der großen Bedeutung der beiden Teilthemen, den Modellen und dem Modellieren, und dem entsprechend umfangreichen Material der Erhebung, muss sich der vorliegende Beitrag auf den Teilaspekt des Modellierens beschränken. In der Zusammenfassung wird dazu eine kurze übergreifende Einordnung auch zum Begriff des Modells vorgenommen. Die Auswertungen des entsprechenden Materials für die

Überzeugungen in Bezug zu Modellen sind zum Teil bereits publiziert [4].

2. Allgemeine Ausgangslage in den Fachdidaktiken

Ebenso wie in den Bildungsstandards erscheinen beide Begrifflichkeiten auch in den Fachdidaktiken beider Fächer als bedeutsame Begriffe. Im Detail ergeben sich jedoch unterschiedliche Perspektiven auf das Modell und das Modellieren aus Sicht der Mathematik und Physik [5]. Weiterhin ist festzustellen, dass zu beiden Begriffen keine allgemeine Definition vorliegt [9].

Für den Physikunterricht wurde schon früh das Feld zwischen produktiver Modellanwendung und konstruktiver Modellfindung als dasjenige ausgemacht, in dem sich der Umgang mit Modellen und das Modellieren bewegen kann [12]. Die konstruktive Modellfindung ist hierbei als der Versuch zu verstehen, durch eigenes Modellieren einen Einblick in die Wissensgenese des Faches zu ermöglichen, die abseits von historischen Ansätzen verläuft. Unverzichtbar ist hierbei die Einbeziehung kreativer Elemente. Auch der expliziten Benennung des Prozesses des Modellierens als solchem und die Reflexion desselben (welcher z. B. anhand von Black-Box-Experimenten durchlaufen werden kann) werden als wesentlich hervorgehoben.

Für physikalisches Modellieren wird weiterhin die Identifikation relevanter Elemente und das Auffinden damit zusammenhängender physikalischer Größen und Gesetze als wesentlich erachtet [14]. Der Fokus des physikalischen Modellierens liegt damit zunächst auf dem konzeptionellen Verständnis und nicht auf der quantitativen Erklärung. Die Anwendung

mathematischer Methoden stellt daher ein optionales Element dar.

Aus der Sicht der Mathematikdidaktik wird das Verständnis der Beziehung zwischen der Mathematik und der realen Welt in den Vordergrund gerückt [3][13]. Die Begründung hierfür wird meist mit Rückgriff auf die mathematischen Grunderfahrungen nach Winter [15] geliefert. Festzustellen ist, dass das Produkt einer solchen Modellierungsaufgabe in der Mathematik meist lediglich eine Zahl ist, die nachträglich mit einer Einheit versehen und dann auf die Realsituation zurückbezogen wird [14].

Betrachtet man die Begriffe des Modells und des Modellierens am Beispiel der Technologie des 3D-Drucks, dessen Verwendung gegenwärtig Eingang in den Mathematik- und Physikunterricht findet, zeigen sich weitere leicht unterschiedliche Schwerpunktsetzungen in den Didaktiken. Vorhandene fachdidaktische Empfehlungen zum Einsatz im Unterricht fokussieren in der Physik überwiegend den Umgang mit Modellen und sehen deren Erstellung überwiegend als eine Aufgabe für die Lehrkräfte an. Für den Mathematikunterricht wird dagegen meist eine prozessorientierte Herangehensweise vorgeschlagen, die den Schwerpunkt auf den Ablauf von Planung und Herstellung legt und diesen den Lernenden selbst überlässt [6].

3. Forschungsfragen und Methodik

Auf Grundlage der Feststellung einer breiten gemeinsamen Basis zu den Themen Modelle und Modellieren im Mathematik- und Physikunterricht wurde eine empirische Untersuchung entworfen, deren Ziel in der Erhebung der beliefs von Lehrkräften zu diesen Themen besteht. Die übergreifende Forschungsfrage lautet:

Welche Überzeugungen (im Sinne von „beliefs“) haben Mathematik- und Physiklehrkräfte von Modellen und Modellierung im Unterricht?

Unter beliefs wird hier (nach [11]) subjektives, erfahrungsbasiertes und i. d. R. implizites Wissen verstanden, welches bei jedem Individuum vorhanden ist.

Die Erhebung wurde anhand von leitfadengestützten Interviews mit bisher vier Probanden durchgeführt. Alle befragten Lehrkräfte sind aktive Lehrerinnen und Lehrer mit der Fächerkombination Mathematik/Physik. Die Interviews gliederten sich jeweils in drei Hauptabschnitte:

- Erfahrungen und Überzeugungen in Bezug auf den Physikunterricht
- Erfahrungen und Überzeugungen in Bezug auf den Mathematikunterricht
- Zusammenführung und Zusammenfassung der Perspektiven beider Fächer

Die Auswertung des Interviewmaterials erfolgt nach der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [10], jeweils getrennt für die verschiedenen Schwerpunkte der Auswertung. Bei den im Folgenden vorgestellten Ergebnissen handelt es sich lediglich um einen

Ausschnitt des Materials, der sich speziell auf den Aspekt des Modellierens beschränkt.

4. Kategoriensystem und Ergebnisse

Nach zweifachem Materialdurchlauf der qualitativen Inhaltsanalyse ergibt sich das folgende Kategoriensystem, welches die vorhandenen Antworten zum Teilthema Modellieren vollständig umfasst:

- Gründe für das Modellieren
- Voraussetzungen/Gelingensbedingungen/Hindernisse
- Natur des Modells im Prozess des Modellierens
- Umgang mit dem Modell als Produkt

Dieses Kategoriensystem umfasst dabei sowohl die Antworten in Bezug auf den Mathematik- als auch auf den Physikunterricht und eventuell geäußerte übergreifende und vergleichende Aspekte. Innerhalb der Kategorien ergeben sich aus dem Material weitere Unterkategorien, unterhalb derer sich die Kommentare der Lehrkräfte zu weiteren Detailspekten jeweils subsumieren lassen.

Die Ergebnisse der einzelnen Interviews werden im Folgenden, entsprechend des o. g. Kategoriensystems, vorgestellt und im Hinblick auf die sich ergebenden Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den beiden Fächern kommentiert. Tabelle 1 stellt die Hauptkategorien und die generalisierten Antworten nochmals zusammen.

4.1. Gründe für das Modellieren

4.1.1. Mit Perspektive auf den Physikunterricht

Als Grund für das Modellieren wird vor allem eine Verbesserung des Verständnisses angeführt, was auf die „greifbareren“ Darstellungsweisen zurückgeführt wird (Unterkategorie: didaktisch-pädagogischer Grund):

„[I]ch bin wieder bei den Atommodellen, ähm, wenn ich sozusagen den Schritt und die Erweiterung dieser Modelle nachvollziehen möchte, komme ich nicht darum selber erstmal zu modellieren und dann vielleicht auch wirklich ein Erkenntnisprozess zu durchlaufen.“

Auch werden Aspekte genannt, die das Themenfeld Nature of Science (NoS) anschnitten. Dazu wird z. B. ausgeführt, dass die Auswertung von Experimenten das Modellieren erfordert. Die Antwort einer Lehrkraft fasst den Grund für das Modellieren – aus NoS-Sicht – sehr prägnant zusammen:

„Ich glaube die letzte Frage [nach möglichen Gründen für das Modellieren im Physikunterricht] stellt sich nicht, weil man da nicht drum rum kommt, also ich glaube, ähm, also ob man modellieren sollte, ich glaube das macht man automatisch, wenn man Physik betreibt.“

Tab. 1: Überzeugungen der Lehrkräfte im Hinblick auf das Modellieren, aufgeschlüsselt nach Hauptkategorien und den Fächern

Kategorie	Physik	Mathematik
Voraussetzungen/Gelingsbedingungen/Hindernisse	<ul style="list-style-type: none"> - Kreativität - Zeitfaktor - fachlicher Anspruch - qualitative Arbeitsweise/ phänomenorientiert 	<ul style="list-style-type: none"> - Übertragung aus dem Alltag einfacher als in der Physik - Modellierungsaufgaben nicht vorgesehen - fachlicher Anspruch - Kreativität - Offenheit der Aufgaben - kein Modellieren
Natur des Modells im Prozess des Modellierens	<ul style="list-style-type: none"> - gegenständlich - ikonisch - geleitet aus Beobachtungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Übertragung von Alltagssituation ins Mathematische - Modellieren losgelöst von bestehenden Modellen
Gründe für das Modellieren	<ul style="list-style-type: none"> - Verbesserung des Verständnisses - Experimente erfordern Modellieren - Physik betreiben ist Modellieren - Modellieren mit der Mathematik in Verbindung gebracht 	<ul style="list-style-type: none"> - schüleraktivierende Arbeitsweise/Problemorientierung - multiple Lösungswege
Umgang mit dem Modell als Produkt	<ul style="list-style-type: none"> - Modell als Verständnishilfe (Sonensystem) - Modellverwendung statt Modellieren 	

4.1.2. Mit Perspektive auf den Mathematikunterricht

Aus der Perspektive des Mathematikunterrichts werden als Gründe für das Modellieren dagegen lediglich Gründe angeführt, die sich als didaktisch-pädagogische Gründe beschreiben lassen. Dazu gehört vor allem die Schüleraktivierung, die mehrfach genannt und als wesentlich eingeschätzt wird. Auch die Offenheit der Lösungswege wird als positiv hervorgehoben.

Eine Lehrkraft beantwortet die Frage nach den möglichen Gründen für Modellieren im Mathematikunterricht dahingehend, dass dies in ihrem Unterricht nicht stattfindet. Die Aussage ist allerdings dahingehend zu relativieren, dass sich dies wohl auf die explizite Benennung des Prozesses als solcher bezieht, da nach Beendigung des Interviews Beispiele für Modellierungen im Mathematikunterricht vorgebracht wurden, die jenen der anderen Lehrkräfte entsprechen (diese Aussagen wurden jedoch bei der Analyse des Materials nicht berücksichtigt).

4.2. Voraussetzungen/Gelingsbedingungen/Hindernisse

4.2.1. Mit Perspektive auf den Physikunterricht

Mit Blick auf den Physikunterricht ergeben sich unter dieser Hauptkategorie wiederum zwei Unterkategorien, die der organisatorischen Rahmenbedingungen sowie die des notwendigen Kompetenzniveaus.

Als wesentliches Hindernis wird, aus organisatorischer Sicht, der Zeitbedarf angesehen, der für Modellierungsaufgaben notwendig ist. Weiterhin wird die Kreativität als eine notwendige Bedingung für

erfolgreiches Modellieren erkannt und explizit benannt. Jedoch gehen die befragten Lehrkräfte überwiegend davon aus, dass ihre Lernenden nicht über ein ausreichendes Maß an Kreativität verfügen. Als wesentlicher Hinderungsgrund werden weiterhin die mathematischen Fähigkeiten, bzw. die quantitative Arbeitsweise innerhalb des Physikunterrichts (hier überwiegend mit Blick auf die Sekundarstufe I) hervorgehoben:

„Ja, Zeitbedarf und weil, ähm, in Physik halt dieser quantitative Anteil immer weiter zurück geht, also wirklich mehr phänomenzentriert gearbeitet, darum geht's nochmal, also verstehen nochmal, wie das grundsätzlich funktioniert, aber gerechnet wird dann halt erst später, ja.“

4.2.2. Mit Perspektive auf den Mathematikunterricht

Den gleichen Unterkategorien lassen sich die Gelingsbedingungen aus der Perspektive des Mathematikunterrichts zuordnen. Als grundsätzlich förderlich wird der, im Vergleich zum Physikunterricht, einfachere Transfer aus der Alltagssituation in den Fachunterricht angesehen. Als Hinderungsgrund wird jedoch auch im Mathematikunterricht das fehlende Basiswissen identifiziert, teils wiederum auch in direkter Verbindung mit der notwendigen Kreativität:

„Du brauchst ja so 'ne, so 'ne, so 'n Grundwissen, um dann an solche Aufgaben rangehen zu können, dann wird's ja sehr kreativ, okay, warte mal, wie kann ich mir dies und das so und so vorstellen und so die Klassiker mit dem, was weiß ich, ne, irgendein Bild gezeigt und da steht ein Mann und da ist eine Statue und wie groß ist die Statue oder so, ja und dann, ja.“

Als hinderlich wird weiterhin, aus organisatorischer Sicht, angesehen, dass Modellierungsaufgaben (zumindest in Form explizit als solche deklarerter Aufgaben) nicht, bzw. lediglich als optionale Angebote, vorgesehen sind:

„[...] konkrete Modellierungsaufgaben, die auch als solche gekennzeichnet sind, das ist bei uns fast gar nicht der Fall, also das maximal so als Erweiterungsangebot für die ganz schnellen oder ganz guten [...]“

4.3. Natur des Modells im Prozess des Modellierens

4.3.1. Mit Perspektive auf den Physikunterricht

Im Hinblick auf die äußere Form, d. h. die Art der Realisierung des Modells i. S. v. Kircher [7], welches im Prozess des Modellierens entsteht, ergibt sich ein recht einheitliches Bild. Bei den entstehenden Modellen (teilweise wurde die Frage lediglich hypothetisch beantwortet) handelt es sich um gegenständliche Modelle (z. B. um Modelle des Sonnensystems), die durch die Schülerinnen und Schüler selbst erstellt werden sollen. Auch benannt wurde die Möglichkeit der Realisierung als ikonisches Modell, in Form von Zeichnungen von Stromkreisen.

Wiederum der Unterkategorie Nature of Science zuzuordnen ist die Frage, was genau durch ein Modell dargestellt werden soll. Hierzu hält das Material eine Aussage bereit, in der darauf verwiesen wird, dass Modelle „immer [...] geleitet an Beobachtungen“ sind.

Das Material zeigt dazu, dass der Modellierungsprozess selbst sowie die Produkte des Modellierens häufig wiederum direkt mit der Erklärungsfunktion von Modellen [7] in Verbindung gebracht werden.

4.3.2. Mit Perspektive auf den Mathematikunterricht

Eine Entsprechung zwischen den beiden Fächern findet sich mit der starken Betonung des Bezugs zwischen der Realsituation, die in die Mathematik übertragen wird. Auch wird die Offenheit des Modells betont, für die nochmals betont wird, dass das Modellieren losgelöst von bestehenden Modellen geschehen soll.

4.4. Umgang mit dem Modell als Produkt

4.4.1. Mit Perspektive auf den Physikunterricht

Wie bereits in der Kategorie der Gründe für das Modellieren angeklungen ist, wird ein starker Fokus auf die Förderung des Verständnisses gelegt. Dieser findet sich ebenso in der Kategorie des Umgangs mit dem Modell als Produkt eines Modellierungsprozesses:

„Ja einfach, dass die Schüler das, ähm, vielleicht greifbarer haben, das was Schwieriges, was für sie vermeintlich schwierig ist, ähm, dann eben viel besser verstehen können. [...]“

Da müssen sie sich halt selbst überlegen, nehme ich natürlich einen großen Ball für die Erde, kleinen Ball

für den Mond, dann müssen sich über solche Sachen noch zusätzlich Gedanken machen.“

4.4.2. Mit Perspektive auf den Mathematikunterricht

Das Produkt von Modellierungsprozessen im Mathematikunterricht wurde von den Lehrkräften in den Interviews nicht angesprochen.

5. Zusammenfassung

Im Hinblick auf das Interviewmaterial insgesamt zeigt sich, dass die Ausführungen der Lehrkräfte zum Modellieren im Umfang und Detailgrad deutlich gegenüber den Ausführungen zu Modellen zurückbleiben. Dies gilt in ähnlichem Maße für den Physik- wie für den Mathematikunterricht. Für die Perspektive des Mathematikunterrichts fallen die Antworten zum Modellieren jedoch etwas umfangreicher aus als für die Perspektive des Physikunterrichts.

Für die Kategorie der Gründe für (oder gegen) das Modellieren lässt sich feststellen, dass die positiven Rückmeldungen überwiegend, d. h., dass die befragten Lehrkräfte das Modellieren sowohl im Physik- als auch im Mathematikunterricht für erstrebenswert halten. Wie das weitere Material darlegt, handelt es sich hierbei jedoch um eine Einschätzung, die sich so nicht in der Unterrichtswirklichkeit wiederfindet. Daher ist der Aspekt der sozialen Erwünschtheit gerade bei dieser Eingangsfrage verstärkt zu berücksichtigen.

Kritische Haltungen zeigen sich dann bei den Überlegungen zur tatsächlichen Umsetzbarkeit (und hier verstärkt für den Physikunterricht), zum Modellieren in der Sekundarstufe I im Allgemeinen sowie (für beide Fächer ähnlich gelagert) im Hinblick auf die Kreativität sowie die notwendigen fachlichen Grundkenntnisse. Hierbei wird insbesondere die überwiegend quantitative Arbeitsweise im Physikunterricht der Sekundarstufe I als Hindernis hervorgehoben.

Als Produkt für einen Modellierungsprozess beziehen sich die befragten Lehrkräfte überwiegend auf gegenständliche Modelle (z. B. Planetenmodelle aus Alltagsgegenständen). Ikonische Modelle als Produkt werden ebenfalls explizit erwähnt. Allenfalls implizit vorhanden ist der Bezug zu theoretischen Modellen (hier den Atommodellen), die im Modellierungsprozess auftreten können. Sowohl bei dem ikonischen als auch (und hier besonders deutlich) bei dem theoretischen Modell schwimmt jedoch die Grenze zwischen der produktiven Modellanwendung (dem reinen Umgang mit dem Modell) und der konstruktiven Modellfindung (dem wirklichen Erstellen eines neuen Modells) in den Aussagen. Auch als Ziel der Modellierung wird primär die Steigerung des Verständnisses genannt, wobei unklar bleibt, inwiefern dies durch den Prozess des Modellierens oder vielmehr durch den anschließenden Umgang mit dem Modell (d. h. durch seine Erklärungsfunktion) erreicht werden soll.

Im Material nicht enthalten sind Beschreibungen des eigentlichen Ablaufs eines Modellierungsprozesses oder zu dessen Einbindung in den Unterricht.

Im Hinblick auf den Umgang mit Modellen, die als Produkt eines Modellierungsprozesses gewonnen wurden, sind die Äußerungen der Lehrkräfte teilweise kaum einer bestimmten Seite zuzuordnen. Eine saubere Trennung von „produktiver Modellnutzung“ und „konstruktiver Modellfindung“ [12] ist kaum sinnvoll möglich. Diese Schwierigkeit betrifft dabei allein den Physikunterricht, da sich für den Mathematikunterricht generell keine Erwähnungen bezüglich der Weiterverwendung solcher Modelle finden lassen.

In der Gesamtschau auf das Interview-Material lässt sich zudem feststellen, dass sich der beschriebene Unterricht sehr weitgehend auf der Seite der reproduktiven Modellanwendung wiederfindet.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Ein Kernanliegen der Untersuchung war es, mögliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Fächer im Hinblick auf die Themen Modelle und Modellieren herauszuarbeiten. Dabei zeigt sich ein fundamentaler Unterschied, der sich bereits im bisherigen Forschungsstand [6] angedeutet hat: Der Schwerpunkt des Physikunterrichts liegt deutlich auf der Behandlung von und dem Umgang mit Modellen. Dagegen fokussiert der Mathematikunterricht fast ausschließlich den Prozess des Modellierens selbst, beachtet jedoch das Modell als Produkt eines solchen Ablaufs überwiegend nicht mehr.

Diese ungleiche Verteilung zeigt sich in der vorrangigen Assoziierung des Modellierungsvorgangs mit gegenständlichen Modellen, wobei damit häufig die Zuordnung einer Erklärungsfunktion [7] an das entstehende Modell einhergeht. Mit Blick auf den Physikunterricht lassen sich im Interviewmaterial keine Erwartungen zu eigenständigen Beiträgen des Modellierungsprozesses selbst zu den Unterrichtszielen identifizieren.

Es zeigt sich damit eine Diskrepanz zwischen der Unterrichtspraxis und den Anforderungen der Bildungsstandards für den Physikunterricht. Diese lässt sich jedoch zum Teil dahingehend auflösen, als dass die Lehrkräfte vornehmlich in der Sekundarstufe I unterrichten. Hier sehen die entsprechenden Bildungsstandards [8] das Modellieren lediglich als einen Teilaspekt innerhalb des Kompetenzbereichs Erklären vor. Darin zeigt sich wiederum eine Herausforderung für die Anknüpfungspunkte zwischen den Sekundarstufen I und II. Eine Vorbereitung auf ein späteres, notwendigerweise mit mathematischen Mitteln durchgeführtes Modellieren, ist in der Sekundarstufe I kaum vorgesehen und lässt sich in den Aussagen der Lehrkräfte folgerichtig nicht wiederfinden.

Mit Blick auf den Mathematikunterricht ergibt es ein anders Bild. Hier wird, im Einklang mit den Bildungsstandards für die Sekundarstufe I und II, auf Basis von Alltagssituationen mathematisch modelliert.

Dabei wird deutlich Wert darauf gelegt, dass es sich um echte Alltagssituationen, anstatt um künstlich gestaltete Kontexte, handelt. Allerdings wird keine aktive Verbindung zwischen den Fächern – im Sinne einer Integration physikalischer Problemstellungen in den Mathematikunterricht – hergestellt. Im Gegenteil wird in einem Fall explizit darauf hingewiesen, dass Modellieren im Mathematikunterricht deutlich einfacher zu realisieren sei, als im Physikunterricht.

Auch wenn mit dieser Unterrichtsrealität den Anforderungen der Bildungsstandards der Sekundarstufe I Genüge getan wird, erscheint der Stand, wie er sich in den Interviews zeigt, nicht vollständig wünschenswert zu sein. Im Hinblick auf Aspekte von Nature of Science sowie aktuellen didaktischen Perspektiven auf den Mathematikunterricht bietet auch der Unterricht in der Sekundarstufe I mehr Potential. Gerade auch unter dem Gesichtspunkt der Vorbereitung auf die späteren Anforderungen in der Sekundarstufe II, wäre zudem eine Erweiterung der Perspektiven auf das Modellieren bereits in der Sekundarstufe I ein möglicher positiver Beitrag.

Dazu gehört, die Sichtweise im Physikunterricht deutlicher über die gegenständlichen Realisierungsformen hinaus zu erweitern und speziell auch Möglichkeiten für rein konzeptionelles Modellieren aufzuzeigen, d. h. zunächst bewusst auf quantitative Betrachtungen zu verzichten.

Eine solche Erweiterung der Perspektive auf das Modellieren könnte zudem dazu geeignet sein, Kreativität im Prozess nicht länger als hinderlich zu begreifen. Inwiefern sich die diesbezüglichen Aussagen allein auf den Zusammenhang mit den notwendigen (mathematischen) Grundkenntnissen bezieht, ist jedoch anhand des bisher vorliegenden Materials nicht zu beantworten.

Generell erscheint es erstrebenswert, den Prozess des Modellierens deutlicher als bislang explizit als solchen zu benennen. Bislang erscheint es unklar, inwiefern sich Lernende (und selbst Lehrende) in der jeweiligen Situation bewusst sind, dass sie gerade selbst ein Modell erstellen.

Weiterer Forschungsbedarf scheint vor allem in Bezug auf die wahrgenommene Rolle der Kreativität, bzw. der Einschätzung der diesbezüglichen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler durch die Lehrkräfte zu bestehen. Zudem erlaubt das Interviewmaterial gegenwärtig keine Aussagen darüber, ob und wie sich die explizite Forderung nach dem eigenständigen Erstellen von Modellen in der Oberstufe auf den Unterricht in der Sekundarstufe I auswirkt.

7. Literatur

- [1] Bildungsstandards im Fach Mathematik für die Allgemeine Hochschulreife (2012).
- [2] Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (2020).

- [3] Blum, W. & Leiß, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der „Tanken“-Aufgabe. *mathematik lehren*(128), 18–21.
- [4] Dilling, F. & Krause, S. F. (erscheint). Funktionen und Eigenschaften von Modellen und Modellieren im Mathematik- und Physikunterricht – eine Interviewstudie mit Lehrer*innen. In F. Dilling, K. Holten & I. Witzke (Hrsg.), *Interdisziplinäres Forschen und Lehren in den MINT-Didaktiken*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- [5] Dilling, F., Holten, K. & Krause, E. (2019). Explikation möglicher inhaltlicher Forschungsgegenstände für eine Wissenschaftskollaboration der Mathematikdidaktik und Physikdidaktik – Eine vergleichende Inhaltsanalyse aktueller deutscher Handbücher und Tagungsbände. *Mathematica Didactica*, 42(2), 87-104.
- [6] Dilling, F., Weber, A., Kraus, S. F. & Bacher, S. (2022). 3D-Druck im Astronomieunterricht - Schülerinnen und Schüler gestalten haptische Modelle. *MNU-Journal*(1), 18–24.
- [7] Kircher, E. (2015). Modellbegriff und Modellbildung in der Physikdidaktik. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (Bd. 45, S. 783–807). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0_27
- [8] KMK (2004). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss.
- [9] Krüger, D., Kauertz, A. & Upmeier zu Belzen, A. (2018). Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 141–157). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_9
- [10] Mayring, P. A. E. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage). Beltz.
- [11] Pehkonen, E. & Pietilä, A. (2003). On Relationships Between Beliefs and Knowledge in Mathematics Education. *Paper presented at the CERME 3: third conference of the European*.
- [12] Schlichting, H. J. (1977). Konstruktive Modellfindung im Unterricht. In G. Schäfer, G. Trommer & K. Wenk (Hrsg.), *Denken in Modellen* (S. 158–173). Westermann.
- [13] Schupp, H. (1988). Anwendungsorientierter Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I zwischen Tradition und neuen Impulsen. *Der Mathematikunterricht*, 34(6), 5–16.
- [14] Tran, N. C., Chu, C. T., Holten, K. & Bernshausen, H. (2020). Models and Modeling. In S. F. Kraus & E. Krause (Hrsg.), *Comparison of Mathematics and Physics Education I : Theoretical Foundations for Interdisciplinary Collaboration* (S. 257–298). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-29880-7_12
- [15] Winter, H. (1995). Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. *Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik*(61), 37–46.