



– Projektskizze –
Sonderausgabe: Erkenntnisweg Biologiedidaktik

Dimensionen von Modellierkompetenz: Eine Analyse der Verhältnisse zwischen Modelliermetawissen, Modellierpraktiken und Modellierprodukt

Kim Eleni Lobner und Moritz Krell

*IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, Kiel
Didaktik der Biologie*

ZUSAMMENFASSUNG

Das Modellieren ist zentraler Bestandteil naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und die Entwicklung von Modellierkompetenz wird als ein bedeutendes Ziel naturwissenschaftlicher Bildung definiert. Von angehenden Lehrkräften naturwissenschaftlicher Fächer wird erwartet, dass sie im Laufe ihrer Ausbildung eine ausgeprägte Modellierkompetenz entwickeln. Die Modellierkompetenz wird in drei Dimensionen unterteilt: Modelliermetawissen, Modellierpraktiken und Modellierprodukt. Während die einzelnen Dimensionen hinreichend erforscht sind, sind die Zusammenhänge zwischen ihnen bislang wenig untersucht. In diesem Projekt werden daher die Zusammenhänge zwischen den Modellierkompetenzdimensionen im Kontext der naturwissenschaftlichen Lehrkräftebildung untersucht. Die Studie wird in einem quasi-experimentellen Design durchgeführt, wobei quantitative und qualitative Methoden zur Erfassung von Modelliermetawissen, der Umsetzung von Modellierpraktiken sowie der Genauigkeit und Erklärungskraft der entwickelten Modelle integriert werden. Das Sampling basiert auf einem mehrstufigen, absichtsvollen Stichprobenplan: Das Modelliermetawissen wird bei angehenden Biologielehrkräften erfasst und von diesen basierend auf ihren Antworten ($n = 50$) zur Teilnahme an einer digitalen Modellierungsaufgabe ausgewählt. Hier modellieren die Teilnehmenden ein biologisches Phänomen zur Enzymaktivität, wobei ihre Modellierpraktiken sowie die Genauigkeit und Erklärungskraft des entwickelten Modells erfasst und bewertet werden. Anschließend wird das Modelliermetawissen der Teilnehmenden sowie der Kontrollgruppe, die die digitale Modellierung nicht durchführt, noch einmal erfasst. Die Daten werden hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen den drei Modellierkompetenzdimensionen qualitativ und quantitativ analysiert. Damit liefert diese Studie theoretisches Wissen über das Verhältnis der drei konstituierenden Dimensionen von Modellierkompetenz. Der Artikel stellt das Studiendesign sowie den aktuellen Stand des Projekts vor.

Schlüsselwörter: Modell, Modellierkompetenz, Biologieunterricht



– Project Outline –
Special Issue: Erkenntnisweg Biologiedidaktik

Dimensions of Modeling Competence: Investigating the Relationships between Modeling Metaknowledge, Modeling Practices, and Modeling Product

Kim Eleni Lobner und Moritz Krell

*IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, Kiel
Didaktik der Biologie*

ABSTRACT

Modeling is a central component of the scientific endeavor, and modeling competence is defined as one goal of science education. Pre-service science teachers (PSTs) are expected to develop high modeling competence during their teacher education studies. The modeling competence is divided into three dimensions: *modeling metaknowledge*, *modeling practices*, and *modeling product*. Although much is known about each of these dimensions, the relationships between them is less studied yet. This project, therefore, investigates these relationships in the context of science teacher education. The study will be conducted in a mixed-method quasi-experimental approach, integrating quantitative and qualitative tools for evaluating PSTs' *modeling metaknowledge*, engagement with the *modeling practices*, and accuracy and explanatory power of *modeling products*. Participants will be selected based on a multi-stage purposeful sampling approach: modeling metaknowledge from PSTs will be assessed and PSTs ($n = 50$) will be selected for participating in a digital modeling task. Here, PSTs will model a biological phenomenon of enzyme activity, whereby their modeling practices and their models' accuracy and explanatory power will be recorded and evaluated. Following that, PSTs' modeling metaknowledge will be once more assessed, compared to a control group that did not perform the digital modeling, and relationships between all three dimensions of the modeling competence will be explored. This study thus provides theoretical knowledge about the relationships between the three constituent dimensions of modelling competence. The article introduces the study design as well as the current state of the project.

Key words: models, modelling competence, biology education

1 Einleitung

Zur Erforschung und Erklärung der Natur bedienen sich die Naturwissenschaften verschiedener Denk- und Arbeitsweisen. Das Modellieren nimmt hierbei eine zentrale Rolle ein und Modellen kommt eine doppelte Funktion zu: Einerseits verhelfen sie als Medien bereits vorhandenes Wissen über natürliche Phänomene zu veranschaulichen und andererseits dienen sie als Forschungswerkzeuge zur Exploration und Prädiktion natürlicher Phänomene (Chiu & Lin, 2019; Krüger & Upmeyer zu Belzen, 2021).

Um Schüler:innen (SuS) entsprechende Fähigkeiten dieser naturwissenschaftlichen Methode zu vermitteln (d. h. Modellierkompetenz; Krüger & Upmeyer zu Belzen, 2021), ist die Ausbildung einer Modellierkompetenz Bildungsziel im naturwissenschaftlichen Unterricht vieler Länder (z. B. NGSS Lead States, 2013; Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK], 2020). Die Modellierkompetenz umfasst hierbei drei Dimensionen: (1) Modelliermetawissen (weitergehend unterteilt in Wissen über Modelle und Wissen über den Modellierprozess), (2) Modellierpraktiken und (3) Modellierprodukt (Chiu & Lin, 2019; Nicolaou & Constantinou, 2014).

Zur Förderung der Modellierkompetenz fordern die Bildungsstandards für das Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss (KMK, 2024) sowie für die Allgemeine Hochschulreife (KMK, 2020) explizit, dass SuS „mögliche Erklärungen für biologische Phänomene [modellieren]“ (KMK, 2024, S. 11), „hypothesengeleitete ... Modellierungen durch[führen] und protokollieren“ (KMK, 2020, S. 16), „die Gültigkeit von Modellen für das Erklären und Vorhersagen biologischer Phänomene [beurteilen]“ (KMK, 2024, S. 11) sowie „Möglichkeiten und Grenzen von Modellen“ (KMK, 2020, S. 17) diskutieren. Die Bildungsstandards zielen demnach auf verschiedene Kenntnisse von und Handlungen mit Modellen ab und berücksichtigen so die drei Modellierkompetenzdimensionen, sodass eine umfassende Ausbildung dieser erwartbar scheint. Studien zeigen jedoch, dass Biologielehrkräfte Modelle überwiegend als Medien zur Repräsentation biologischer Phänomene verstehen und dementsprechend diese deskriptive Facette in ihrem Unterricht umsetzen (Fleige, Seegers, Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2012). Auch fehlen oftmals Unterrichtsangebote, die

den SuS Gelegenheit geben, die Unterschiede zwischen Modellobjekt und realem Phänomen sowie die Grenzen von Modellen zu erkennen und zu reflektieren (Krell & Krüger, 2016). Es ist daher nicht verwunderlich, dass auch SuS in Modellen oftmals Abbilder der Realität sehen und das Potential von Modellen zur Exploration und Prädiktion nicht ausschöpfen können (Trier & Upmeyer zu Belzen, 2009). Biologielehrkräfte sollten daher im Verlauf ihrer Professionalisierung eine ausgeprägte Modellierkompetenz entwickeln, um Modelle adäquat im Unterricht einsetzen zu können (Günther, Fleige, Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2017; Justi & van Driel, 2005).

Um die Modellierkompetenz bei Lehrenden und Lernenden weiterzuentwickeln, ist es erforderlich, die einzelnen Dimensionen theoretisch zu konkretisieren. Denn erst ein präzises Kompetenzmodell der Modellierkompetenz bietet „die Grundlage für die Entwicklung von Messinstrumenten zum Zweck der Diagnose sowie für die Entwicklung von Interventionsmaßnahmen zur Förderung“ (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010, S. 49). Während zu einzelnen Modellierkompetenzdimensionen bereits umfassende Forschungen vorliegen, sind die Zusammenhänge zwischen ihnen noch wenig erforscht (Louca & Zacharia, 2012). Studien, die die Beziehungen zwischen einzelnen (Cheng & Lin, 2015; Engelschalt, Bielik, Krell, Krüger & Upmeyer zu Belzen, 2023a) oder mehreren Dimensionen (Göhner, Bielik & Krell, 2022) untersuchten, liefern erste Ergebnisse, um diesem Desiderat zu begegnen. Gleichzeitig sind die Studien jeweils durch ihre methodische Umsetzung limitiert (z. B. Modellieren an einer Blackbox; Göhner et al., 2022). Die von der DFG geförderte Studie *DiMCo (Dimensions of Modeling Competence)* hat das Ziel, diesem Desiderat weiter zu begegnen und Erkenntnisse zu den Zusammenhängen der Modellierkompetenzdimensionen zu generieren. Die Studie leistet somit einen Beitrag zum Grundlagenwissen über Modellierkompetenz und ihre konstituierenden Dimensionen. Diese Projektskizze stellt das Studiendesign sowie den aktuellen Stand des Projekts vor.

2 Theoretischer Hintergrund und aktueller Forschungsstand

Unter Modellierkompetenz wird nach Krüger und Upmeier zu Belzen (2021) die Fähigkeit verstanden, „beim Herstellen von Modellen einen theoriegeleiteten oder kreativen Erkenntnisprozess zu initiieren, bei der Anwendung von Modellen zweckbezogen Erkenntnisse zu gewinnen, über Modelle mit Bezug auf ihren Zweck zu urteilen und über den Prozess der



Abbildung 1. Dimensionen der Modellierkompetenz

2.1 Modelliermetawissen

Werden Modelle über die Segmentierung des Insektenkörpers oder zum Aufbau der DNA im Unterricht eingesetzt, fungieren sie meistens als Medium und als Modell *von* etwas (Gouvea & Passmore, 2017). Sie bilden verkürzt relevante Strukturen und Funktionen eines Phänomens ab und helfen dabei, entsprechendes Fachwissen zu vermitteln. Dies bietet sich dann an, wenn Originale nicht verfügbar (Insekten) oder Strukturen für das menschliche Auge nicht ersichtlich sind (DNA). Werden mithilfe von Modellen Hypothesen über ein Phänomen abgeleitet oder überprüft, fungieren sie als Forschungswerkzeug und als Modell *für* etwas (Gouvea & Passmore, 2017). Phänomene werden dann mittels Modellen exploriert und Modelle dienen hier der Erkenntnisgewinnung (Koch, Krell & Krüger, 2015; Krüger & Upmeier zu Belzen, 2021). Die Funktion und Natur von Modellen ist komplex und Lernende sollten wissen „how models are used, why they are used, and what their strengths and limitations are“ (Schwarz et al., 2009, S. 634–635). Dieses Wissen über Modelle sowie das Wissen über den Modellierprozess werden unter der Dimension Modelliermetawissen zusammengefasst (Abb. 1).

2.1.1 Wissen über Modelle

Krüger und Upmeier zu Belzen (2021) entwickelten ein Kompetenzmodell mit fünf Teilkompetenzen: *Eigenschaften von Modellen*, *Alternative Modelle*, *Zweck des Modellierens*, *Testen von Modellen* und *Ändern von Modellen*. Die Teilkompetenzen werden

Erkenntnisgewinnung durch Modelle und das Modellieren zu reflektieren“ (S. 134). In der Literatur wird die Modellierkompetenz weitergehend in drei Dimensionen unterteilt, die vor allem die kognitiven Kompetenzaspekte berücksichtigen (Abb. 1; Chiu & Lin, 2019; Nicolaou & Constantinou, 2014). Nach Blömeke, Gustafsson und Shavelson (2015) können diese drei Dimensionen als Kontinuum von Dispositionen (Modelliermetawissen) über die Performanz (Modellierpraktiken) zum Produkt (Modellierprodukt) abgebildet werden.

in drei Niveaustufen gegliedert, die auf unterschiedliches Wissen über Modelle rekurrieren. Niveau I bildet dabei eine naive Sicht, Niveau II eine zwar schon funktionalere, aber noch keine reflektierte Sicht auf Modelle ab; Modelle werden hier als Medien aufgefasst. Niveau III beschreibt ein elaboriertes Wissen über Modelle, in welchem der prädiktive Charakter von Modellen erkannt wird (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010).

Studien zum Wissen über Modelle bei angehenden und praktizierenden Biologielehrkräften kamen mehrheitlich zu dem Ergebnis, dass dieses nur unzureichend ausgeprägt ist und Lehrkräfte eine überwiegend naive Sicht auf Modelle haben (Fleige et al., 2012; Göhner et al., 2022; Krell & Krüger, 2016; Lin, 2014). In der Studie von Krell und Krüger (2016) gaben beispielsweise nur 10% der befragten Biologielehrkräfte an, dass Modelle zur Bildung und Überprüfung von Hypothesen genutzt werden können (Niveau III).

2.1.2 Wissen über den Modellierungsprozess

Das Wissen über den Modellierprozess definieren Justi und van Driel (2005) als Wissen über „steps to be followed in the modelling process and factors on which the modelling process depends“ (S. 555). Bezogen auf diese Definition beschreiben Engelschalt et al. (2023a) folgende Komponenten: (a) *explore the phenomenon*, (b) *develop the model*, (c) *predict with the model* und (d) *test with data*. Die Komponenten werden idealtypisch in einer spezifischen Reihenfolge ausgeführt, wobei der Modellierprozess

zyklisch und iterativ abläuft (Krell, Walzer, Hergert & Krüger, 2019). Nach der Erkundung eines Phänomens (*explore the phenomenon*) wird ein Modell entwickelt (*develop the model*). Dieses wird kontinuierlich überprüft (*test with data*) und zur weiteren Exploration des Phänomens genutzt, indem Hypothesen überprüft und abgeleitet werden (*predict with the model*). Daraus resultierende Erkenntnisse können eine Modellveränderung bedingen und den Modellierprozess erneut anstoßen (Passmore, Gouvea & Giere, 2014).

In Studien wird das Wissen über den Modellierprozess oft gemeinsam mit dem Wissen über Modelle erfasst (Göhner et al., 2022; Lin, 2014). Um das Wissen über den Modellierprozess als separates Konstrukt zu erfassen, entwickelten Engelschalt et al. (2023a) eine Aufgabe, in der angehende Biologielehrkräfte ein Diagramm des Modellierprozesses erstellten. Bei der Diagrammauswertung wurde die Prozessstruktur (Struktur-Score) sowie die Verwendung der Komponenten (Komponenten-Score) bewertet. Während die Komponente *explore the phenomenon* in 42 von 52 Diagrammen enthalten war, wurde *predict with the model* in nur 23 Diagrammen identifiziert. Dies lässt darauf schließen, dass auch im Modellierprozess die prädiktive Modellfunktion unterrepräsentiert ist und ein naives Prozessverständnis vorliegt.

2.2 Modellierpraktiken

Modellierpraktiken sind beobachtbare Tätigkeiten während des Modellierprozesses. Sie lassen sich in Anlehnung an das Prozessschema naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung in drei übergeordnete Phasen des Modellierens einordnen: Exploration des Phänomens, Herstellung des Modells und Anwendung des Modells (Göhner & Krell, 2018; Louca & Zacharia, 2012). Krell et al. (2019) konnten in ihrer Studie mit angehenden Biologielehrkräften, die ein unbekanntes Phänomen in einem Blackbox-Szenario modellierten, neun Modellerschritte identifizieren, denen sich 19 Tätigkeiten zuordnen lassen. So lassen sich beispielsweise innerhalb der Phase der Anwendung des Modells für den Modellerschritt *Ändern/Verwerfen des Modells* die Tätigkeiten *Teilnehmende entwickeln Modell aufgrund von falsifizierter Hypothese weiter* und *Teilnehmende verwerfen Modell aufgrund falsifizierter Hypothesen* zuordnen. Modellerschritte aus dieser Phase des Modellierprozesses waren in der Studie

unterrepräsentiert und die Teilnehmenden zeigten überwiegend Modelliertätigkeiten zur Exploration und Herstellung. Auch Khan (2011) konnte in ihrer Studie keine Tätigkeiten für diesen Modellerschritt identifizieren, die in ihrer Studie als *Modifying* und *Initial model has changed or been enriched* bezeichnet werden. Hieraus ergibt sich, dass die Funktion von Modellen zur Prädiktion von Phänomenen im Modellierprozess stärker berücksichtigt werden sollte, damit die Teilnehmenden auch entsprechende Modelliertätigkeiten zur Phase der Modellanwendung kennenlernen und entsprechend in ihrem Modellierprozess umsetzen können.

2.3 Modellierprodukt

Das Produkt des Modellierprozesses ist ein konkretes und anschauliches Modell, welches Wissen und Annahmen der Erstellenden über das explorierte Phänomen widerspiegelt und anhand bestimmter Kriterien bewertet werden kann (Pluta, Chinn & Duncan, 2011). In einigen Studien werden Modellierprodukte als Indikator für die Qualität der Modellierpraktiken ausgewertet (Cheng & Lin, 2015; Schwarz et al., 2009) während sie in anderen Studien mit Ziel-/Expertenmodellen verglichen und so deren Komplexität, Vollständigkeit und Erklärungskraft bewertet werden (Bielik, Opitz & Novak, 2018).

2.4 Vorarbeiten zu den Zusammenhängen zwischen den Dimensionen der Modellierkompetenz

Es wird angenommen, dass sich die Dimensionen der Modellierkompetenz gegenseitig beeinflussen (Nicolau & Constantinou, 2014; Schwarz et al., 2009). Studien deuten einen positiven Zusammenhang zwischen dem Wissen über Modelle und dem Wissen über den Modellierprozess an (Engelschalt et al., 2023a; Sins, Savelsbergh, van Joolingen & van Hoot, 2009). Ebenso wird ein Zusammenhang zwischen Modelliermetawissen und Modellierpraktiken vermutet: „*metamodeling knowledge guides the practice*“ (Schwarz et al., 2009, S. 635). Cheng und Lin (2015) konnten diese Hypothese bestätigen, während Göhner et al. (2022) keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Modelliermetawissen und Modellierpraktiken feststellen konnten. Weiterhin scheint das aktive Modellieren einen positiven Einfluss auf das Modelliermetawissen auszuüben, vor allem auch dann, wenn diese Tätigkeiten reflektiert werden (Koch et al., 2015; Schwarz & White, 2005).

3 Ziel und Fragestellungen

Die Studie leistet einen Beitrag zur fachdidaktischen Grundlagenforschung, indem das Konstrukt Modellierkompetenz weitergehend untersucht und präzisiert wird. Die übergeordnete Forschungsfrage lautet:

Welche Zusammenhänge bestehen zwischen dem Modelliermetawissen, den Modellierpraktiken und den Modellierprodukten bei angehenden Biologielehrkräften, wenn sie sich mit der Modellierung eines authentischen biologischen Phänomens befassen?



Abbildung 2. Dimensionen der Modellierkompetenz mit Darstellung der zu untersuchenden Zusammenhänge und der Forschungsfragen F1-F4

In Anlehnung an bisherige Forschungsarbeiten ist ein Ziel dieser Studie, bisherige Erkenntnisse zu den Zusammenhängen zwischen einzelnen Dimensionen der Modellierkompetenz konzeptuell zu replizieren (Schmidt, 2009; Yong, 2012). Ein weiteres Ziel der Studie ist es, neue beziehungsweise weitere Erkenntnisse zu den Zusammenhängen der Modellierkompetenzdimensionen zu generieren. Dabei werden in Abgrenzung zu bisherigen Studien unterschiedliche, erprobte und innovative Mess- und Auswertungsinstrumente zusammengeführt. So wird im Gegensatz zu einer Vorgängerstudie mit angehenden Biologielehrkräften von Göhner et al. (2022) anstelle eines Blackbox-Szenarios ein authentisches Modelliersetting gewählt. Weiterhin wird zur Erfassung des Modelliermetawissens neben dem Wissen über Modelle anhand der fünf offenen Fragen im Fragebogen mit der entwickelten Diagramm-Aufgabe (Engelschalt et al., 2023a) zusätzlich auch das Wissen zum Modellierprozess erfasst, um hier weitere Erkenntnisse zu den Zusammenhängen zwischen dem Modelliermetawissen und den weiteren Dimensionen zu gewinnen.

Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Dimensionen bieten das Potential, Fördermaßnahmen sowie geeignete Lehr- und Lernangebote zu entwickeln, die zugleich mehrere Di-

Diese übergeordnete Forschungsfrage wird in vier Forschungsfragen untergliedert (Abb. 2):

F1: Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Wissen über Modelle und dem Wissen über den Modellierprozess?

F2: Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Modelliermetawissen und den Modellierpraktiken?

F3: Inwiefern beeinflusst das praktische Modellieren das Modelliermetawissen?

F4: Welcher Zusammenhang besteht zwischen den gezeigten Modellierpraktiken und der Qualität des Modellierproduktes?

mensionen der Modellierkompetenz berücksichtigen und somit zu einer umfassenderen Förderung und Ausbildung der Modellierkompetenz beitragen können. Es wird beispielsweise angenommen, dass sich praktisches Modellieren auf das Metawissen auswirkt (Gobert & Pallant, 2004). Diese Annahme kann zur Entwicklung von Interventionen führen, in denen praktisch modelliert wird, mit dem Ziel, das Metawissen zu fördern. Empirische Befunde zu den tatsächlichen Zusammenhängen zwischen den Dimensionen können also dazu beitragen, Interventionen evidenzbasiert und gezielt zu entwickeln.

4 Methoden

Die Studie wird in einem quasi-experimentellen Design durchgeführt, wobei quantitative und qualitative Instrumente zur Bewertung des Modelliermetawissens, der Modellierpraktiken und des Modellierproduktes eingesetzt werden.

4.1 Stichprobe, Studiendesign und Datenerhebung

Die Stichprobe besteht aus angehenden Biologielehrkräften aus dem Bachelor- und Masterstudien-gang. Das Sampling basiert auf einem mehrstufigen, absichtsvollen kriteriengeleiteten Stichprobenplan

(Onwuegbuzie & Leech, 2007): In der ersten Phase wird das Modelliermetawissen bei 350 Studierenden Anfang des Semesters mittels Online-Fragebogen erfasst (Abb. 3). Die Teilnehmenden beantworten fünf offene Fragen zum Wissen über Modelle, wobei

sich jede Frage auf eine Teilkompetenz nach Krüger und Upmeyer zu Belzen (2021) bezieht (Tab. 1), und erstellen zur Diagnose des Wissens über den Modellierprozess ein Diagramm des Modellierprozesses.

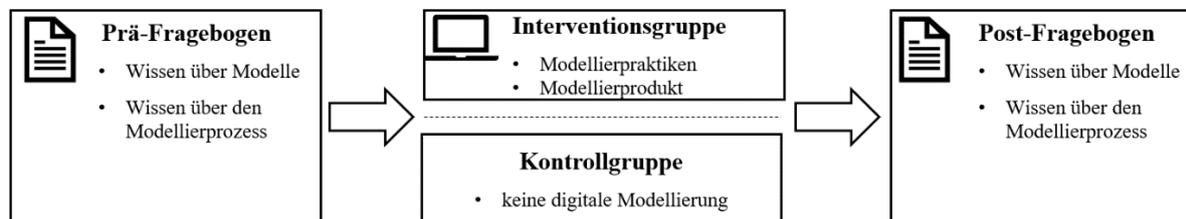


Abbildung 3. Studiendesign mit drei Phasen der Datenerhebung mittels Prä- und Posttests und einer Intervention. Die Intervention wird dabei nur von ausgewählten Teilnehmenden durchgeführt

In der zweiten Phase werden 100 Teilnehmende mit unterschiedlich ausgeprägtem Modelliermetawissen ausgewählt und 50 für die Durchführung einer digitalen Modellieraufgabe (Intervention) eingeladen (Tab. 2). Während der Intervention explorieren die Teilnehmenden mittels einer digitalen Laborumgebung die Temperaturabhängigkeit der Katalase und

erstellen mit SageModeler (Bielik & Krell, 2021) ein digitales Modell zur Erklärung des authentischen naturwissenschaftlichen Phänomens, indem sie die vorgegebenen Variablen Temperatur, Häufigkeit der Kollisionen, Stabilität des Enzymmoleküls und Enzymaktivität miteinander verbinden und die Beziehungen der Variablen zueinander definieren.

Tabelle 1

Darstellung der Teilkompetenzen zum Wissen über Modelle (Krüger & Upmeyer zu Belzen, 2021) und dazugehöriger Fragen aus dem Erhebungsinstrument (Krell & Krüger, 2016)

Teilkompetenzen	Frage im Fragebogen
Wissen über Modelle	
<i>Eigenschaften von Modellen</i>	Beschreiben Sie, inwieweit ein Modell Ihrer Meinung nach dem biologischen Phänomen entspricht.
<i>Alternative Modelle</i>	Aus welchen Gründen gibt es Ihrer Meinung nach zu einem biologischen Phänomen verschiedene Modelle? Beschreiben Sie mindestens zwei unterschiedliche Gründe.
<i>Zweck des Modellierens</i>	Welchen Zweck erfüllen Ihrer Meinung nach Modelle in der Biologie? Beschreiben Sie mindestens zwei unterschiedliche Zwecke.
<i>Testen von Modellen</i>	Wie lässt sich Ihrer Meinung nach überprüfen, ob ein biologisches Modell seinen Zweck erfüllt? Beschreiben Sie mindestens zwei Vorgehensweisen.
<i>Ändern von Modellen</i>	Aus welchen Gründen wird ein gegebenes biologisches Modell Ihrer Meinung nach verändert? Beschreiben Sie wenigstens zwei unterschiedliche Gründe.

Tabelle 2

Übersicht über die geplante kriterienbasierte Stichprobe für die Intervention

	Wissen über Modelle	Wissen über den Modellierprozess	Interventionsgruppe	Kontrollgruppe
<i>Modelliermetawissen</i>	gering	gering	$n = 10$	$n = 10$
	gering	hoch	$n = 10$	$n = 10$
	hoch	gering	$n = 10$	$n = 10$
	hoch	hoch	$n = 10$	$n = 10$
	durchschnittlich	durchschnittlich	$n = 10$	$n = 10$
Total			$n = 100$	

Für die Erfassung der Modellierpraktiken erfolgen Screencast- und Audioaufnahmen und die Teilnehmenden werden zum lauten Denken angehalten, was im Vorfeld eingeübt wird (Konrad, 2010). Im Anschluss an die Modellierung wird ein leitfadengestütztes Interview zum Modellierprozess durchgeführt (Niebert & Gropengießer, 2014). Anschließend erhalten die Teilnehmenden den Post-Fragebogen, mit welchem analog zum Prä-Test erneut ihr Modelliermetawissen erfasst wird.

4.2 Datenauswertung

Zur Bestimmung des Modelliermetawissens werden die Antworten und Diagramme von zwei Ratern mittels Kodierleitfäden (Engelschalt et al., 2023a; Krell & Krüger, 2016) nach der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (Schreier, 2012) ausgewertet. Hierbei werden die Antworten den drei Niveaustufen zugeordnet und für die Diagramme die Modellierprozessstruktur (Struktur-Score) und die Verwendung der Komponenten (Komponenten-Score) bestimmt. Zur Überprüfung der Beurteilerübereinstimmung werden *Kappa-Werte* (Wirtz & Caspar, 2002) berechnet. Die Modellierpraktiken (Screencast- und Audioaufnahmen) und das Modellierprodukt werden anhand adaptierter Kodierleitfäden ausgewertet (Eidin et al., 2023; Krell et al., 2019). Dabei werden zur Auswertung der Modellierpraktiken die einzelnen Modellerschritte und -tätigkeiten identifiziert und den übergeordneten Phasen des Modellierprozesses zugeordnet. Die Genauigkeit (*accuracy*) und Erklärungskraft (*explanatory power*)

des Modelles (Pluta, Chinn & Duncan, 2011) werden bestimmt, indem einerseits Punkte für die korrekte Verbindung der einzelnen Variablen sowie für die Definition der korrekten Beziehung zwischen den einzelnen Variablen vergeben werden. Durch Simulation des erstellten Modells wird andererseits der Outcome bestimmt und gleichfalls bepunktet.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen 1, 2 und 4 werden Korrelationsanalysen durchgeführt. Für die Beantwortung der Forschungsfrage 3 wird das Modelliermetawissen aus Prä- und Posttest (Wilcoxon-Test) verglichen. Weitere statistische Analysen (z. B. Varianzanalysen) können in Abhängigkeit der erhobenen Daten durchgeführt werden.

5. Stand des Projekts und Diskussion

Die erste Datenerhebung wurde im Wintersemester 2023/2024 durchgeführt; die zweite im Sommersemester 2024. Bisher konnte das Modelliermetawissen aus dem Prä-Test von $n = 102$ Studierenden ausgewertet werden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich das Modelliermetawissen bei den Studierenden auf den unteren Niveaustufen abbildet und Modelle überwiegend als Medien aufgefasst werden (Tab. 3, 4). Die Analysen der Modellierpraktiken und Modellierprodukte aus der Interventionsphase (aktuell $n = 21$) sowie des Modelliermetawissen aus dem Post-Test (aktuell $n = 20$) sind noch nicht abgeschlossen.

Tabelle 3

Antworten zu den offenen Fragen aus dem Prä-Fragebogen zum Wissen über Modelle (Krüger & Upmeier zu Belzen, 2010), $n = 102$

Teilkompetenzen	Niveau I	Niveau II	Niveau III
Wissen über Modelle			
<i>Eigenschaften von Modellen</i>	13	80	8
<i>Alternative Modelle</i>	9	61	14
<i>Zweck des Modellierens</i>	41	34	13
<i>Testen von Modellen</i>	6	49	16
<i>Ändern von Modellen</i>	9	73	6

Tabelle 4

Übersicht über den Struktur- und Komponenten-Score der Diagramme aus dem Prä-Fragebogen zum Wissen über den Modellierprozess (Engelschalt et al., 2023a), $n = 102$

	Score 1	Score 2	Score 3
<i>Komponenten-Score</i>	Verwendung von 1-2 Komponenten	Verwendung von 3 Komponenten	Verwendung von allen 4 Komponenten
	59	28	15
<i>Struktur-Score</i>	linearer Prozess ohne Modelländerung	zyklischer Prozess mit Modelländerung	zyklischer Prozess mit Modelländerung und er- neuter Datenerhebung
	29	53	20

Dem Kompetenzbegriff von Weinert (2001) folgend, sind bei der Kompetenzmodellierung neben kognitiven auch nicht-kognitive Faktoren bedeutsam (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010). So untersuchten Ammonet, Göhner, Bielik und Krell (2023) volitionale Faktoren bei angehenden Biologielehrkräften bei der Modellierung eines unbekanntes Phänomens und fanden einen positiven Zusammenhang zwischen Selbstregulation und Modellierpraktiken. Auch soziale Faktoren können das Modellieren beeinflussen, sodass Schwarz, Ke, Salgado und Manz (2022) fordern: „Social, relational and power interactions are essential to investigate if we are serious about making modeling work“ (S. 1090). Weiterhin scheinen Vorkenntnisse über das Phänomen sowie das Modelliersetting für den Modellierprozess, die Modellierpraktiken und das Modellierprodukt relevant zu sein (Engelschalt, Röske, Penzlin, Krüger & Upmeier zu Belzen, 2023b; Göhner et al., 2022; Ruppert, Duncan & Chinn, 2019). Teilnehmende entwickelten komplexere Modelle zu bekannten als zu unbekanntes Phänomenen (Engelschalt et al., 2023b).

Für die fehlende Korrelation zwischen Modelliermetawissen und Modellierpraktiken führten Göhner et al. (2022) als eine mögliche Ursache das Modelliersetting (Black-Box) an.

Dementsprechend werden in dieser Studie weitere Kontrollvariablen erfasst (z. B. Fachwissen und kognitive Belastung während des Modellierprozesses), um interindividuelle Unterschiede in den Dimensionen der Modellierkompetenz und ihren Zusammenhängen bestmöglich aufklären zu können. Diese Aspekte sollten auch in zukünftigen Forschungsvorhaben Berücksichtigung finden, um das Konstrukt der Modellierkompetenz stetig erweitern und konkretisieren sowie weitere Interventionsmaßnahmen für die Entwicklung und Förderung der Kompetenz entwickeln zu können.

Danksagung

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 510978671.

Literatur

- Ammoneit, R., Göhner, M., Bielik, T. & Krell, M. (2023). Why most definitions of modeling competence in science education fall short. *Science Education*, 108, 443–466.
- Bielik, T. & Krell, M. (2021). SageModeler. In M. Kubsch, S. Sorge, J. Arnold & N. Graulich (Hrsg.), *Lehrkräftebildung neu gedacht* (S.199–202). Münster/New York: Waxmann.
- Bielik, T., Opitz, S. & Novak, M. (2018). Supporting students in building and using models. *Education Sciences*, 8, 1–31.
- Blömeke, S., Gustafsson, J. & Shavelson, R. (2015). Beyond dichotomies. *Zeitschrift Für Psychologie*, 223, 3–13.
- Cheng, M. & Lin, J. (2015). Investigating the relationship between students' views of scientific models and their development of models. *International Journal of Science Education*, 37, 2453–2475.
- Chiu, M. & Lin, J. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1–11.
- Eidin, E., Bielik, T., Touitou, I., Bowers, J., McIntyre, C., Damelin, D. & Krajcik, J. (2023). Thinking in terms of change over time. *Journal of Science Education and Technology*, 33, 1–28.
- Engelschalt, P., Bielik, T., Krell, M., Krüger, D. & Upmeier zu Belzen, A. (2023a). Investigating pre-service science teachers' metaknowledge about the modelling process and its relation to metaknowledge about models. *International Journal of Science Education*, 46(7), 691–714.
- Engelschalt, P., Röske, M., Penzlin, J., Krüger, D. & Upmeier zu Belzen, A. (2023b). Abductive reasoning in modeling biological phenomena as complex systems. *Frontiers in Education*, 8, 1–17.
- Fleige, J., Seegers, A., Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2012). Förderung von Modellkompetenz im Biologieunterricht. *MNU Journal*, 65(1), 19–28.
- Gobert, J. & Pallant, A. (2004). *Fostering students' epistemologies of models via authentic model-based tasks*. *Journal of Science Education and Technology*, 13, 7–22.
- Göhner, M., Bielik, T. & Krell, M. (2022). Investigating the dimensions of the modeling competence among pre-service science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 59, 1354–1387.
- Göhner, M. & Krell, M. (2018). Modellierungsprozesse von Lehramtsstudierenden der Biologie. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 17, 45–63.
- Gouvea, J. & Passmore, C. (2017). 'Models of' versus 'Models for'. *Science & Education*, 26, 49–63.
- Günther, S., Fleige, J., Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2017). Interventionsstudie mit angehenden Lehrkräften zur Förderung von Modellkompetenz im Unterrichtsfach Biologie. In C. Gräsel & K. Trempler (Hrsg.), *Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals* (S. 215–236). Wiesbaden: Springer.
- Justi, R. & Van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling. *International Journal of Science Education*, 27(5), 549–573.
- Khan, S. (2011). What's missing in model-based teaching. *Journal of Science Teacher Education*, 22(6), 535–560.
- Koch, S., Krell, M. & Krüger, D. (2015). Förderung von Modellkompetenz durch den Einsatz einer Blackbox. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 14, 93–108.
- Konrad, K. (2010). Lautes Denken. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*, (S. 476–490). Wiesbaden: VS Verlag.
- Krell, M. & Krüger, D. (2016). Testing models. *Journal of Biological Education*, 50(2), 160–173.
- Krell, M., Walzer, C., Hergert, S. & Krüger, D. (2019). Development and application of a category system to describe pre-service science teachers' activities in the process of scientific modelling. *Research in Science Education*, 49, 1319–1345.
- Krüger, D. & Upmeier zu Belzen, A. (2021) Kompetenzmodell der Modellierkompetenz. *ZfDN*, 27, 127–137.
- Lin, J.-W. (2014). Elementary school teachers' knowledge of model functions and modeling processes. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12, 1197–1220.
- Louca, L. & Zacharia, Z. (2012). Modeling-based learning in science education. *Educational Review*, 64, 471–492.
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. Washington, DC: The National Academy Press.

- Nicolaou, C. & Constantinou, C. (2014). Assessment of the modeling competence. *Educational Research Review*, 13, 52–73.
- Niebert, K. & Gropengießer, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121–132). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Onwuegbuzie, A. & Leech, N. (2007). A call for qualitative power analyses. *Quality & Quantity*, 41, 105–121.
- Passmore, C., Gouvea, J. & Giere, R. (2014). Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. In M. Matthews (Hrsg.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (S. 1171–1202). Dordrecht: Springer.
- Pluta, W., Chinn, C. & Duncan, R. (2011). Learners' epistemic criteria for good scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 48, 486–511.
- Ruppert, J., Duncan, R. & Chinn, C. (2019). Disentangling the role of domain-specific knowledge in student modeling. *Research in Science Education*, 49, 921–948.
- Schmidt, S. (2009). Shall we really do it again? The powerful concept of replication is neglected in the social sciences. *Review of General Psychology*, 13, 90–100.
- Schreier, M. (2012). *Qualitative content analysis in practice*. London: Sage.
- Schwarz, C., Ke, L., Salgado, M. & Manz, E. (2022). Beyond assessing knowledge about models and modeling. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(6), 1086–1096.
- Schwarz, C., Reiser, B., Davis, E., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling. *Journal of Research in Science teaching*, 46(6), 632–654.
- Schwarz, C. & White, B. (2005). Metamodeling knowledge. *Cognition and Instruction*, 23, 165–205.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK] (2020). *Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife*. Hürth: Wolters Kluwer.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK] (2024). *Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Biologie (MSA)*.
- Sins, P., Savelsbergh, E., van Joolingen, W. & van Hout-Wolters, B. (2009). The relation between students' epistemological understanding of computer models and their cognitive processing on a modelling task. *International Journal of Science Education*, 31, 1205–1229.
- Trier, U. & Upmeyer zu Belzen, A. (2009). „Wissenschaftler nutzen Modelle, um etwas Neues zu entdecken, und in der Schule lernt man einfach nur, dass es so ist.“ Schülervorstellungen zu Modellen. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 8, 23–38.
- Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41–57.
- Weinert, F. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen. In F. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (S. 17–31). Weinheim/Basel: Beltz.
- Wirtz, M. & Caspar, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität*. Göttingen: Hogrefe.
- Yong, E. (2012). Bad copy. *Nature*, 485, 298–300.

Kontakt

Kim Eleni Lobner
IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik
Olshausenstraße 62
24118 Kiel
lobner@leibniz-ipn.de

Zitationshinweis:

Lobner, K. E. & Krell, M. (2025). Dimensionen von Modellierkompetenz: Eine Analyse der Verhältnisse zwischen Modelliermetawissen, Modellierpraktiken und Modellierprodukt. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) – Biologie Lehren und Lernen*, 30(2), 40-51. doi: 10.11576/zdb-7359

Veröffentlicht: 19.05.2025



Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung 4.0 International zugänglich (CC BY 4.0 de). Diese Lizenz gilt nur für das Originalmaterial. Alle gekennzeichneten Fremdinhalte (z.B. Abbildungen, Fotos, Tabellen, Zitate etc.) sind von der CC-Lizenz ausgenommen. Für deren Wiederverwendung ist es ggf. erforderlich, weitere Nutzungsgenehmigungen beim jeweiligen Rechteinhaber einzuholen. URL <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>