

# Lehr-Lern-Prozesse zum mathematischen Modellieren im Lehr-Labor MiRA<sup>+</sup> initiieren und erforschen

RAPHAEL WESS & GILBERT GREEFRATH, MÜNSTER

**Zusammenfassung:** *Im Kontext des Lehr-Labors MiRA<sup>+</sup> fokussieren wir auf die Professionalisierung angehender Lehrkräfte durch reflektierte Praxiserfahrung. Hierzu nehmen wir Aspekte professioneller Kompetenz zum Lehren mathematischen Modellierens in den Blick. So stellt insbesondere die Förderung der modellierungsspezifischen Diagnose- sowie Aufgabenkompetenz einen Schwerpunkt des münsterschen Lehr-Labor-Seminars dar. Der vorliegende Beitrag gibt Einblicke in das Konzept des Lehr-Labors und berichtet die Ergebnisse einer quantitativen Studie, in welcher wir die Entwicklung dieser Facetten bei teilnehmenden Studierenden untersuchen.*

**Abstract:** *In the context of the teaching laboratory MiRA<sup>+</sup>, we focus on the professionalisation of prospective teachers through reflected practical experience. For this purpose, we take aspects of professional competence to teach mathematical modelling into account. In particular, the promotion of modelling-specific diagnostic and task competence is one of the focuses of the teaching laboratory seminar. This contribution provides insights into the concept of the teaching laboratory and reports the results of a quantitative study in which we are examining the development of these facets of participating students.*

## 1. Einleitung

Im Zuge des münsterschen Projekts zur Qualitätsoffensive Lehrerbildung (*Dealing with Diversity*) werden an der Westfälischen Wilhelms-Universität Lerngelegenheiten geschaffen, die angehende Lehrkräfte durch reflektierte Praxiserfahrung auf einen produktiven Umgang mit heterogenen Lerngruppen vorbereiten. Die Implementation von Lehr-Lern-Laboren stellt dabei eine gewinnbringende Möglichkeit für den frühen Einbezug von Praxiselementen in das Studium dar, welche das Ziel der Professionalisierung angehender Lehrkräfte durch eine gemeinsame Reflexion über Lehr-Lern-Prozesse (Putnam & Borko, 2000) fokussiert. Ebenso können Lehrveranstaltungen mit reflektierter Praxiseinbindung helfen, den beim Übergang in die Schulpraxis wahrgenommenen Bruch zwischen Theorie und Praxis abzumildern (Korthagen, 2001).

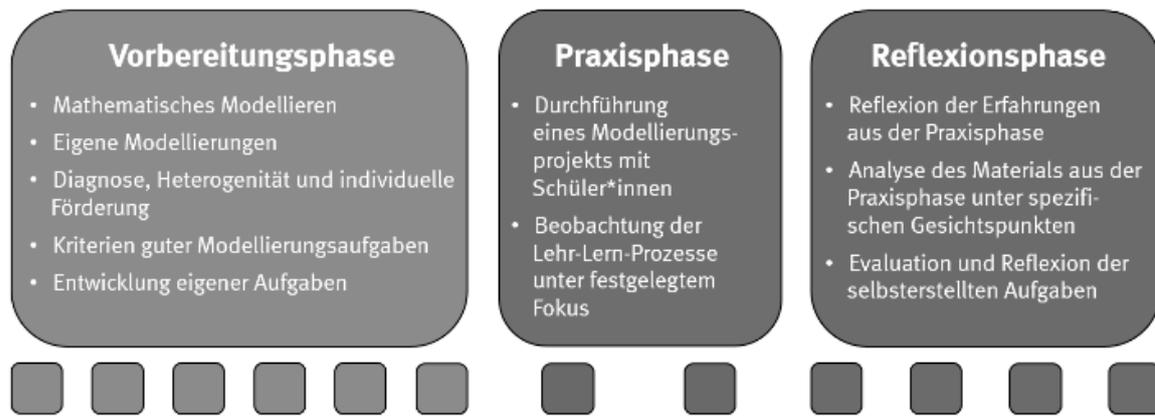
Im Hinblick auf einen potentialorientierten Umgang mit Heterogenität bieten sich solche Lerngelegenheiten insbesondere dazu an, Erfahrungen im Umgang

mit unterschiedlichen individuellen Leistungsvoraussetzungen zu sammeln, indem z. B. differenzierende Lernmaterialien und variierte Instruktionen mit Lernenden erprobt und reflektiert werden.

Aus mathematikdidaktischer Perspektive haben mathematische Modellierungsprozesse ein großes Potenzial im Bereich natürlicher Differenzierung. So erlauben offene Modellierungsaufgaben einen produktiven Umgang mit Heterogenität, indem sie eine nach Vorkenntnissen, Interessen und Leistungsfähigkeit differenzierte bzw. individualisierte Bearbeitung ermöglichen. Diese selbstdifferenzierende Eigenschaft (Maaß, 2005a) kann wiederum die Komplexität der Lehrhandlungen reduzieren und so den in Lehr-Lern-Laboren zentralen Aspekt der Komplexitätsreduktion (Dohrmann & Nordmeier, 2015) unterstützen. Komplexitätsreduktion kann darüber hinaus durch die Arbeit in kleinen Gruppen, die Unterstützung durch Dozentinnen und Dozenten, die hochschulische Verortung, die Beschränkung der Beobachtungsaufgaben auf ausgewählte Aspekte etc. realisiert werden.

Jedoch stellt das mathematische Modellieren trotz des großen Potenzials sowohl für Schülerinnen und Schüler, als auch für (angehende) Lehrkräfte eine Herausforderung dar (Blum, 2015). Aus diesem Grund ist eine genaue Betrachtung notwendiger Lehrkompetenzen mathematischen Modellierens im Sinne der Qualitätsentwicklung in der Lehrerbildung erforderlich. Dabei verstehen wir Kompetenzen als kontextspezifische kognitive Leistungsdispositionen, die sich funktional auf spezifische Situationen und Anforderungen beziehen (Klieme & Leutner, 2006). Somit ist nicht nur der Erwerb theoretischen Wissens, sondern auch dessen Anwendung in konkreten Anforderungssituationen ein Teil aktueller Professionalisierungsbemühungen.

Im Folgenden werden daher exemplarisch die Entwicklungen der Diagnose- und Aufgabenkompetenz als Aspekte professioneller Kompetenz zum Lehren mathematischen Modellierens aus Sicht des – in der ersten Phase der Lehrerbildung angesiedelten – Lehr-Labors MiRA<sup>+</sup> (Mathematik in realen Anwendungen) in den Blick genommen. Die Basis hierfür bilden Modellierungsaufgaben, welche durch Studierende kriteriengeleitet entwickelt werden. Nach der Bearbeitung mit Schülerinnen und Schülern im Lehr-Labor werden die beobachteten Lernprozesse reflexiv evaluiert.

Abb. 1: Konzeption des Lehr-Labors MiRA<sup>+</sup>.

## 2. Konzeption des Lehr-Labors MiRA<sup>+</sup>

Das in diesem Beitrag beschriebene Lehr-Labor MiRA<sup>+</sup> ist im Master of Education für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen verortet und umfasst für die Studierenden eine Lehrveranstaltung mit 12 Seminarsitzungen (vgl. Bullets Abb. 1) und zusätzlichen Blended Learning Formaten im Bereich der Konzeption eigener Modellierungsaufgaben. Es besteht aus einer theoriebasierten Vorbereitungsphase, einer Praxisphase sowie einer Reflexionsphase (vgl. Abb. 1). Den inhaltlichen Kern aller Phasen bilden Modellierungsprozesse auf der einen sowie die Sensibilisierung für und der potentialorientierte Umgang mit Heterogenität auf der anderen Seite (Wess & Krusekamp, 2017). Demnach gestaltet sich die – im Folgenden genauer beschriebene – Förderung der modellierungsspezifischen Diagnose- und Aufgabenkompetenz als zentral in allen Phasen. Auf Grund der Schwerpunktsetzung in der Lehrerbildung wurde die Bezeichnung „Lehr-Labor“ verwendet. Selbstverständlich finden aber Lehr-Lern-Prozesse von Studierenden sowie Lern-Prozesse von Schülerinnen und Schülern gleichermaßen statt.

Die Vorbereitungsphase des Seminars behandelt – beginnend mit einer Einführung in grundlegende Begrifflichkeiten – ausgewählte didaktische und theoretische Hintergründe des Modellierens (vgl. Kapitel 2) bis hin zu einer eigenen Modellierung und der damit einhergehenden Betrachtung individueller Modellierungsrouten (Borromeo Ferri, 2011). Diese bilden den Übergang zum Themenfeld Heterogenität mit seinen verschiedenen Dimensionen. Im Zusammenhang eines produktiven Umgangs mit Heterogenität wird die individuelle Förderung diskutiert. Als Basis dieser fungiert das individuelle Lernen im Kontext eines offenen und adaptiven Unterrichts, welcher in erster Linie auf Prozessen pädagogischer Diagnostik (Fischer et al., 2014) fußt. Hieran anschließend werden Kriterien für geeignete Modellierungsaufgaben mit Blick auf die theoretischen Überlegungen aus

Kapitel 2.1.4 erstellt und von den Studierenden solche Aufgaben im Rahmen eines Blended Learning Formats mit verschiedenen Feedbackzyklen für den Einsatz in der Praxisphase entwickelt (ein Aufgabenbeispiel siehe Anhang). Abschließend werden Kriterien und Indikatoren zu festgelegten Teilprozessen des Modellierens erstellt, um auf diese Weise die Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler in den Lehr-Labor-Sitzungen beobachten und diagnostizieren zu können. Insbesondere das Erstellen eines geeigneten Kriterienkatalogs sowie die Entwicklung eigener Modellierungsaufgaben legt in Verbindung mit der intensiven Auseinandersetzung zu diagnostizierender Teilprozesse eine solide theoretische Basis für die Förderung modellierungsspezifischer Diagnose- und Aufgabenkompetenz.

In der Praxisphase gestalten alle Seminarteilnehmenden jeweils zwei Lehr-Labor-Termine. Während dieser 90-minütigen Projektsitzungen betreut je ein Team aus drei Studierenden eine Kleingruppe von Schülerinnen und Schülern bei der Bearbeitung der selbsterstellten Modellierungsaufgaben. Die Teams fokussieren ihre Beobachtungen der Prozesse auf die gezeigten Teilkompetenzen mathematischen Modellierens und protokollieren diese in dem zuvor erstellten Beobachtungsbogen. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten dabei in motivierenden Projektkontexten an lehrplan-vertiefenden Inhalten. Dabei sehen die kooperierenden Schulen den Besuch im Lehr-Labor als gute Ergänzung zum Regelunterricht. Im Anschluss an die Sitzungen werden aus den Erkenntnissen Implikationen für die kommenden Lehr-Labor-Termine gezogen, indem beispielsweise eine Variation der Instruktionen thematisiert wird. Diese Verschränkung von Theorie und Praxis im Kontext diagnostischer Handlungen und Aufgaben (Bruder, 2003) stellt eine praxisnahe Förderung der modellierungsspezifischen Diagnose- und Aufgabenkompetenz dar.

In der Reflexionsphase stehen die Praxiserfahrungen aus den beobachteten Lehr-Lern-Prozessen ebenso im Mittelpunkt wie der Umgang mit Heterogenität

und die Konsequenzen für die Konzeption eigener Modellierungsaufgaben. Hierfür werden zunächst die Projektsitzungen in Form schriftlicher Reflexionsgespräche diskutiert, um so von den Erfahrungen der anderen Seminarteilnehmenden profitieren zu können. Unter besonderer Berücksichtigung der Heterogenitätsaspekte der beobachteten Lerngruppen finden aufgabenübergreifende theoriebasierte Gruppenreflexionen zu den jeweiligen Beobachtungsschwerpunkten statt. Hierbei vertiefen die Teilnehmenden ihre diagnostischen Einschätzungen anhand des kollegialen Feedbacks ihrer Kommilitoninnen und Kommilitonen. Zum Abschluss werden die gewonnenen Erkenntnisse für die Professionalisierung der eigenen Lehrtätigkeit sowie zur Evaluation der selbstgestellten Modellierungsaufgabe genutzt und zusätzlich mit Blick auf die in der Vorbereitungsphase erstellten Kriterien für gute Modellierungsaufgaben reflektiert und ggfs. adaptiert. Die gesammelten Erfahrungen und Erkenntnisse werden in einem Reflexionsbericht gesammelt.

Die vorausgehende Konzeption einer universitären Lehrveranstaltung in Form eines fachdidaktischen Lehr-Labor-Seminars mit Praxiseinbindung (vgl. Abb. 1) verfolgt insbesondere das Ziel der Professionalisierung angehender Lehrkräfte durch eine gemeinsame Reflexion über Lehr-Lern-Prozesse. Dies wird als ein allgemeines Ziel von Lehr-Lern-Laboren gesehen, die über die teilnehmenden Schülerinnen und Schüler mit ihren mathematischen Interessen und Denkfähigkeiten als eindeutig auszumachende Zielgruppe hinaus, die Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften fokussieren (Dohrmann & Nordmeier, 2015; Lengnink & Roth, 2016). Dabei sollen „insbesondere

die professionelle Unterrichtswahrnehmung, die Reflexionskompetenz und der Erwerb von Professionswissen und Handlungskompetenz“ gefördert werden (Dohrmann & Nordmeier, 2015, S. 2). Darüber hinaus stellt das theoriegeleitete Erproben praktischen didaktischen Handelns mit Blick auf die teilnehmenden Studierenden ein zentrales Element von Lehr-Lern-Laboren dar. Völker und Trefzger (2011) beschreiben diese Profilierung in der Lehrerbildung als eine

Verschränkung von Theorie und Praxis, von fachdidaktischem und fachwissenschaftlichem Wissen durch praktische und unterrichtsbezogene Umsetzung. (Völker & Trefzger, 2011, S. 2)

So wird das erworbene didaktische und fachliche Wissen bei der Erstellung von Aufgaben sowie bei der Arbeit mit Schülerinnen und Schülern miteinander verzahnt und umgesetzt. Eben jene Lehr-Lern-Labor-Charakteristika sowie die im Theorieteil folgenden Ausführungen zum Kompetenzerwerb bei Schülerinnen und Schülern, aber insbesondere bei Studierenden zeigen die vielschichtige Eignung des außerschulischen Lernortes „Lehr-Lern-Labor“ im Bereich des mathematischen Modellierens auf. So realisiert die selbstständige Arbeit in kleinen Gruppen gerade die operativ strategische Lernform auf Seiten der Schülerinnen und Schüler während die komplexitätsreduzierten, fokussierten und kriteriengeleiteten Beobachtungen und Aufgabenentwicklungen die diagnostischen und aufgabenbezogenen Kompetenzen auf Seite der Studierenden in den Blick nehmen.

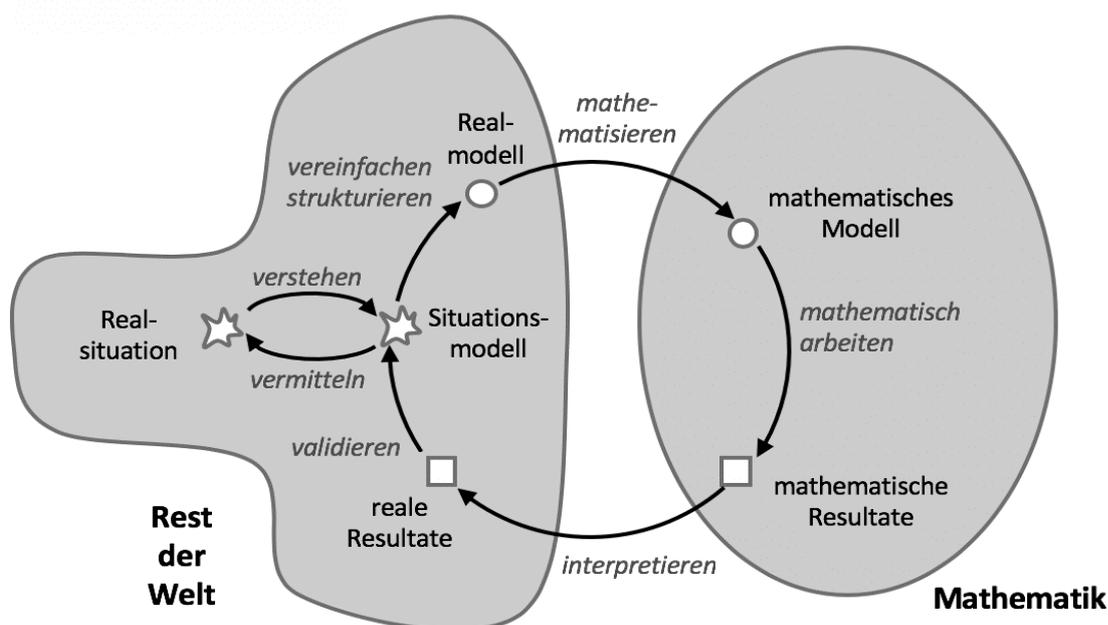


Abb. 2: 7-schrittiger Modellierungskreislauf nach Blum (2010, S. 42).

### 3. Theoretischer Hintergrund

#### 3.1 Mathematisches Modellieren

Das mathematische Modellieren bildet die Grundlage der Lehr-Lern-Prozesse im Lehr-Labor MiRA<sup>+</sup>. Reale Kontexte liefern eine Fülle authentischer Problemstellungen, welche mit mathematischen Mitteln gelöst und schließlich wieder auf den Kontext bezogen werden können. Solche Lösungsprozesse beschreibt man mit dem Begriff des mathematischen *Modellierens*. Dabei stellt mathematisches Modellieren ein Forschungsfeld in Schule und Hochschule dar, welches sowohl national als auch international besondere Beachtung erhält (Borromeo Ferri et al., 2013). So hat Modellieren z. B. seit Ende des letzten Jahrhunderts verstärkt Einzug in die Lehrpläne und Standards für den deutschen Mathematikunterricht gehalten. Im Folgenden werden ausgewählte theoretische und didaktische Hintergründe mathematischen Modellierens betrachtet, die für die weiteren Überlegungen grundlegend sind.

##### 3.1.1 Mathematisches Modell

Ein zentraler Aspekt des Modellierens ist die Konstruktion eines Modells. Unter einem *mathematischen Modell* wird ein bewusst vereinfachter und formalisierter Teil der realen Welt, oder – formal – ein Tripel  $(R, M, f)$  bestehend aus einem Ausschnitt der Realität  $R$ , einer Teilmenge der mathematischen Welt  $M$  und einer geeigneten Abbildung  $f$  von  $R$  nach  $M$  verstanden (Niss et al., 2007). Da Vereinfachungen und Formalisierungen auf unterschiedliche Art und Weise möglich sind, unterscheiden sich auch die zugehörigen mathematischen Modelle. Alle Modelle sollen dabei jedoch möglichst zweckmäßig, widerspruchsfrei und stimmig sein (Greefrath et al., 2013).

##### 3.1.2 Modellierungskreisläufe

Der gesamte Prozess des mathematischen Modellierens lässt sich beispielsweise als idealisierter Kreislauf (vgl. Abb. 2) darstellen. Dieser bildet demnach selbst wieder ein Modell des Modellierungsprozesses. Modellierungskreisläufe werden zielgerichtet erstellt und unterscheiden sich daher bewusst voneinander. Neben dem in Abb. 2 dargestellten 7-schrittigen Kreislauf nach Blum (2010), welcher dazu dient Modellierungsprozesse von Lernenden möglichst genau zu beschreiben, gibt es z. B. auch einen 4-schrittigen Kreislauf von Schupp (1988), der den Modellierungsprozess auf die wesentlichen Übersetzungsprozesse zwischen Mathematik und Realität sowie zwischen Problem und Lösung reduziert oder einen 5-schrittigen Kreislauf von Maaß (2005b), der ergän-

zend zu Schupp (1988) durch Betrachtung der *interpretierten Lösung* die Prozesse des Interpretierens und des Validierens unterscheidbar macht.

##### 3.1.3 Modellieren als Kompetenz

Mathematisches Modellieren findet sich als eine von sechs allgemeinen mathematischen Kompetenzen in den Bildungsstandards aller Schulstufen. Schülerinnen und Schüler sollen demnach in der Lage sein, zwischen Realität und Mathematik in beiden Richtungen zu *übersetzen* und im mathematischen Modell zu arbeiten. Blum (2015) beschreibt dabei *Modellierungskompetenz* als die Fähigkeit mathematische Modelle zu konstruieren, zu nutzen oder anzupassen, indem die Prozessschritte adäquat und problemangemessen ausgeführt werden, sowie gegebene Modelle zu analysieren oder vergleichend zu beurteilen. Die Betrachtung unterschiedlicher Modellierungskreisläufe (vgl. 3.1.2) zeigt eine unterschiedliche Akzentuierung dieser Prozessschritte. Die Fähigkeit eben solche Teilprozesse auszuführen, kann als eine *Teilkompetenz* des Modellierens angesehen werden (Niss, 2003; Kaiser, 2007).

Teilkompetenz	Indikator
Verstehen	Die Schülerinnen und Schüler konstruieren ein eigenes mentales Modell zu einer gegebenen Problemsituation und verstehen so die Fragestellung.
Vereinfachen	Die Schülerinnen und Schüler trennen wichtige und unwichtige Informationen einer Realsituation.
Mathematisieren	Die Schülerinnen und Schüler übersetzen geeignet vereinfachte Realsituationen in mathematische Modelle (z. B. Term, Gleichung, Figur, Diagramm, Funktion).
Mathematisch Arbeiten	Die Schülerinnen und Schüler arbeiten mit dem mathematischen Modell und nutzen dabei mathematische Regeln und Verfahren.
Interpretieren	Die Schülerinnen und Schüler beziehen die im Modell gewonnenen Resultate auf die Realsituation und erzielen damit reale Resultate.
Validieren	Die Schülerinnen und Schüler überprüfen die realen Resultate im Situationsmodell auf Angemessenheit.
Vermitteln	Die Schülerinnen und Schüler beziehen die im Situationsmodell gefundenen Antworten auf die Realsituation und beantworten so die Fragestellung.

Tab. 1: Teilkompetenzen des Modellierens (vgl. Greefrath et al., 2013).

Diese Teilkompetenzen kann man, in Orientierung an den 7-Schrittigen Modellierungskreislauf aus Abb. 2, wie in Tab. 1 charakterisieren (siehe auch Maaß, 2004; Blomhøj, 2011). Die Orientierung an anderen Kreislaufmodellen kann entsprechend auch zu anders akzentuierten Teilkompetenzen führen.

### 3.1.4 Modellierungsaufgaben

Aufgaben dominieren in starkem Ausmaß den Unterricht im Fach Mathematik. So geht die Vermittlung von Mathematik im Prozess des Lehrens und Lernens seit jeher vom Stellen und Lösen von Aufgaben aus (Neubrand et al., 2011). Konkret lassen sich Modellierungsprozesse im Unterricht also durch geeignete Aufgabenstellungen anregen. Für Modellierungsaufgaben lässt sich eine Fülle von Aufgabenkategorien zur Analyse und Kategorisierung formulieren.

So berücksichtigt Maaß (2010) in ihrem umfangreichen Klassifikationsschema insbesondere die Art der *Beziehung zur Realität*, die *Offenheit* und den Fokus auf die Modellierungsaktivität als Kriterien für Modellierungsaufgaben. Bezüglich der *Beziehung zur Realität* untersuchen wir die *Authentizität* und die *Relevanz* des Kontextes genauer. Bezogen auf den Fokus der Modellierungsaktivität nehmen wir die *Teilkompetenzen* des Modellierens in den Blick (Greefrath et al., 2017).

Eine zentrale Eigenschaft für Modellierungsaufgaben ist demnach die Authentizität. Diese bezieht sich sowohl auf den außermathematischen Kontext als auch auf die Verwendung von Mathematik in der entsprechenden Situation. Der außermathematische Kontext muss echt sein und darf nicht speziell für die Mathematikaufgabe konstruiert worden sein (Vos, 2015). Die Verwendung der Mathematik in dieser Situation muss ebenfalls sinnvoll und realistisch sein und sollte nicht nur im Mathematikunterricht stattfinden. Authentische Modellierungsaufgaben sind demnach Probleme, die genuin zu einem existierenden Fachgebiet oder Problemfeld gehören und von dort arbeitenden Menschen als solche akzeptiert werden (Niss, 1992). Jedoch bedeutet die Authentizität von Aufgaben noch nicht, dass diese Aufgaben für das gegenwärtige oder zukünftige Leben der Schülerinnen und Schüler tatsächlich relevant sind.

Im Zusammenhang mit dem Sachkontext von Aufgaben lässt sich in der deutschen Tradition zwischen eingekleideten Aufgaben, Textaufgaben und Sachproblemen unterscheiden (Radatz & Schipper, 1983). Diese Aufgabentypen liefern Aussagen über die Relevanz des verwendeten Sachkontextes für den Lernenden. Während sich eingekleidete sowie Textaufgaben durch einen schwachen Realitätsbezug und die Austauschbarkeit der Sache charakterisieren lassen,

steht bei Sachproblemen, die oft auch als Sachaufgaben bezeichnet werden, ein tatsächliches Problem aus der Umwelt im Vordergrund. Sie dienen der von Winter (2003) beschriebenen Funktion des Sachrechnens als Umwelterschließung. Also sind Sachprobleme, die im Idealfall fächerverbindende und für den Alltag der Schülerinnen und Schüler relevante Strukturen aufweisen, als Modellierungsaufgaben zu bezeichnen.

Offene Aufgaben sind solche, die beispielsweise mehrere Lösungswege (auf unterschiedlichen Niveaus) oder Lösungen zulassen. Die Offenheit von Aufgaben ermöglicht den Schülerinnen und Schülern eigene Zugangsweisen zu den Aufgaben. Es gibt verschiedene Klassifizierungen offener Aufgaben. Wir beschränken uns hier auf die Klassifikation der Offenheit nach Anfangszustand, Transformation und Zielzustand (Bruder 2000).

Auf Basis der vorangegangenen theoretischen Überlegungen sowie in der Literatur häufig genannter zentraler Eigenschaften für Modellierungsaufgaben (Bruder, 1988; Greefrath & Vorhölter, 2016; Maaß 2004) haben wir den nachstehenden Kriterienkatalog zur Entwicklung und Evaluation von Modellierungsaufgaben zusammengestellt.

Kriterium	Konkretisierung
Realitätsbezug	Stellt die Aufgabe ein tatsächliches Problem aus der Umwelt in den Vordergrund?
Relevanz	Ist die Problemstellung für Schülerinnen und Schüler relevant?
Authentizität	Ist die Problemstellung authentisch bezogen auf den realweltlichen Bezug? Ist die Problemstellung authentisch hinsichtlich der Verwendung von Mathematik?
Offenheit	Gibt es mehrere Möglichkeiten die Aufgabe zu lösen? Bewegen sich die Lösungsmöglichkeiten auf unterschiedlichen Niveaus?
Teilkompetenzen des Modellierens	Sind alle Teilkompetenzen des Modellierens für die Bearbeitung der Aufgabe erforderlich?

Tab. 2: Kriterienkatalog zur Erstellung und Evaluation von Modellierungsaufgaben.

### 3.2 Professionelle Kompetenz zum Lehren mathematischen Modellierens

Aus Sicht der ersten Phase der Lehrerbildung ist eine genaue Betrachtung notwendiger professioneller Kompetenzen zum Lehren mathematischen Modellierens im Sinne der Qualitätsentwicklung der Lehr-

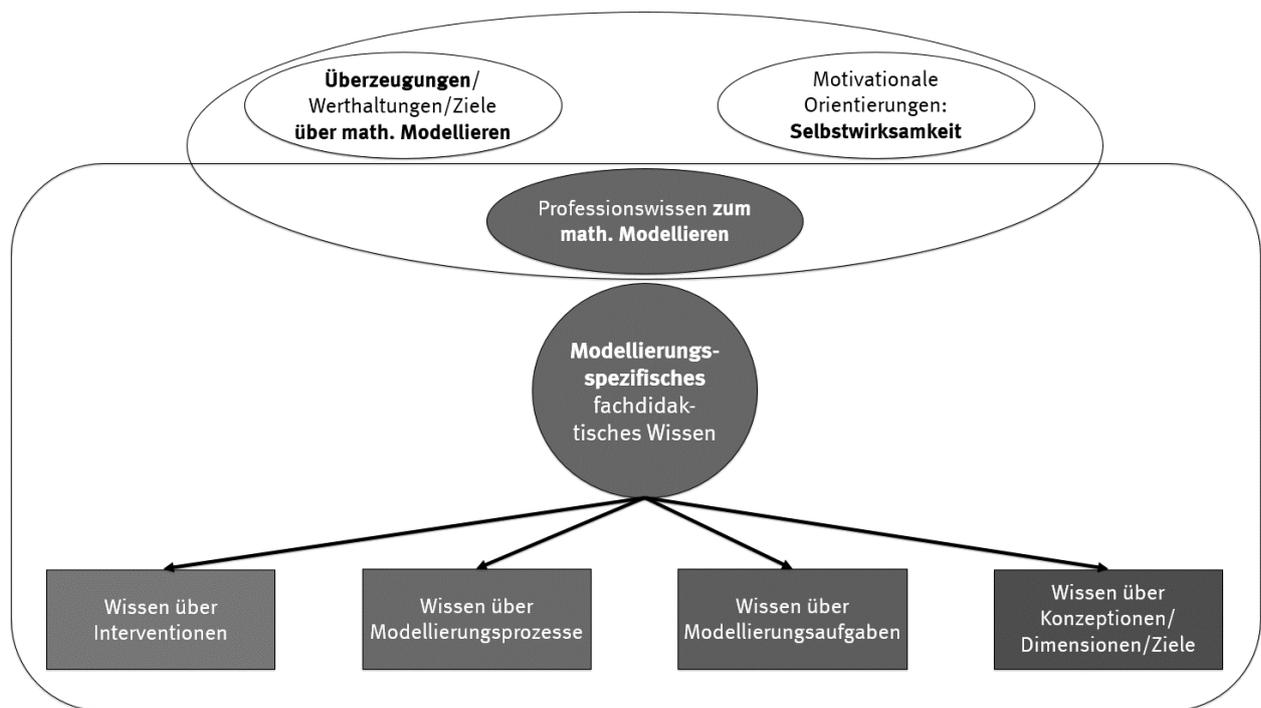


Abb. 3: Professionelle Kompetenz zum Lehren mathematischen Modellierens (Klock et al., 2019).

erbildung erforderlich. Zur Messung dieser Kompetenzen werden Modelle benötigt, die die Anforderungen an Lehrkräfte genau beschreiben. Für die mathematikdidaktische Forschung sind daher nicht nur die Kompetenzmodelle von großem Interesse, die alle Aufgabenbereiche der Lehrkräfte abdecken und bspw. fachdidaktisches Wissen global beschreiben, sondern auch auf bestimmte zu vermittelnde Bereiche fokussierte Modelle professioneller Kompetenz.

Die Frage, wie solche Kompetenzmodelle im Bereich mathematischen Modellierens aussehen müssen, stellt bereits Blum (2011). Ein Kooperationsprojekt der Universitäten Koblenz-Landau (Klock & Siller, 2016) und Münster hat es sich zum Ziel gesetzt eine erste strukturelle Antwort im Bereich *professioneller Kompetenz zum Lehren mathematischen Modellierens* zu geben und auf dieser Basis ein Instrument zu entwickeln, welches ausgewählte zentrale Aspekte dieser Kompetenz messbar macht (Klock, Wess, Greefrath & Siller, 2019). Ausgangspunkt der Überlegungen ist die Synthese zweier etablierter Modelle, die sich an den Kompetenzbegriff von Weinert (2001) anlehnen.

Insgesamt orientiert sich diese Konzeptualisierung in erster Linie am COACTIV-Modell zur professionellen Kompetenz von Lehrkräften (Baumert & Kunter, 2011a). In diesem setzt sich die professionelle Kompetenz aus den übergeordneten Aspekten *Überzeugungen*, *Motivationale Orientierungen*, *Selbstregulation* und *Professionswissen* zusammen. Das Professionswissen unterteilt sich wiederum in die Kompetenzbereiche *Fachwissen*, *fachdidaktisches Wissen*,

*pädagogisch-psychologisches Wissen*, *Organisationswissen* und *Beratungswissen*. Mit Fokus auf das Lehren mathematischen Modellierens erscheint dabei der Bereich des fachdidaktischen Wissens besonders bedeutsam, wobei davon ausgegangen wird, dass das fachdidaktische Wissen den zentralen Faktor zur Bestimmung des kognitiven Aktivierungspotentials von Unterricht darstellt (Baumert & Kunter, 2011a) und sich durch modellierungsspezifische Inhalte in den Facetten *Erklärungswissen*, *Wissen über das mathematische Denken von Schüler/inne/n* und *Wissen über mathematische Aufgaben* auszeichnet.

In einem für das mathematische Modellieren entwickelten Modell nach Borromeo Ferri und Blum (2010) werden vier theoretisch abgeleitete Dimensionen für die Vermittlung von Modellierungskompetenz beschrieben. Konkretisiert werden diese Dimensionen sowohl über Wissens- als auch Fähigkeitsaspekte (vgl. Tab. 3).

Durch die Synthese der Dimensionen des Modells von Borromeo Ferri und Blum (2010; vgl. Tab. 3) mit den für das mathematische Modellieren konkretisierten Kompetenzfacetten fachdidaktischen Wissens des COACTIV-Modells ergeben sich die Facetten des modellierungsspezifischen fachdidaktischen Wissens, die unter Berücksichtigung der Aspekte *Überzeugungen*, *Selbstwirksamkeitserwartungen* und *Professionswissen* zur Konzeptualisierung *professioneller Kompetenz zum Lehren mathematischen Modellierens* verwendet werden. (vgl. Abb. 3).

Dimension	Konkretisierung
Theoretische Dimension	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Wissen über Modellierungskreisläufe</li> <li>b) Wissen über Ziele/Perspektiven mathematischen Modellierens</li> <li>c) Wissen über Modellierungsaufgaben</li> </ul>
Aufgabenbezogene Dimension	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Fähigkeit und Wissen Modellierungsaufgaben zu lösen</li> <li>b) Fähigkeit und Wissen Modellierungsaufgaben zu analysieren</li> <li>c) Fähigkeit und Wissen Modellierungsaufgaben zu entwickeln</li> </ul>
Unterrichtsbezogene Dimension	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Fähigkeit Modellierungsstunden zu planen</li> <li>b) Fähigkeit Modellierungsstunden durchzuführen</li> <li>c) Wissen über geeignete Interventionen während des Modellierungsprozesses</li> </ul>
Diagnostische Dimension	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Fähigkeit Phasen im Modellierungsprozessen zu identifizieren</li> <li>b) Fähigkeit Schwierigkeiten im Modellierungsprozess zu identifizieren</li> </ul>

Tab. 3: Dimensionen für die Vermittlung von Modellierungskompetenz (Borromeo Ferri & Blum, 2010).

### 3.3 Modellierungsspezifische Diagnose- und Aufgabenkompetenz

Die modellierungsspezifischen Diagnose- und Aufgabenkompetenzen ergeben sich auf theoretischer Ebene unmittelbar aus der diagnostischen und der aufgabenbezogenen Dimension in Tab. 3 und werden im Rahmen von Wissensfacetten zu Modellierungsprozessen und -aufgaben im Modell für die professionelle Kompetenz zum Lehren mathematischen Modellierens abgebildet. Nicht nur in den Facetten dieses Modells, sondern auch bei der – im Rahmen der Qualitätsentwicklung durchgeführten – Überprüfung professioneller Kompetenzen angehender Lehrkräfte stellen sich die für die Gestaltung des Mathematikunterrichts charakteristische Aufgabenkompetenz (Neubrand et al., 2011; Borromeo Ferri, 2018) sowie die für den Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler höchst relevante Diagnosekompetenz (Brunner et al., 2011) als bedeutsam heraus.

Die Aufgabenkompetenz einer (angehenden) Lehrkraft lässt sich dabei als

die Fähigkeit, Aufgaben zu gestalten, Aufgaben zur kognitiven Aktivierung von Schülerinnen und Schülern zu nutzen und zur Überprüfung von Lernleistungen einzusetzen sowie Aufgabenbearbeitungen von Schülerinnen und Schülern zu analysieren (Sjuts, 2010, S. 807)

verstehen. Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, bilden eben diese Fähigkeiten sowie Kenntnisse über das

vielfältige didaktische Potenzial von Aufgaben eine zentrale Dimension fachdidaktischen Wissens. Ebenso zentral gestalten sich die Aspekte der Aufgabenkompetenz beim Lehren mathematischen Modellierens (vgl. Tab. 2). So führen das *Wissen über multiple Lösungsmöglichkeiten*, die *kognitive Analyse* sowie die *Entwicklung* von Modellierungsaufgaben zu einer hohen Unterrichtsflexibilität (Borromeo Ferri, 2018).

Diagnosekompetenz lässt sich mit Blick auf die reflektierten Praxiserfahrungen im Lehr-Labor im Sinne einer pädagogischen Diagnostik verstehen. Diese

umfasst alle diagnostischen Tätigkeiten, durch die bei einzelnen Lernenden und den in einer Gruppe Lernenden Voraussetzungen und Bedingungen planmäßiger Lehr- und Lernprozesse analysiert und Lernergebnisse festgestellt werden, um individuelles Lernen zu optimieren (Ingenkamp & Lissmann, 2008, S. 13).

In der modellierungsspezifischen Ausrichtung zeigt sich die, für viele verschiedene Aspekte des Unterrichts essentielle Bedeutung von Diagnosen insbesondere im *Identifizieren von Phasen* des Modellierungsprozesses der Schülerinnen und Schüler sowie im *Erkennen von Schwierigkeiten* beim Modellieren (Borromeo Ferri, 2018).

### 3.4 Förderung von Modellierungskompetenz

Modellierungsaktivitäten sind kognitiv anspruchsvoll. Insbesondere haben Studien gezeigt, dass jeder Schritt im Modellierungsprozess von Schülerinnen und Schülern eine potentielle kognitive Hürde darstellt (Galbraith & Stillman, 2006; Stillman, 2011). Gleichzeitig werden Anwendungen und Modellierungen als zentral für den Erwerb mathematischer Kompetenzen angesehen, so dass große Anstrengungen unternommen werden müssen, um mathematisches Modellieren für Schülerinnen und Schüler zugänglich zu machen (Blum, 2015). Jedoch spielen Modellierungsprozesse und -aufgaben noch immer eine geringe Rolle im Mathematikunterricht (Borromeo Ferri et al., 2013). Auf welche Weise Modellierungen in den Unterricht implementiert werden können, ist demnach eine drängende Frage, zumal verschiedene Studien immer wieder betonen, dass Modellierungskompetenzen nur durch eigenständige Auseinandersetzung mit Modellierungsprozessen erworben werden können (Bracke & Geiger, 2011; Maaß, 2004).

In den letzten Jahren wurden einige Studien zur Förderung von Modellierungskompetenz durchgeführt. Unter anderem zeigte das DISUM-Projekt (Blum, 2011), dass ein („operativ strategischer“) Unterricht,

der die selbstständige Arbeit der Lernenden in Gruppen fokussiert, im Vergleich zu herkömmlichem („direktivem“) Unterricht, die Modellierungskompetenzen der Lernenden signifikant steigern konnte. In einer Zusatzstudie konnten Schukajlow und Blum (2011) zeigen, dass der Zuwachs durch Bildung kleinerer Lerngruppen noch verstärkt werden kann.

Im Rahmen des COACTIV-Projekts verstehen Neubrand et al. (2011) Aufgaben als „Schnittstelle der Schüler- und Lehrertätigkeiten im Mathematikunterricht“ (S. 116), die demnach einen Indikator für die Unterrichtsdimension *kognitive Aktivierung* darstellen. Eine kognitiv aktivierende Aufgabe regt dabei insbesondere Prozesse an, die „als Übersetzen und Strukturieren, Verarbeiten bzw. Interpretieren und Validieren bezeichnet werden können“ (Neubrand et al., 2011, S. 120). Eben jene Prozesse haben wir in vergleichbarer Form als Teilkompetenzen des Modellierens identifiziert (vgl. Tab. 1).

Blum (2007) schließt, dass Modellierungskompetenz langfristig und gestuft aufgebaut werden muss. Hierbei sollte sich die Aufgabenkomplexität langsam steigern und ein breites Spektrum von Aufgabentypen in Zusammenhang mit einer systematischen Variation der Kontexte abgedeckt sowie durch häufige Übungs- und Festigungsphasen angereichert werden. Dies deutet bereits die wichtige Stellung der aufgabenbezogenen sowie der diagnostischen Fähigkeiten der Lehrkräfte an.

Weiter zeigt sich, dass es einen fundamentalen Unterschied macht, ob Schülerinnen und Schüler alleine oder selbstständig mit Lehrerunterstützung arbeiten:

Überhaupt zeigen (...) Ergebnisse aus dem COACTIV-Projekt, wie entscheidend wichtig für die Lernfortschritte der Schüler die professionelle Kompetenz der Lehrkraft ist, insbesondere ihr fachdidaktisches Wissen. (Blum, 2007, S. 7)

In diesem Kontext zeigen Brunner et al. (2011) die hohe Relevanz diagnostischer Fähigkeiten der Lehrkräfte für den Lernprozess der Schülerinnen und Schüler auf. Die Diagnosekompetenz trägt demnach zur Realisierung wichtiger Dimensionen der Unterrichtsqualität bei: (1) Zur Einschätzung von Schwierigkeiten sowie Anforderungen und Auswahl kognitiv aktivierender Aufgaben, (2) zur angemessenen Beurteilung von Vorwissen und (3) Verständnisschwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler.

Im Punkt (1) lässt sich bereits die von Bruder (2003) dargestellte zentrale Verschränkung von diagnostischen Handlungen und Aufgaben erkennen. So bestätigen Baumert und Kunter (2011b) die Angaben von Brunner et al. (2011) und zeigen weiter, dass sich aufgabenbezogene und diagnostische Fähigkeiten von Lehrkräften als Aspekte fachdidaktischen Wissens

gemeinsam mit dem Erklärungswissen signifikant auf die Qualität des Unterrichts und somit den Lernfortschritt der Schülerinnen und Schüler auswirken.

### 3.5 Forschungsfrage

Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit den Kompetenzen zum Lehren mathematischen Modellierens von angehenden Lehrkräften. Mit Blick auf die theoretischen Überlegungen stellt sich demnach die übergeordnete Frage, inwieweit sich die Kompetenzen der angehenden Lehrkräfte im Kontext mathematischen Modellierens durch die Teilnahme am Lehr-Labor fördern lassen. Insbesondere interessiert die Entwicklung der aufgabenbezogenen und diagnostischen Fähigkeiten der Lehrkräfte, sodass wir die obige Fragestellung wie folgt konkretisieren wollen:

Inwieweit werden im mathematikdidaktischen Lehr-Labor MiRA<sup>+</sup> Aspekte der modellierungsspezifischen Diagnose- und Aufgabenkompetenz bei angehenden Lehrkräften gefördert?

## 4. Methodischer Ansatz

Im Rahmen dieser Studie wurden – dem Lehr-Lern-Labor-Konzept folgend – fachdidaktische Seminare zum mathematischen Modellieren mit Praxiseinbindung, jedoch unterschiedlicher Schwerpunktsetzung an den beteiligten Standorten konzipiert. Der Standort Münster fokussiert dabei die Entwicklung der Aufgabenkompetenz, während der Standort Koblenz-Landau die Entwicklung der Interventionskompetenz in den Blick nimmt. Die Förderung der Diagnosekompetenz betrachten beide Standorte gleichermaßen. Nachstehend werden die Stichprobe, das Design sowie das verwendete Testinstrument der vorliegenden Studie beschrieben.

### 4.1 Stichprobe und Design

Zur Beantwortung der genannten Fragestellungen wurden mit einem Paper-Pencil-Fragebogen im Prä-Post-Design, Daten von 96 Lehramtsstudierenden für das Lehramt an Gymnasien/Gesamtschulen an den Universitäten Koblenz-Landau (Klock & Siller, 2016) und Münster erhoben. Es wurde neben der Experimentalgruppe (EG) in Münster ( $N = 35$ ) und der Vergleichsgruppe (VG) in Koblenz ( $N = 43$ ) auch eine Baseline-Gruppe in Münster ( $N = 18$ ) erfasst, um den Testwiederholungseffekt zu kontrollieren. Die betrachteten Gruppen weisen dabei eine innerhalb des Standorts Münster vergleichbare und zwischen den Standorten Koblenz und Münster differente Zusammensetzung hinsichtlich ihres Geschlechts, ihres Alters, ihrer Abiturnote sowie ihres Fachsemesters auf (vgl. Tab. 4).

	Geschlecht		Alter		Abiturnote		Fachsemester	
	m/w	M	SD	M	M	M	m/w	M
<b>EG Münster</b>	15/20	23.29	1.98	1.81	0.41	7.89	2.67	
<b>VG Koblenz</b>	20/23	22.88	3.17	2.42	0.60	5.74	2.73	
<b>Baseline Münster</b>	6/12	23.06	1.59	1.88	0.38	7.94	1.39	

Tab. 4: Allgemeine Angaben zur erhobenen Stichprobe.

Skala	Itemanzahl	Item-Beispiel		
Modellierungs-spezifische Di-agnosekompe-tenz	6	<b>Modellierungsphase:</b> In welcher Phase des Lösungsprozesses befinden sich die Schülerinnen und Schüler hauptsächlich? A. Konstruieren/Verstehen B. Vereinfachen/Strukturieren C. Mathematisieren D. Interpretieren	<input type="checkbox"/>	
	6	<b>Diagnose:</b> Diagnostizieren Sie das Problem der Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung der Aufgabe in dieser Situation. Die Lernenden... A. ... haben Probleme mit dem Treffen von Annahmen. B. ... ziehen einen falschen Schluss aus Ihrem mathematischen Ergebnis. C. ... haben Probleme beim Verstehen des Kontextes. D. ... verwenden ein ungeeignetes mathematisches Modell.	<input type="checkbox"/>	
Modellierungs-spezifische Aufgaben-kompetenz	12	A. Modellierungsaufgaben können unterbestimmt sein. B. Modellierungsaufgaben können überbestimmt sein. C. Modellierungsaufgaben sind möglichst geschlossen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			wahr	falsch

Tab. 5: Beispiel-Testitems zur Erfassung der modellierungsspezifischen Diagnose- und Aufgabenkompetenz (Klock et al., 2019).

### 7.4 Tanken (10. Klasse)

Herr Stein wohnt in Trier, 20 km von der Grenze zu Luxemburg entfernt. Er fährt mit seinem VW Golf zum Tanken nach Luxemburg, wo sich direkt hinter der Grenze eine Tankstelle befindet. Dort kostet der Liter Benzin nur 1,05 €, im Gegensatz zu 1,20 € in Trier.



Lohnt sich die Fahrt für Herrn Stein?

SCHÜLER 1: [Hat **zuvor** die folgende Rechnung durchgeführt:

$$x \cdot 0,15 \frac{\text{€}}{\text{l}} = 2 \cdot 20 \text{ km} \cdot \frac{8\text{l}}{100 \text{ km}} \cdot 1,05 \frac{\text{€}}{\text{l}} \Rightarrow x \approx 22,4 \text{ l}]$$

SCHÜLER 2: Krass, muss man nur so wenig tanken, damit sich das lohnt? Das ist aber wenig. Hätte ich jetzt nicht gedacht. Mein Vater nimmt immer noch Kanister mit, wenn er tanken fährt.

SCHÜLERIN 3: Wieviel Sprit geht denn in ein Auto?

SCHÜLER 1: So 50 Liter vielleicht?

SCHÜLERIN 3: Ja, dann wäre das ja realistisch. Dann bräuchte er noch nicht mal 'nen Kanister mitnehmen.

Abb. 4: „Tanken-Aufgabe“ (Blum & Leiss, 2005) und zugehörige Textvignette zur Erfassung modellierungsspezifischer Diagnosekompetenz.

## 4.2 Test zu Aspekten professioneller Kompetenz

Zur Erfassung von Aspekten professioneller Kompetenz zum Lehren mathematischen Modellierens (vgl. Abb. 3) wurde, auf der Basis der in Kapitel 2.2 dargestellten Überlegungen, ein Instrument entwickelt und im Sommersemester 2017 anhand der Daten von 156 Lehramtsstudierenden für das Lehramt an Gymnasien/Gesamtschulen an den Universitäten Münster, Koblenz-Landau und Duisburg-Essen pilotiert (Klock et al., 2019). Die modellierungsspezifische Diagnosekompetenz wurde dabei mit Textvignetten erhoben, die jeweils ein Schülergespräch während der Bearbeitung vorgegebener Modellierungsaufgaben zeigen (vgl. Abb. 4).

Die Daten zur Aufgabenkompetenz wurden mittels dichotomer Combined-Single-Choice Items zur kognitiven Analyse, Bearbeitung und Entwicklung von Modellierungsaufgaben zusammengetragen. Anhand geschätzter Item-Schwierigkeits- und Personen-Fähigkeitsparameter wurden verschiedene Skalenskennwerte zur Beurteilung der Skalierbarkeit berechnet, welche alle auf ein reliables Instrument hindeuten (Klock et al., 2019). Darüber hinaus bestätigen mehrere Experten augenscheinlich die Relevanz der geprüften latenten Variablen für professionelle Kompetenzen zum Lehren mathematischen Modellierens. Beispielitems zu den genannten Skalen sind in Tab. 5 dargestellt (vgl. auch Klock & Wess, 2018).

## 5. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Entwicklungen der Kompetenzaspekte präsentiert. Dabei gibt es zum ersten Messzeitpunkt keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei betrachteten Gruppen bzgl. der Aspekte (vgl. Kapitel 2.3) modellierungsspezifischer Diagnose- und Aufgabenkompetenz.

### 5.1 Aspekte der Aufgabenkompetenz

Während sich die EG aus dem Lehr-Labor in Münster im Bereich der Entwicklung von Modellierungsaufgaben signifikant mit großem Effekt ( $t(34) = -5.983, p < .05, n = 35; d = 1.04; 1-\beta = .91$ ) verbesserte, ließen sich sowohl in der VG als auch in der Baseline-Gruppe des klassischen fachdidaktischen Seminars keine signifikanten Veränderungen feststellen (vgl. Abb. 5).

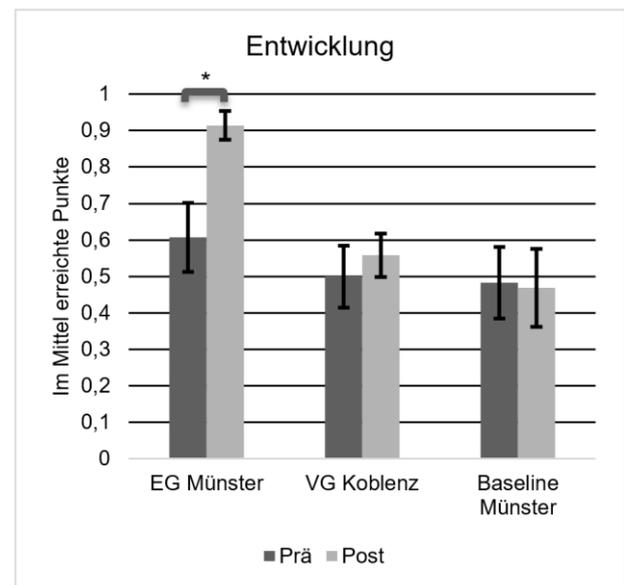


Abb. 5: Aspekt: Entwicklung von Modellierungsaufgaben.

Im Aspekt der kognitiven Analyse von Modellierungsaufgaben stiegen sowohl die Ergebnisse in Münster ( $t(34) = -6.942, p < .05, n = 35; d = 1.17; 1-\beta = .96$ ) als auch in Koblenz ( $t(42) = -3.362, p < .05, n = 43; d = .52; 1-\beta = .51$ ) signifikant mit großem bzw. kleinem Effekt. Die Baseline-Gruppe zeigte hingegen keine signifikanten Veränderungen (vgl. Abb. 6).

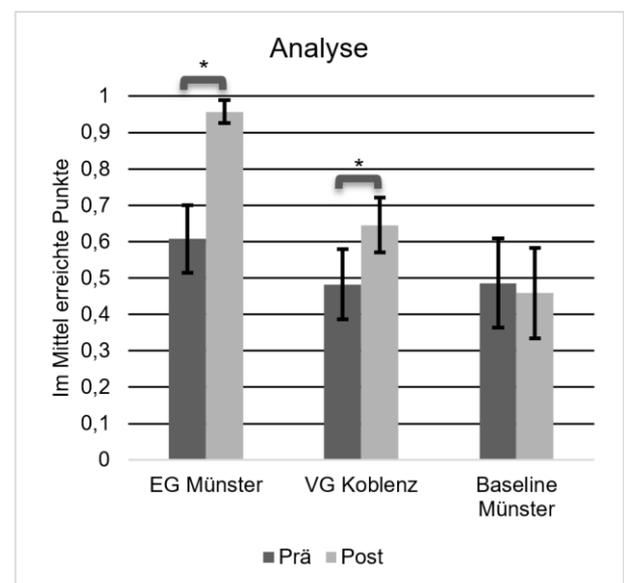


Abb. 6: Aspekt: Analyse von Modellierungsaufgaben.

Bzgl. des Aspekts der multiplen Lösungen von Modellierungsaufgaben zeigten sich bei der EG aus Münster signifikante Veränderungen mit großem Effekt ( $t(34) = -8.635, p < .05, n = 35; d = 1.49; 1-\beta = .99$ ), während bei VG und Baseline-Gruppe keine signifikanten Entwicklungen festzustellen waren (vgl. Abb. 7).

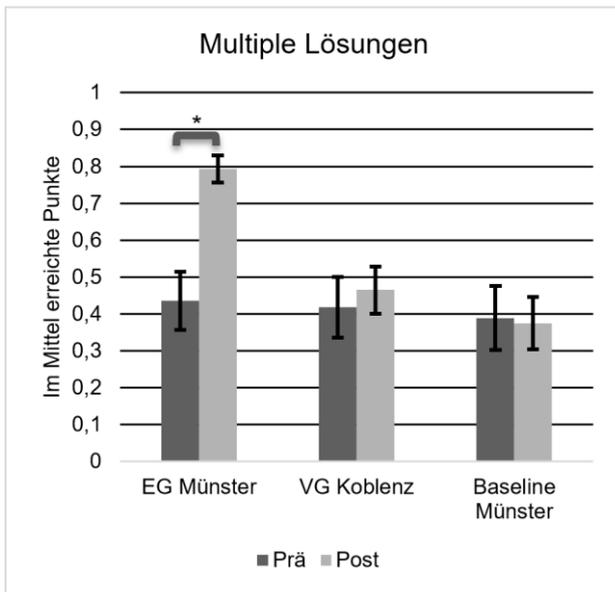


Abb. 7: Aspekt: Multiple Lösungen von Modellierungsaufgaben.

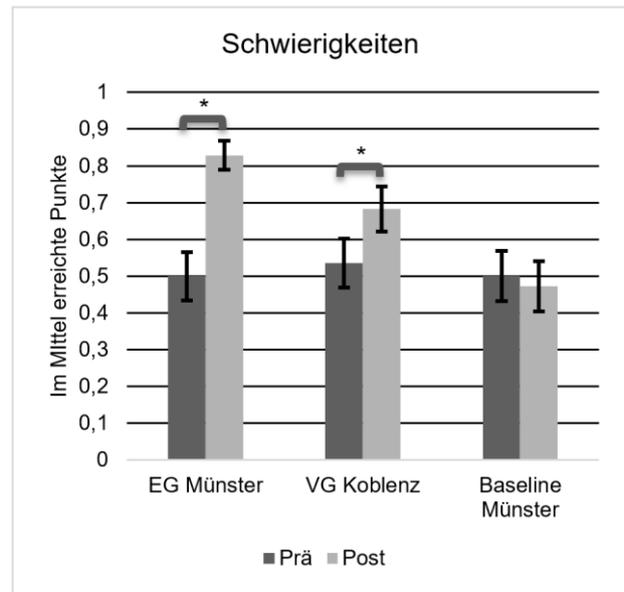


Abb. 9: Aspekt: Erkennen von Schwierigkeiten im Modellierungsprozess.

## 5.2 Aspekte der Diagnosekompetenz

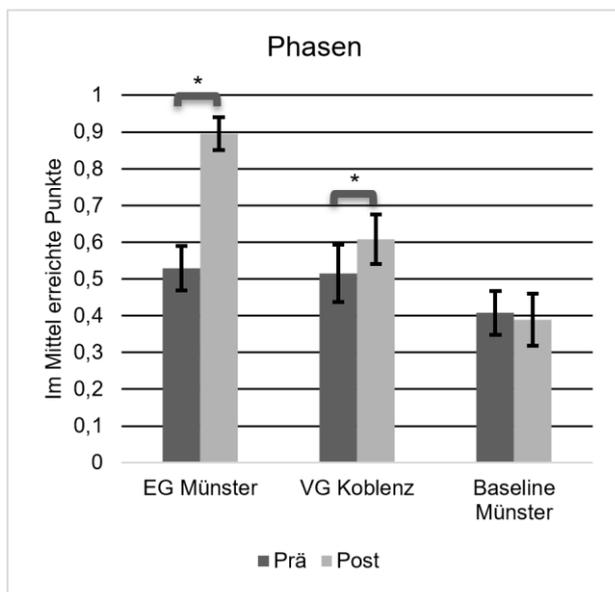


Abb. 8: Aspekt: Identifizieren von Phasen im Modellierungsprozess.

Sowohl die EG ( $t(34) = -9.670$ ,  $p < .05$ ,  $n = 35$ ;  $d = 1.64$ ;  $1 - \beta = .99$ ) als auch die VG ( $t(42) = -2.235$ ,  $p < .05$ ,  $n = 43$ ;  $d = .34$ ;  $1 - \beta = .35$ ) zeigten signifikante Zuwächse mit starkem bzw. mittlerem Effekt im Bereich der Identifikation von Phasen im Modellierungsprozess der Schülerinnen und Schüler. Die Baseline-Gruppe des klassischen fachdidaktischen Seminars wies hingegen keine signifikanten Veränderungen auf (vgl. Abb. 8).

Im Aspekt des Erkennens von Schwierigkeiten im Modellierungsprozess der Schülerinnen und Schüler stiegen sowohl die Ergebnisse in Münster ( $t(34) = -9.718$ ,  $p < .05$ ,  $n = 35$ ;  $d = 1.68$ ;  $1 - \beta = .99$ ) als auch in Koblenz ( $t(42) = -3.865$ ,  $p < .05$ ,  $n = 43$ ;  $d = .59$ ;  $1 - \beta = .44$ ) signifikant mit großem bzw. mittlerem Effekt. Die Baseline-Gruppe zeigte hingegen keine signifikanten Veränderungen (vgl. Abb. 9).

## 6. Diskussion

Auf der Basis eines verbreiteten Kompetenzbegriffs und eines etablierten Strukturmodells professioneller Kompetenz konnte ein auf das Lehren mathematischen Modellierens fokussiertes Erhebungsinstrument gewinnbringend bei angehenden Lehrkräften im Lehr-Labor MiRA<sup>+</sup> eingesetzt werden. Hierbei wurden kontextspezifische kognitive Leistungsdispositionen erhoben, welche sich auf spezifische Anforderungen im Bereich des Lehrens mathematischen Modellierens beziehen. Neben den Combined-Single-Choice Items zur Erfassung deklarativer Wissensaspekte wurden durch die Multiple-Choice-Items im Kontext der verwendeten Textvignetten darüber hinaus auch prozedurale Wissensfacetten sowie situative Fähigkeiten gemessen. Diese umfassen die Auswahl einer geeigneten aus vorgegebenen Antwortalternativen und tragen somit in erster Linie dem gegenstandsspezifischen fachdidaktischen Hintergrundwissen als diagnostischer Kompetenzfacette Rechnung (Prediger, Wessel, Tschierschky, Seipp & Özdil, 2013), was in Teilen dem Vorgehen zur Erhebung der diagnostischen Kompetenz in anderen Lehrerbildungsstudien entspricht (Brunner et al., 2011; Heinrichs, 2015), während offene Items, bei denen eine Diagnose selbst formuliert werden musste, aus ökonomischen Gründen nicht im Test enthalten waren.

Die Ausdeutung modellierungsspezifischer Diagnosekompetenz in die Aspekte des Erkennens von Phasen und von Schwierigkeiten im Modellierungsprozess der Schülerinnen und Schüler legte dieses Vorgehen nahe. Darüber hinaus beurteilten mehrere Experten die augenscheinliche Validität der Items positiv, sodass die Relevanz der überprüften Inhalte für die professionelle Kompetenz zum Lehren mathematischen Modellierens konstituiert werden kann.

In Bezug auf die Forschungsfrage, inwieweit Aspekte der modellierungsspezifischen Diagnose- und Aufgabenkompetenz bei angehenden Lehrkräften im mathematikdidaktischen Lehr-Labor MiRA<sup>+</sup> gefördert werden können, lassen sich durch die Ergebnisse der t-Tests zwischen den Messzeitpunkten, bei welchen die Effekte des Innersubjektfaktors Zeit auf Signifikanz geprüft wurden, mehrere statistisch signifikante Unterschiede feststellen. Demnach zeigt sich, dass die Experimentalgruppe in den drei Aspekten Entwicklung, Analyse und Multiple Lösungen der modellierungsspezifischen Aufgabenkompetenz signifikante Zuwächse mit großem Effekt verzeichnen kann, während die Vergleichsgruppe aus Koblenz lediglich im Aspekt der Analyse von Modellierungsaufgaben signifikante Zuwächse mit mittlerem Effekt und die Baseline-Gruppe keine signifikanten Veränderungen aufweist. Hinsichtlich der Aspekte modellierungsspezifischer Diagnosekompetenz bietet sich ein leicht differentes Bild. So weisen sowohl die Experimentalgruppe als auch die Vergleichsgruppe in den Aspekten der Identifikation der Modellierungsphase sowie der Schwierigkeiten im Modellierungsprozess signifikante Zuwächse über die Zeit mit großem bzw. mittlerem Effekt auf, während die Baseline-Gruppe erneut keine signifikanten Veränderungen zu verzeichnen hat.

Diese beobachteten Zuwächse lassen sich in erster Linie auf die unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen an den beteiligten Standorten zurückführen. So weisen die Treatments der Experimental- und Vergleichsgruppe einerseits Gemeinsamkeiten aber andererseits auch Unterschiede auf: Während beide Seminare in der Vorbereitungsphase vergleichbare theoretische Grundlagen zum mathematischen Modellieren sowie zur pädagogischen Diagnostik behandeln, setzen sie dabei jedoch differente Schwerpunkte durch die Konzeption eigener Modellierungsaufgaben bzw. durch die intensive Auseinandersetzung mit sowie der Erprobung von adaptiven Interventionskonzepten beim mathematischen Modellieren. Darüber hinaus beinhalten beide Lehrveranstaltungen eine Praxisphase in Form von Modellierungsprojekten, bei welchen Schülerinnen und Schüler während der Bearbeitung von realitätsbezogenen Aufgaben betreut und beobachtet werden. Mit Blick auf die Reflexionsphase lässt sich feststellen, dass in

der Vergleichsgruppe die Praxisphase vordergründiger erscheint, während in der Experimentalgruppe ein stärkerer Fokus auf der Praxisreflexion liegt. Dennoch können insbesondere vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Baseline-Gruppe sowie durch die Beachtung des Vorwissens die Entwicklungen der teilnehmenden Studierenden der Lehrveranstaltungen hinsichtlich eines gemeinsamen Referenzrahmens interpretiert sowie zueinander in Beziehung gesetzt werden. Demnach spiegelt sich der Fokus der Entwicklung eigener Modellierungsaufgaben im münsterschen Lehr-Labor in den signifikanten, über alle Aspekte modellierungsspezifischer Aufgabenkompetenz hinwegreichenden Entwicklungen wider, während ebenso die an beiden Standorten gleichermaßen betrachtete Förderung der Diagnosekompetenz durch die Ergebnisse der Unterschiedsanalysen illustriert wird. Der Zuwachs im Bereich der Analyse von Modellierungsaufgaben am Standort Koblenz lässt sich darauf zurückführen, dass auch in diesem Lehr-Lern-Labor, im Zuge der sogenannten Modellierungstage, Aufgaben bearbeitet werden, welche die teilnehmenden Studierenden im Vorfeld intensiv analysieren (Klock & Siller, 2019, in diesem Heft).

Die Untersuchung modellierungsspezifischer Diagnose- und Aufgabenkompetenz, die – wie in Abschnitt 2.4 beschrieben – einen starken Einfluss auf den Kompetenzerwerb von Schülerinnen und Schülern im Bereich mathematischen Modellierens haben, liefert demnach ein klares Indiz dafür, dass die professionelle Kompetenz zum Lehren mathematischen Modellierens sowohl im Kontext des Lehr-Labors MiRA<sup>+</sup> als auch in der Vergleichsgruppe des Lehr-Lern-Labors in Koblenz erfolgreich gefördert werden konnte.

## 7. Fazit

Insgesamt stellen die starken und signifikanten Zuwächse in den Aspekten modellierungsspezifischer Aufgabenkompetenz wie auch in den Aspekten modellierungsspezifischer Diagnosekompetenz die erfolgreiche Verzahnung und Umsetzung des, im Lehr-Labor erworbenen, didaktischen und fachlichen Wissens vor dem Hintergrund einer reflektierten Praxisbindung dar. Diese Effekte sind in der Experimentalgruppe aus Münster, welche einen besonderen Wert auf die Entwicklung eigener Aufgaben gelegt hat, deutlicher ausgeprägt, wenngleich es hierbei zum einen die Unterschiede zwischen den betrachteten Seminargruppen (vgl. auch Tab. 4) und zum anderen die differente Schwerpunktsetzung der betrachteten Lehrveranstaltungen zu berücksichtigen gilt.

Ungeachtet dessen liefert das im Lehr-Labor MiRA<sup>+</sup> gewählte Konzept, welches die Erstellung eigener

Modellierungsaufgaben auf der Basis der Betrachtung von Teilkompetenzen des Modellierens sowie ausgewählter Qualitätskriterien für Modellierungsaufgaben umfasst, insbesondere vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Vergleichs- und der Baseline-Gruppe erste Anhaltspunkte für eine vielversprechende Möglichkeit des Erwerbs bereichsspezifischer Aufgaben- und Diagnosekompetenz von angehenden Lehrkräften.

Es lässt sich darüber hinaus die für Folgestudien interessante Vermutung aufstellen, dass die fachliche und didaktische Durchdringung von Diagnoseaufgaben (hier: der selbsterstellten Modellierungsaufgaben) einen starken Prädiktor für die Diagnosekompetenz darstellt. Zusätzlich bieten die Ergebnisse der beteiligten Gruppen einen guten Ansatzpunkt für varianzanalytische Folgeuntersuchungen zu interventionsabhängigen Wirksamkeitshypothesen in Form von Interaktionseffekten zwischen der Teilnahme an universitären Lehr-Lern-Laboren und der Entwicklung über die Zeit. Dabei ist anzumerken, dass aufgrund der geringen fachdidaktischen Anteile im betrachteten Studiengang und der damit verbundenen, durch die schlechte Erreichbarkeit der Seminarteilnehmenden verursachten, hohen Ausfallraten auf eine Follow-Up-Testung verzichtet werden musste.

Somit liefern Lehr-Labore im Kontext der vorliegenden Studie eine gewinnbringende Lernumgebung für die Professionalisierungsprozesse angehender Lehrkräfte, um insbesondere für die fachdidaktische Lehrerbildung relevante bereichsspezifische Kompetenzen zu erwerben. Auch wenn das Testinstrument durch die Reduktion auf Texte nicht alle Facetten dieser Kompetenzen abbilden kann, ist durch die verschiedenen Itemformate ein großes Spektrum der Möglichkeiten abgedeckt. Jedoch stellt die Probandenzahl der Experimentalgruppe ( $N = 35$ ), trotz der großen Effektstärken und der signifikanten Zuwächse im Bereich professioneller Kompetenzen zum Lehren mathematischen Modellierens, im Allgemeinen keine solide Grundlage für weiterführende Aussagen dar. Die Untersuchung der Teststärke gibt an dieser Stelle dennoch Grund zur Annahme aussagekräftiger Ergebnisse sowie Hinweise darauf, dass eine Kumulation verschiedener Seminardurchgänge – bei genauer Kontrolle des Treatments – die Aussagekraft erhöhen kann. Auch die Kontrolle des Kompetenzerwerbs der Schülerinnen und Schüler im Lehr-Lern-Labor wäre wünschenswert; hierauf wurde aber auf Grund der kurzen Interventionen im Rahmen dieser Studie verzichtet. Diese sicherlich lohnenswerte Betrachtung der Kompetenzzuwächse von Schülerinnen und Schülern im Bereich des mathematischen Modellierens wird in einer anderen Publikation in den Fokus genommen werden, wohin-

gegen mit der vorliegenden Studie ein Beitrag zur Erforschung der Möglichkeiten eines Lehr-Labors in der Lehrerbildung geleistet wird, welcher den Kompetenzerwerb der teilnehmenden Studierenden in den Blick nimmt.

## Danksagung

Wir danken Heiner Klock und Hans-Stefan Siller für die gute Zusammenarbeit bei der Durchführung der Studie sowie den Gutachterinnen und Gutachtern für die vielen hilfreichen Hinweise. Das an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster entstandene Lehr-Labor MiRA<sup>+</sup> wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

## Literatur

- Baumert, J., & Kunter, M. (2011a). Das Kompetenzmodell von COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften – Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29-54). Münster: Waxmann.
- Baumert, J., & Kunter, M. (2011b). Das mathematikspezifische Wissen von Lehrkräften, kognitive Aktivierung im Unterricht und Lernfortschritte von Schülerinnen und Schülern. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften – Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 163-192). Münster: Waxmann.
- Blomhøj, M. (2011). Modelling competency: Teaching, learning and assessing competencies – overview. In G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo Ferri & G. Stillman (Hrsg.), *Trends in teaching and learning of mathematical modelling* (S. 343-349). Dordrecht: Springer.
- Blum, W. (2007). Mathematisches Modellieren – zu schwer für Schüler und Lehrer? In H.-W. Henn & K. Maaß (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2007* (S. 3-12). Berlin: Franzbecker.
- Blum, W. (2010). Modellierungsaufgaben im Mathematikunterricht. Herausforderung für Schüler und Lehrer. *Praxis der Mathematik*, 34(52), 42–48.
- Blum, W. (2011). Can Modelling Be Taught and Learnt? Some Answers from Empirical Research. In G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo Ferri & G. Stillman (Hrsg.), *Trends in Teaching and Learning of Mathematical Modelling, ICTMA 14* (S. 15-30). Dordrecht: Springer.
- Blum, W. (2015). Quality Teaching of Mathematical Modelling: What Do We Know, What Can We Do? In S. J. Cho (Hrsg.), *The Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education* (S. 73-96). Cham: Springer International Publishing.
- Blum, W. & Leiss, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der „Tanken-Aufgabe“. *mathematik lehren*, 128, 18–21.
- Borromeo Ferri, R. (2011). *Wege zur Innenwelt des mathematischen Modellierens*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

- Borromeo Ferri, R. (2018). *Learning how to teach mathematical modeling in school and teacher education*. New York, NY: Springer.
- Borromeo Ferri, R., & Blum, W. (2010). Mathematical modelling in teacher education - experiences from a modelling seminar. In V. Durand-Guerrier, S. Soury-Lavergne & F. Arzarello (Hrsg.), *European Research in Mathematics: Proceedings of the Sixth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (S. 2046-2055). Lyon, France.
- Borromeo Ferri, R., Greefrath, G. & Kaiser, G. (2013). Einführung. In R. Borromeo Ferri, G. Greefrath & G. Kaiser (Hrsg.), *Mathematisches Modellieren für Schule und Hochschule; Theoretische und didaktische Hintergründe* (S. 1-7). Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Bracke, M. und Geiger, A. (2011). Real-world modelling in regular lessons: A long-term experiment. In Kaiser, G. und Blum, W. Borromeo Ferri R. und Stillman, G. (Hrsg.) *Trends in teaching and learning of mathematical modelling, ICTMA 14* (S. 529-549). Springer New York.
- Bruder, R. (1988). *Grundfragen mathematikdidaktischer Theoriebildung unter besonderer Berücksichtigung des Arbeitens mit Aufgaben*. Anlage III. - Diss. B. Potsdam.
- Bruder, R. (2000). Akzentuierte Aufgaben und heuristische Erfahrungen. Wege zu einem anspruchsvollen Mathematikunterricht für alle. In L. Flade & W. Herget (Hrsg.), *Mathematik lehren und lernen nach TIMSS: Anregungen für die Sekundarstufen* (S. 69-78). Berlin: Volk und Wissen.
- Bruder, R. (2003). Konstruieren – auswählen – begleiten. Über den Umgang mit Aufgaben. *Friedrich Jahresheft, 2003*, 12–15.
- Brunner, M., Anders, Y., Hachfeld, A. & Krauss, S. (2011). Diagnostische Fähigkeiten von Mathematiklehrkräften. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenzen von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 215-234). Münster: Waxmann.
- Dohrmann, R. & Nordmeier, V. (2015). Schülerlabore als Lehr-Lern-Labore (LLL): Ein Projekt zur forschungsorientierten Verknüpfung von Theorie und Praxis in der MINT-Lehrerbildung. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Fischer, C., Rott, D., Veber, M., Fischer-Ontrup, C. & Gralla, A. (2014). *Individuelle Förderung als schulische Herausforderung*. Berlin: Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Galbraith, P. & Stillman, G. (2006). A framework for identifying student blockages during transitions in the modelling process. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 38(2), 143–162.
- Greefrath, G., Kaiser, G., Blum, W. & Borromeo Ferri, R. (2013). Mathematisches Modellieren - Eine Einführung in theoretische und didaktische Hintergründe. In R. Borromeo Ferri, G. Greefrath & G. Kaiser (Hrsg.), *Mathematisches Modellieren für Schule und Hochschule; Theoretische und didaktische Hintergründe* (S. 11-37). Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Greefrath, G., Siller, H.-S. & Ludwig, M. (2017). Modelling Problems in German Grammar School Leaving Examinations (Abitur) – Theory and Practice. In T. Dooley & G. Gueudet (Hrsg.), *European Research in Mathematics: Proceedings of the Tenth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (S. 932-939). Dublin, Ireland.
- Greefrath, G. & Vorhölter, K. (2016). *Teaching and Learning Mathematical Modeling. Approaches and Developments from German Speaking Countries*. Switzerland: Springer.
- Heinrichs, H. (2015). *Diagnostische Kompetenz von Mathematik-Lehramtsstudierenden: Messung und Förderung*. Wiesbaden: Springer.
- Ingenkamp, K. & Lissmann, U. (2008). *Lehrbuch der Pädagogischen Diagnostik*. Weinheim: Beltz.
- Kaiser, G. (2007). Modelling and modelling competencies in school. In C. P. Haines, P. Galbraith, W. Blum & S. Khan (Hrsg.), *Mathematical Modelling: Education, Engineering and Economics* (S. 110-119). Chichester: Horwood.
- Klieme, E. & Leutner, D. (2006). Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. Beschreibung eines neu eingerichteten Schwerpunktprogramms der DFG. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 876–903.
- Klock, H. & Siller, H.-S. (2016). MoSAiK. Teilprojekt I.1.2: Lehr-Lern-Labore für eine praxisnahe forschungsbezogene Lehrer/innen-Ausbildung. Verfügbar unter <http://mosaik.uni-koblenz-landau.de>
- Klock, H. & Siller, H.-S. (2020). Die Bedeutung der Diagnose für adaptive Interventionen beim mathematischen Modellieren – Intervenieren lernen im Lehr-Lern-Labor. *mathematica didactica*, 43(2020)1, 16 Seiten.
- Klock, H. & Wess, R. (2018). Lehrerkompetenzen zum mathematischen Modellieren - Test zur Erfassung von Aspekten professioneller Kompetenz zum Lehren mathematischen Modellierens. Münster: MIAMI. Verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:6-35169679459>.
- Klock, H., Wess, R., Greefrath, G., & Siller, H.-S. (2019). Aspekte professioneller Kompetenz zum Lehren mathematischer Modellierung bei (angehenden) Lehrkräften – Erfassung und Evaluation. In T. Leuders, E. Christophel, M. Hemmer, F. Korneck, & P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktische Forschungen zur Lehrerbildung* (S. 135-146). Münster: Waxmann.
- Korthagen, F. A. J. (2001). Linking Practice and Theory: The Pedagogy of Realistic Teacher Education. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, Seattle, April 2001. Verfügbar unter <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.92.1562&rep=rep1&type=pdf>
- Lengnink, K. & Roth, J., (2016). „Lehr-Lern-Labor Mathematik“ als Ort der Forschung. In Institut für Mathematik und Informatik der Pädagogischen Hochschule Heidelberg (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2016* (S. 1267-1268). Münster: WTM-Verlag.
- Maaß, K. (2004). *Mathematisches Modellieren im Unterricht: Ergebnisse einer empirischen Studie*. Hildesheim: Franzbecker.
- Maaß, K. (2005a). Modellieren – Aufgaben für alle?! *mathematik lehren*, 131(2005), 19–22.
- Maaß, K. (2005b). Modellieren im Mathematikunterricht der Sekundarstufe I. *Journal für Mathematikdidaktik*, 26, 114–142.
- Maaß, K. (2010). Classification Scheme for Modelling Tasks. *Journal für Mathematikdidaktik*, 31(2), 285–311.
- Neubrand, M., Jordan, A., Krauss, S., Blum, W. & Löwen, K. (2011). Aufgaben im COACTIV-Projekt: Einblicke in das Potenzial für kognitive Aktivierung im Mathematik-

## R. Wess & G. Greefrath

- unterricht. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenzen von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 115-132). Münster: Waxmann.
- Niss, M. (1992). *Applications and Modelling in School Mathematics – Directions for Future Development*. Roskilde: IMFUFA Roskilde Universitetscenter.
- Niss, M. (2003). Mathematical Competencies and the Learning of Mathematics: The Danish KOM Project. In Gagatsis, A. & Papastavridis, S. (Hrsg.), *3rd Mediterranean Conference on Mathematical Education* (S. 115-124). Athens: The Hellenic Mathematical Society.
- Niss, M., Blum, W. & Galbraith, P. L. (2007). Introduction. In W. Blum, P.L. Galbraith, H.-W. Henn & M. Niss (Hrsg.), *Modelling and Applications in Mathematics Education* (S. 3-32). New York: Springer.
- Prediger, S., Wessel, L., Tschierschky, K., Seipp, B. & Öz-dil, E. (2013). Diagnose und Förderung schulpraktisch erproben - am Beispiel Mathematiklernen bei Deutsch als Zweitsprache. In S. Hußmann & C. Selzer (Hrsg.), *Diagnose und individuelle Förderung in der MINT-Lehrerbildung* (S. 171-192). Münster: Waxmann.
- Putnam, R. T. & Borko, H. (2000). What do new views of knowledge and thinking have to say about research on teacher learning? *Educational Researcher*, 29(1), 4–15.
- Radatz, H. & Schipper, W. (1983). *Handbuch für den Mathematikunterricht an Grundschulen*. Hannover: Schroedel.
- Schukajlow, S. & Blum, W. (2011). Zum Einfluss der Klassengröße auf Modellierungskompetenz, Selbst- und Unterrichtswahrnehmungen von Schülern in selbstständigkeitsorientierten Lehr-Lern-Formen. *Journal für Mathematikdidaktik*, 32(2), 133–151.
- Schupp, H. (1988). Anwendungsorientierter Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I zwischen Tradition und neuen Impulsen. *Der Mathematikunterricht*, 34(6), 5–16.
- Sjuts, J. (2010). Aufgabenkompetenz erwerben – ein modellhafter Berufsfeldbezug in der Lehrerbildung. In A. Lindmeier & S. Ufer (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2010* (S. 807-810). Münster: WTM-Verlag.
- Stillman, G. (2011). Applying Metacognitive Knowledge and Strategies in Applications and Modelling Tasks at Secondary School. In G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo Ferri & G. Stillman (Hrsg.), *Trends in Teaching and Learning of Mathematical Modelling, ICTMA 14* (S. 165-180). Dordrecht: Springer.
- Vos, P. (2015). Authenticity in extra-curricular mathematics activities: researching authenticity as a social construct. In G. A. Stillman, W. Blum & M. S. Biembengut (Hrsg.), *Mathematical Modelling in Education research and Practice* (S. 105-113). New York: Springer.
- Völker, M. & Trefzger, T. (2011). Ergebnisse einer explorativen empirischen Untersuchung zum Lehr-Lern-Labor im Lehramtsstudium. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Weinert, F. E. (2001). *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim: Beltz.
- Wess, R. & Krusekamp, S. (2017). MiRA+: Ein mathematikdidaktisches Lehr-Labor zum mathematischen Modellieren im Rahmen der Qualitätsoffensive Lehrerbildung in Münster. In U. Kortenkamp & A. Kuzle (Hrsg.),

*Beiträge zum Mathematikunterricht 2017* (S. 1281-1284). Münster: WTM-Verlag.

Winter, H. (2003). *Sachrechnen in der Grundschule*. Berlin: Cornelsen Scriptor.

## Anschrift der Verfasser

Raphael Wess  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Institut für Didaktik der Mathematik und der Informatik  
Apffelstaedtstraße 21  
48149 Münster  
[r.wess@wwu.de](mailto:r.wess@wwu.de)

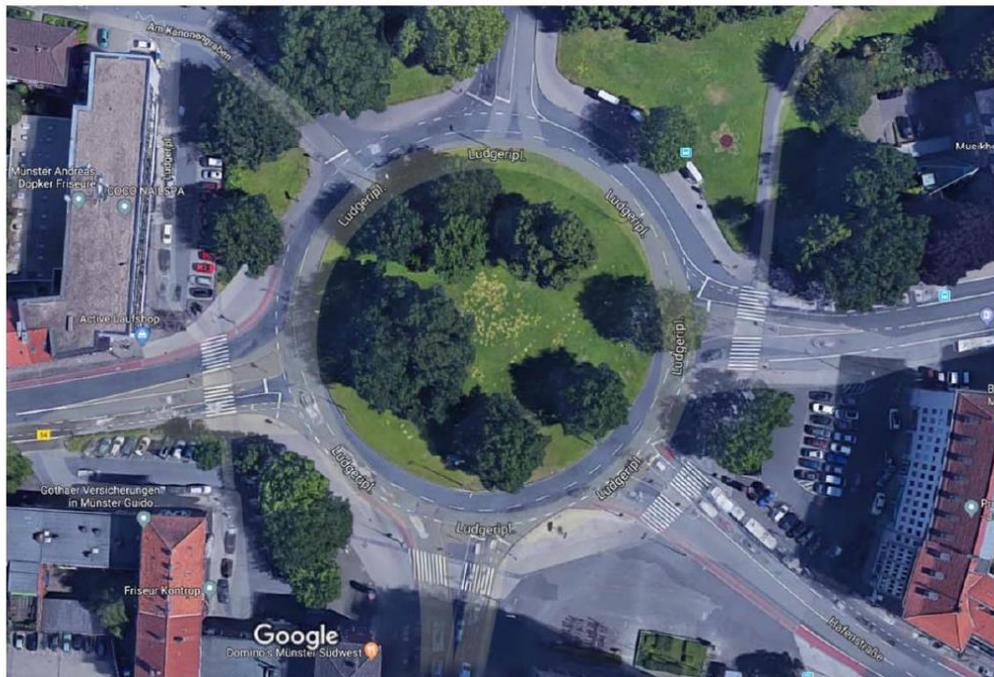
Gilbert Greefrath  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Institut für Didaktik der Mathematik und der Informatik  
Apfelstaedtstraße 21  
48149 Münster  
[greefrath@wwu.de](mailto:greefrath@wwu.de)

## Anhang

## Aufgabenbeispiel

MiRA<sup>+</sup>*Ludgerikreisverkehr***Klimakonferenz Bonn:****Fehlte der Ludgerikreis als Thematik auf dem Kongress?**

Auf der Klimakonferenz in Bonn wurde darüber diskutiert, dass sich in Deutschland viele Maßnahmen zum Schutz des Klimas ergeben müssen. Dazu gehört vor allem die Abschaffung von Kohlkraftwerken. Dies wirft die Frage auf, ob es ähnlich schädliche Quellen von CO<sub>2</sub> in Deutschland gibt. Speziell in Münster steht der Ludgerikreis als Hauptverkehrsknotenpunkt in der Kritik. Den Kreisverkehr am Ludgeriplatz passieren täglich etwa 38.000 Kraftfahrzeuge, 12.000 Fahrräder und viele Fußgänger. Zu Stoßzeiten kommt es nicht selten zu einem hohen, sich stauenden Verkehrsaufkommen, sodass es für die Fahrzeuge im Ludgerikreis zum Teil kein Weiterkommen mehr gibt.



Bilder © 2018 Google, Kartendaten © 2018 GeoBasis-DE/BKG (©2009), Google 10 m

Abbildung 1: Ludgerikreisverkehr.

**Aufgabe:**

Wie viel CO<sub>2</sub> wird zu Stoßzeiten bei stehendem Verkehr im Ludgerikreis produziert?

Müsste die Münsteraner Stadtverwaltung das Konzept des Ludgerikreisels im Hinblick auf die Bonner-Klimakonferenz überdenken?