

Die Bedeutung der Diagnose für adaptive Interventionen beim mathematischen Modellieren – Intervenieren lernen im Lehr-Lern-Labor

HEINER KLOCK, KOBLENZ; HANS-STEFAN SILLER, WÜRZBURG

Zusammenfassung: Die adaptive Unterstützung von Lernenden in mathematischen Modellierungsprozessen stellt eine herausfordernde Aufgabe dar. Lehramtsstudierende sollen im Lehr-Lern-Labor in einem Fachdidaktikseminar hinsichtlich ihrer adaptiven Interventionskompetenz in mathematischen Modellierungsprozessen gefördert werden. Verschiedene Autoren betonen die Voraussetzung einer genauen Diagnose für eine auf die Schwierigkeiten der Lernenden angepasste Intervention. Wir greifen diese Hypothese im Rahmen einer empirisch-quantitativen Überprüfung auf und untersuchen den Einfluss einer Diagnose auf die Adaptivität der Intervention vor und nach der Absolvierung eines Lehr-Lern-Labor-Seminars zum mathematischen Modellieren.

Abstract: To provide adaptive support for students, is a challenging task in mathematical modelling processes. Pre-service teachers' adaptive intervention competence in mathematical modelling processes is to be facilitated in the teaching-and-learning-laboratory-seminar in Koblenz. For an intervention adapted to the difficulties of the students, various authors emphasize the requirement of a precise diagnosis. In this study, this hypothesis is empirically studied with the help of a quantitative testing instrument. The influence of a correct diagnosis is investigated before and after attending the teaching-and-learning-laboratory-seminar.

1. Einleitung

Schülerlabore (Baum, Roth & Oechsler, 2013) sind ein integraler Bestandteil einer professionsbezogenen Lehrerbildung, insbesondere um Praxiselemente im Rahmen des Studiums nachhaltig zu verankern. Für diese Art des Schülerlabors hat sich der Begriff des Lehr-Lern-Labors etabliert (Brüning, 2017; Roth, 2013). Ziele von Lehr-Lern-Laboren können vor allem in Bezug auf drei an der Lehrerbildung beteiligte Gruppen konkretisiert werden (Lengnink & Roth, 2016):

- 1) Schülerinnen und Schülern ermöglichen Lehr-Lern-Labore das authentische Erleben von mathematischem Arbeiten, was zu einer Förderung des Interesses am Fach Mathematik führen kann.
- 2) Lehramtsstudierende können theorie- und forschungsbasierte Konzepte im Lehr-Lern-Labor erproben, sodass eine praxisnahe Ausbildung

und eine Vernetzung von Theorie und Praxis ermöglicht werden.

- 3) Für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bildet das Lehr-Lern-Labor eine Umgebung für empirische Erhebungen zur Implementierung fachdidaktischer und bildungswissenschaftlicher Forschungsziele. Dabei kann der Fokus der Untersuchung sowohl auf Schülerinnen und Schüler als auch auf Studierende gerichtet sein.

Lehr-Lern-Labore haben durch die Kooperation von Schule, Lehrerbildung und Wissenschaft das Potential, Synergieeffekte zu erzielen. Am Campus Koblenz der Universität Koblenz-Landau wurde im Rahmen des Projekts „Modulare Schulpraxiseinbindung als Ausgangspunkt zur individuellen Kompetenzentwicklung“ – MoSAiK (Kauertz & Siller, 2016) – ein Lehr-Lern-Labor eingerichtet (Siller & Klock, 2016), um der Idee der Verknüpfung der ersten Phase der Lehrerbildung mit der Schulpraxis Rechnung zu tragen.

In diesem Lehr-Lern-Labor werden komplexe mathematische Modellierungsaufgaben thematisiert, um sowohl Lernenden als auch angehenden Lehrenden mögliche Realitätsbezüge im Mathematikunterricht aufzuzeigen (Siller, 2015). Modellierungsaufgaben werden von Schülerinnen und Schülern in Gruppen von drei bis fünf Lernenden im Lehr-Lern-Labor bearbeitet. Die Betreuung erfolgt u. a. durch Lehramtsstudierende. Voraussetzung für die Betreuung ist der Besuch des fachdidaktischen Begleitseminars „Lehren und Lernen mathematischen Modellierens“, in dem die Studierenden auf die Arbeit im Lehr-Lern-Labor vorbereitet werden. Ziel ist es, die adaptive Interventionskompetenz der angehenden Lehrkräfte zu fördern und so ihre Professionalisierung voranzutreiben. Dazu werden neben der Vermittlung verschiedener theoretischer Interventionskonzepte Praxiselemente, wie Videoanalysen und die Erprobung mit Schülerinnen und Schülern, in das Seminar integriert. In Verbindung mit der hier vorgestellten Studie, in der die Lehramtsstudierenden im Fokus stehen, adressiert das Koblenzer Lehr-Lern-Labor-Konzept alle drei beteiligten Gruppen (Lengnink & Roth, 2016).

Interventionsstrategien sind für hohe Schülerleistungen bedeutsam (Helmke, 2004). Die Betreuung mathematischer Modellierungsprozesse stellt für Lehrkräfte eine Herausforderung dar (Blum & Borromeo Ferri, 2009). Modellierungsaufgaben mit einem

hohen Grad an Offenheit stellen aufgrund der Vielzahl an Lösungswegen und nicht vorhersehbarer Unterrichtssituationen hohe Anforderungen an Lehrkräfte. Häufig intervenieren Lehrpersonen in diesen Situationen zu direkt auf einer inhaltlichen Ebene, – teilweise unbewusst – beeinflussend in Richtung der favorisierten Lösung und geben nur selten strategische Hilfestellungen (Blum & Borromeo Ferri, 2009). Derartige Interventionen sind vor allem in kooperativen und selbstständigkeitsorientierten Modellierungsprozessen wenig geeignet. Eine genaue Diagnostik der Schwierigkeit im Lösungsprozess und eine darauf basierende Auswahl adaptiver Interventionen spielt eine entscheidende Rolle für eine adäquate Unterstützung der Lernenden (Leiss & Tropper, 2014).

Das Ziel der Begleitforschung ist die Evaluation des Lehr-Lern-Labor-Seminars hinsichtlich dessen Eignung, die adaptive Interventionskompetenz von Lehramtsstudierenden zu verbessern. Bisher wurde zudem kein empirischer Nachweis für den Zusammenhang zwischen einer adäquaten Diagnose und der Auswahl einer adaptiven Intervention erbracht. Mit Hilfe eines quantitativen, fallbasierten Testinstruments (Klock, Wess, Greefrath & Siller, 2019), das sowohl diagnostische als auch interventionsbezogene Aspekte erfasst, wurden Studierende der Lehramtsstudiengänge für Realschule plus, Gesamtschule, Gymnasium und Berufsbildende Schulen sowohl vor als auch nach dem Besuch des Lehr-Lern-Labor-Seminars getestet.

Es werden zunächst mathematische Modellierungsprozesse von Schülerinnen und Schülern beschrieben, deren Verständnis die Grundlage für das adaptive Intervenieren bildet. Im Anschluss wird ein Fokus auf die adaptive Interventionskompetenz von Lehramtsstudierenden sowie deren Förderung und Messung gelegt.

2. Mathematisches Modellieren

2.1 Modellierungsprozesse und Modellierungskompetenz

„Mathematisches Modellieren beschreibt den Prozess des Lösens von authentischen Problemen aus der Realität mithilfe von Mathematik.“ (Greefrath, Kaiser, Blum & Borromeo Ferri, 2013, S. 11). Für die Schulpraxis geht damit die Anwendung von Mathematik „in realen und sinnhaften Kontexten [anhand] real existierender Probleme, Fragestellungen oder Zusammenhänge“ (Siller, 2015, S. 2) einher. Der prozesshafte Charakter wird häufig in Form von Modellierungskreisläufen veranschaulicht, die die Übersetzungsprozesse zwischen Realität und Mathematik

beschreiben. Je nach Verwendungszweck eignen sich verschiedene Modellierungskreisläufe, beispielsweise als metakognitives Hilfsmittel oder Forschungsinstrument. Der in Abbildung 1 dargestellte Modellierungskreislauf nach Blum (2010) illustriert die kognitiven Prozesse beim Modellieren und eignet sich vor allem für Forschungszwecke (Borromeo Ferri, 2006).

Nachdem die Realsituation durch Lernende kognitiv erfasst und verstanden wurde – (1) in Abb. 1 –, werden die Informationen strukturiert und Annahmen getroffen (2), um das Situationsmodell zu vereinfachen. Durch das Mathematisieren relevanter Variablen und Beziehungen wird ein mathematisches Modell erstellt (3) und anhand mathematischer Werkzeuge eine Lösung erarbeitet (4). Die Ergebnisse werden im Kontext interpretiert (5) und anschließend hinsichtlich ihrer Aussagekraft validiert (6). Nach einem allfälligen mehrmaligen Durchlaufen des Kreislaufs wird das Ergebnis der Modellierung adressatengerecht kommuniziert (7).

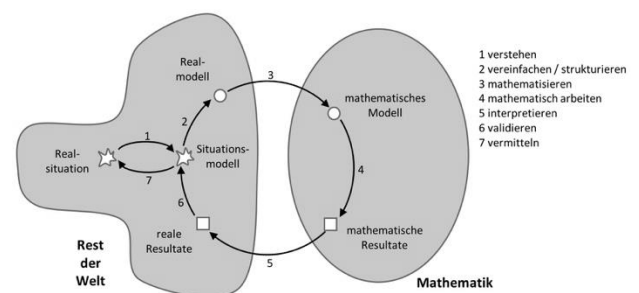


Abb. 1: Modellierungskreislauf nach Blum (2010)

Der dargestellte Modellierungskreislauf stellt eine idealtypische Abfolge des Lösungsprozesses dar. Borromeo Ferri (2011, S. 130 ff.) hat gezeigt, dass der Kreislauf in Abhängigkeit von der Art der Modellierungsaufgabe und des mathematischen Denkstils des Lernenden i. A. nicht linear durchlaufen wird. Der Lösungsprozess ist eher durch ein mehrmaliges Hin- und Herspringen zwischen der Realität und der Mathematik gekennzeichnet, da Zwischenergebnisse interpretiert werden und darauf basierend eine Anpassung des mathematischen Modells vorgenommen wird.

Das erfolgreiche Durchlaufen des Modellierungskreislaufs erfordert ein adäquates Durchführen der einzelnen Modellierungsphasen (1 bis 7 in Abb. 1). Dazu sind allerdings nicht nur die oben angedeuteten Tätigkeiten (z. B. relevante Variablen identifizieren, Annahmen treffen, ...) notwendig. In Anlehnung an den erweiterten Kompetenzbegriff nach Weinert (2001) definiert Maaß Modellierungskompetenz wie folgt:

Modellierungskompetenzen umfassen die Fähigkeiten und Fertigkeiten, Modellierungsprozesse zielgerichtet und angemessen durchführen zu können sowie die Bereitschaft, diese Fähigkeiten und Fertigkeiten in Handlungen umzusetzen. (Maaß, 2004, S. 35)

In dieser Definition werden über die Bereitschaft, die Kompetenz in einer Handlung zu zeigen, motivationale und volitionale Aspekte miteinbezogen. Darüber hinaus sind für eine zielgerichtete Durchführung metakognitive Kompetenzen relevant. Die Metakognition, also das „Denken über das eigene Denken“ (Sjuts, 2003, S. 13), äußert sich im Steuern des Lösungsprozesses (Kaiser, 2007) bzw. in der Reflexion des Modellierungsprozesses als Ganzes (Blomhoj & Jensen, 2003). In kooperativen Lernprozessen spielen zudem soziale Kompetenzen, wie beispielsweise das Aushandeln in der Gruppe (Fischer, 2012) aber auch das Kommunizieren über und mithilfe von Mathematik (Kaiser, 2007), eine Rolle. Eine Förderung der Modellierungskompetenz ist sowohl anhand von Aufgaben nach einem holistischen Ansatz (Blomhoj & Jensen, 2003), die das komplette Durchlaufen des Modellierungskreislaufs erfordern, als auch mit Hilfe eines atomistischen Ansatzes, bei dem einzelne Modellierungsschritte angesprochen werden, möglich (Brand, 2014). Modellierungskompetenz stellt somit kein eindimensionales Konstrukt dar, sondern wird als ein Zusammenspiel unterschiedlicher Teilkompetenzen identifiziert, was zu zahlreichen Schwierigkeiten bei Lernenden führen kann (Galbraith & Stillman, 2006).

2.2 Schwierigkeiten im Modellierungsprozess

Jede Modellierungsphase (vgl. Abb. 1) kann eine potentielle Schwierigkeit für Lernende darstellen bzw. beinhalten (Blum, 2015). Studien von Galbraith und Stillman (2006) sowie von Maaß (2004) bestätigten dieses Faktum. Maaß (2004, S. 161) hält bei der Untersuchung von Lernenden der Sekundarstufe I fest,

dass gewisse Arten von Fehlern häufig gemeinsam auftraten. So wurde z. B. deutlich, dass Fehler beim Bilden des Realmodells häufig in Zusammenhang mit Fehlern beim Validieren auftraten. [...] Weiter konnte beobachtet werden, dass Probleme beim Mathematisieren, beim Lösen des mathematischen Modells und beim Interpretieren von komplexen Lösungen insbesondere bei Lernenden mit durchschnittlichen bis geringen Leistungen in Mathematik auftraten.

Viele Schülerinnen und Schüler haben jedoch bereits in den ersten Phasen Schwierigkeiten, z. B. bei der Konstruktion des Situationsmodells oder dem Treffen von Annahmen (Blum, 2015).

Genau wie Maaß klassifizieren Galbraith und Stillman (2006) beobachtete Schwierigkeiten in einem

Kategoriensystem und ordneten diese den Modellierungsphasen zu, in denen sie auftreten. Auch vom Modellierungsprozess unabhängige Schwierigkeiten sind identifizierbar. Dabei ist eine Kategorisierung in metakognitive (Verlust des Überblicks/der Zielorientierung), affektive (Frustration, fehlendes Selbstbewusstsein), soziale (Schwierigkeiten bei der Gruppenarbeit) und organisatorische Schwierigkeiten (fehlende Arbeitszeit) möglich (Klock & Siller, 2019; Maaß, 2004; Schaap, Vos & Goedhart, 2011).

2.3 Mathematisches Modellieren im Lehr-Lern-Labor

Zur praxisnahen Ausbildung angehender Lehrkräfte werden regelmäßig stattfindende Modellierungstage (Siller, 2010; Siller & Vogl, 2010) genutzt. Diese Modellierungstage bieten Lernenden die Möglichkeit, authentische und größtenteils interdisziplinäre Fragestellungen (mathematisch) genauer zu betrachten. Es werden Modellierungsaufgaben, der Idee eines holistischen Ansatzes folgend, mit einem hohen Grad an Offenheit bearbeitet. Beispiele für bereits veröffentlichte Modellierungsaufgaben und Problemstellungen, die in leicht abgeänderter Form im Lehr-Lern-Labor eingesetzt werden, sind:

- Evakuierung des Moskauer Lushniki-Stadions (vgl. Ruzika, Siller & Bracke, 2017).
Wie lange würde es dauern das Moskauer Lushniki-Stadion, welches beim WM-Finale voll besetzt ist, nach einer Bombendrohung zu evakuieren?
- Kalte Progression (vgl. Henn, 2017).
Wie groß ist die kalte Progression im Jahr 2018? Wie kann die kalte Progression komplett abgebaut werden?
- Blockabfertigung im Tauerntunnel (Siller, 2013).
Wie müssen die Ampeln geschaltet werden, so dass die Anzahl der Fahrzeuge, die den Tunnel passieren, maximal wird?

Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten in Gruppen von drei bis fünf Lernenden über zwei Tage à sechs Stunden diese o. ä. komplexe und offene Fragestellungen. Bei der Bearbeitung wird ein hohes Maß an Selbstständigkeit gefordert. Die Arbeitsteilung, Informationsbeschaffung sowie die Vorbereitung einer adressatengerechten Präsentation obliegt den Lernenden. Zur Recherche und zum mathematischen Arbeiten stehen ein Tablet pro Gruppe mit relevanter Software (z. B. Excel, GeoGebra, ...) zur Verfügung. Die Betreuung erfolgt nicht durch eine Lehrkraft der jeweiligen Schule, sondern am ersten Tag durch Studierende, die von wissenschaftlichen Mitarbeitern begleitet werden, und am zweiten Tag ausschließlich

durch die wissenschaftlichen Mitarbeiter. Für die Schülerinnen und Schüler entsteht so ein bewertungsfreies Arbeitsumfeld. Den Lernenden werden nur wenige Materialien zur Verfügung gestellt – neben der Aufgabenstellung allfällige Datenquellen, wie z. B. der Grundriss des Moskauer Lushniki-Stadions, um eine hohe Offenheit zu erreichen.

Auf Basis der beschriebenen Charakteristika entspricht der Modellierungstag, der Klassifikation von Baum, Roth und Oechsler (2013) folgend, einem Projektlabor. Durch die projektartige Konzeption werden mit den offenen Modellierungsaufgaben mehrere Ziele erreicht: Zum einen haben die Lernenden die Möglichkeit, sich intensiv mit einer Problemstellung auseinanderzusetzen und die damit verbundene Mathematik vollständig zu durchdringen. Zum anderen wird durch Merkmale wie (Martius, Delvenne & Schlüter, 2016, S. 222 ff.)

- das eigenständige, offene und schüleraktive Lernen,
- die starke Zurückhaltung der Betreuenden,
- das kooperative Lernen,
- die Problemorientierung,
- das Erfahren von subjektiv und individuell Neuem anhand authentischer und relevanter Themen und
- die Art der Erkenntnisgewinnung über Recherche, Befragung oder Exploration

ein forschender Lernprozess initiiert. Neben den Teilkompetenzen des Modellierens werden die Lernenden durch einen holistischen Ansatz auch in den Modellierungsprozess übergreifenden sozialen, motivationalen und metakognitiven Kompetenzen gefördert.

Aufgrund der mehrtägigen Arbeitszeit, der sehr offenen, wenig vorstrukturierten Modellierungsaufgaben und der nicht zwangsläufig gegebenen Handlungsorientierung, da interaktive Materialien, Experimente oder Simulationen nicht explizit vorgegeben werden, sprechen wir weniger von einem klassischen Schülerlabor. Durch die Anbindung der Lehrerbildung und die begleitende Forschung zur Lehrerverberufung handelt es sich bei dem beschriebenen Projektlabor jedoch – insbesondere – um ein Lehr-Lern-Labor.

3. Adaptive Interventionskompetenz

Im Lehr-Lern-Labor-Seminar trainieren Lehramtsstudierende ihre adaptive Interventionskompetenz. In einer wenig vorstrukturierten und selbstständigkeitsorientierten Gruppenarbeit stellen adaptive

Lehrerinterventionen angemessene Hilfestellungen für die Lernenden dar, da sie den Anspruch haben, ein Gleichgewicht zwischen direkter Instruktion und selbstständigem Arbeiten herzustellen (Leiss, 2010). Verschiedene Interventionskonzepte charakterisieren potentiell geeignete Unterstützungsmaßnahmen in selbstständigkeitsorientierten Arbeitsprozessen.

3.1 Allgemeine Interventionskonzepte

Aebli (1983) beschreibt im Kontext eines problemlösenden fragend-entwickelnden Unterrichts das Prinzip der minimalen Hilfe:

Bei alledem gilt das Grundprinzip, daß der Lehrer dem selbstständigen Nachdenken der Schüler solange seinen Lauf läßt, als sie auf dem Wege der Lösung des Problems weiterkommen. Aber auch wenn sie Hilfe brauchen, interveniert er nicht sofort auf massive Weise. (Aebli, 1983, S. 300)

Obwohl dieser Unterrichtsstil nicht explizit auf die Unterstützung selbstständiger Arbeitsprozesse bezogen ist, ist das Prinzip in seiner Grundidee für die weiteren Überlegungen relevant. Zur Gewährleistung einer minimalen Hilfe empfiehlt bereits Aebli eine Stufung der Hilfestellungen.

Zech entwickelte eine „Taxonomie möglicher Lernhilfen beim Problemlösen“ (Zech, 1996, S. 315). Er klassifizierte Hilfen hierarchisch in folgenden Stufen, wobei diese in der Stärke zunehmen:

- 1) Motivationshilfen
„Die Aufgabe ist nicht so schwer.“
- 2) Rückmeldehilfen
„Du bist auf dem richtigen Weg.“
- 3) Allgemein-strategische Hilfen
„Was ist gegeben, was ist gesucht?“
- 4) Inhaltsorientiert-strategische Hilfen
„Versuche die Aufgabe graphisch zu lösen.“
- 5) Inhaltliche Hilfen
„Man kann hier den Kathetensatz anwenden.“

Je nach Eindeutigkeit der Hinweise werden zudem direkte und indirekte Hilfen unterschieden. Eine eindeutige Zuordnung zu diesen Kategorien ist in der Praxis nicht immer möglich. Vielmehr soll die Taxonomie eine Orientierung bei der Auswahl einer geeigneten Hilfe sein (Zech, 1996). Zu jeder Kategorie werden konkrete Sprechphrasen angegeben, die durchaus kritisch zu beurteilen sind (Link, 2011). So kann die oben genannte Motivationshilfe je nach Situation auch einen demotivierenden Effekt haben.

Lazonder und Harmsen (2016) klassifizierten Studien nach der Spezifität der angewendeten Hilfestellungen und definieren die angeführten Kategorien

(1) – (6). Diese sind hierarchisch nach der Spezifität der Hilfe angeführt.

(1) Process constraints

Das Problem wird in handhabbare Teilaufgaben eingeteilt, um die Komplexität zu reduzieren. Es werden keine direkten Hinweise gegeben.

(2) Status overviews

Es wird thematisiert, was gearbeitet wurde und inwiefern dies zur Lösung der Aufgabe beiträgt.

(3) Prompts

Zeitlich passende Hinweise werden eingebracht, die den Lernenden daran erinnern, bestimmte Handlungen durchzuführen. Es wird vermittelt, was zu tun ist, jedoch nicht wie es zu tun ist.

(4) Heuristics

Es wird ein Hinweis gegeben, welche Handlung durchzuführen ist und es werden Möglichkeiten dargeboten, wie diese durchgeführt werden kann.

(5) Scaffolds

Bei anspruchsvollen Aktivitäten wird erklärt, was und wie es zu tun ist. Schwierige Teile der Aufgabe werden zur Entlastung des Lernenden vom Intervenierenden übernommen.

(6) Explanations

Die Hilfestellung besteht aus einer direkten inhaltlichen Instruktion.

Diese Klassifikation kann als eine Ausdifferenzierung der Kategorien 3–5 nach Zech verstanden werden. Die *Spezifität* ist mit dem Begriff der *Stärke einer Hilfe* (Zech, 1996, S. 315) vergleichbar. Beiden Konzepten ist gemein, dass sie Hilfen, die inhaltlicher und/oder direkter sind, als stärkere bzw. spezifischere Interventionen einordnen.

Leiss (2007) klassifiziert Interventionen u. a. basierend auf Zech (1996) in verschiedene Ebenen. Anhand zwei weiterer Aspekte, der Erkenntnisgrundlage und Eigenschaften einer Intervention, entwickelte er ein Prozessmodell einer allgemeinen Lehrerintervention. Zur Schaffung einer *Erkenntnisgrundlage* ist zunächst eine Diagnostik der Situation (Auslöser der Intervention, vorherige Interventionen, benötigtes Vorwissen, Kompetenzniveau der Lernenden, zur Verfügung stehende Zeit) und des Problems (Art, Ebene und Ursache des Problems, Verortung im Modellierungskreislauf) notwendig. Die anschließende Intervention lässt sich einer von vier *Ebenen* zuordnen, die keine Hierarchie aufweisen (Leiss, 2007, S. 79 ff.). Zu jeder Kategorie geben wir nachfolgend exemplarisch einen möglichen Sprechakt an.

- *Organisatorische Interventionen* beziehen sich auf die Organisation des Bearbeitungsprozesses. Beispiel: „Behaltet die Zeit im Auge!“

- *Affektive Interventionen* beeinflussen extrinsisch emotionale Aspekte durch positive oder negative Impulse. Beispiel: „Du schaffst das!“

- *Strategische Interventionen* bieten Hilfen zu speziellen metakognitiven (Lern-)Strategien. Beispiel: „Lies dir die Aufgabenstellung noch einmal genau durch!“

- *Inhaltliche Interventionen* sind auf konkrete Inhalte der Aufgabe, wie z. B. Begriffe, Regeln, Verfahren oder Kontextinformationen, bezogen. Beispiel: „Ein Auto verbraucht durchschnittlich 7 Liter/km.“

Link (2011) differenziert die Ebene der strategischen Interventionen noch weiter in ...

- *allgemein-strategische Interventionen*, die sich in allgemeiner Weise auf den weiteren Lösungsprozess beziehen, Beispiel: „Lies dir die Aufgabenstellung noch einmal genau durch!“

- *strategieorientiert-strategische Interventionen*, die auf den Lösungsweg abgestimmte Arbeitsstrategien vermitteln, Beispiel: „Fertige eine Skizze an!“

- *inhaltsorientiert-strategische Interventionen*, die prozessorientierte inhaltliche Hilfen zum Lösungsweg der Lernenden liefern. Beispiel: „Welches dir bekannte Verfahren könntest du hier anwenden?“

Die *Eigenschaften* von Interventionen werden anhand verschiedener Kategorien (z. B. Adressat, Länge oder Häufigkeit der Intervention) klassifiziert. Die Erkenntnisgrundlage, Ebene und Eigenschaften einer Intervention (Leiss, 2007, S. 78 ff.) beschreiben in der angegebenen Reihenfolge einen idealtypischen Interventionsprozess. Basierend darauf definiert Leiss (2007, S. 82) den Begriff der adaptiven Lehrerintervention.

Eine *adaptive Lehrerintervention* stellt auf der Grundlage von Wissen und/oder einer Diagnose der Lehrperson einen inhaltlich und methodisch angepassten minimalen Eingriff in den individuellen Lösungsprozess des Schülers dar, wodurch dieser befähigt wird, eine (potentielle) Barriere im Lernprozess zu überbrücken und selbstständig weiterzuarbeiten.

Aus dieser Definition leiten wir vier wesentliche Kriterien ab, die in unserer Arbeit als

Bewertungsmaßstab für adaptive Interventionen herangezogen werden. Eine adaptive Intervention ist

- *diagnosebasiert*. Eine (potentielle) Schwierigkeit wurde vor der Intervention diagnostiziert.
- *inhaltlich-methodisch angepasst*. Die Intervention adressiert den aktuellen Lösungsweg bzw. die Schwierigkeit der Lernenden.
- *minimal*. Die Intervention greift inhaltlich nur in einem geringen Umfang in den Lösungsprozess ein.
- *selbstständigkeitserhaltend*. Die Intervention ist möglichst wenig direktiv, d. h. sie weist keine große Stärke bzw. Spezifität auf.

Die vorgestellten Interventionskonzepte weisen bezüglich der Art als auch der Stärke bzw. Spezifität der Hilfestellungen eine gewisse Unschärfe auf. So treten Interventionen verschiedener Stärken häufig vermischt auf (Zech, 1996, S. 318) und allgemein-strategische und strategieorientiert-strategische Interventionen können bspw. nicht trennscharf unterschieden werden. Eine konkretere Beschreibung ist kaum möglich, da die Hilfestellung und deren Adaptivität von der spezifischen Situation abhängig sind. Daher wird die Operationalisierung der Kriterien adaptiver Interventionen in Kapitel 4.4 an einem konkreten Kontext dargestellt.

Eine Intervention soll die Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler fördern und eine minimale Hilfestellung anbieten. Dazu können, wie oben aufgeführt, Interventionen auf unterschiedlichen Ebenen (Leiss, 2007; Link, 2011) und unterschiedlicher Stärke bzw. Spezifität (Lazonder & Harmsen, 2016; Zech, 1996) geeignet sein. Ziel der Interventionen ist es, dass Schülerinnen und Schüler die sog. „*zone of proximal development*“ (Vygotsky, 1978) erreichen, also jenen Bereich zwischen den Leistungsniveaus eines Lernenden, der entweder auf sich allein gestellt arbeitet oder durch einen Betreuer unterstützt wird (Van de Veer & Valsiner, 1991, S. 329 ff.). Für eine adäquate Betreuung ist ein Repertoire verschiedener Hilfestellungen entscheidend. Welche Interventionen geeignet sind, wurde bisher nur in wenigen Studien untersucht.

3.2 Empirische Studien zu Interventionen

In einer Meta-Studie evaluierten Lazonder und Harmsen (2016) die Ergebnisse von 72 Studien zu Hilfestellungen beim forschenden Lernen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich. Sie klassifizieren die Studien anhand der dargestellten Kategorien (vgl. Kapitel 3.1) nach der Spezifität der angewendeten Hilfestellungen. Sie betrachteten u. a. die

Wirkung verschiedener Hilfestellungen auf die Konstrukte „Performance success“ und „Learning outcome“. *Performance success* – der Handlungserfolg – wurde anhand von Lernprodukten erhoben, die über die Ergebnisse des forschenden Lernprozess Auskunft geben. *Learning outcome* – der Lernerfolg – wurde mittels Posttests, Fragebögen oder Interviews bestimmt. Hilfestellungen jeglicher Art hatten im Vergleich zu einer nicht vorhandenen Betreuung einen signifikant positiven mittleren Effekt auf den Handlungs- und Lernerfolg. Erwartungsgemäß waren bei der Betrachtung des *Handlungserfolgs* (17 Studien) spezifischere Hilfen effektiver. Explanations ($d = 1.45$), Scaffolds ($d = 0.80$) und Heuristics ($d = 1.17$) hatten somit die größten Effekte. Für den *Lernerfolg* (60 Studien) konnte unabhängig vom Alter der Lernenden kein signifikanter Unterschied zwischen den Hilfestellungen festgestellt werden. Bis auf Heuristics ($d = 0.22$) hatten diese alle eine mittlere Bedeutsamkeit. Diese Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass insbesondere eine situative Passung sowie die Qualität der Hilfe und nicht allein die Art der Intervention entscheidend für den Lernerfolg ist.

Nur wenige qualitative Studien untersuchten die Wirkung verschiedener Interventionen. Zu offene inhaltliche Impulse werden von den Lernenden selten weiter verfolgt (Leiss, 2007). Stender (2016) vermutet, dass ein zu offener Impuls selbst wieder eine neue Schwierigkeit für die Lernenden darstellt. Kleinschrittige inhaltliche Impulse werden zwar häufig aufgegriffen (Leiss, 2007), sind jedoch nicht im Sinne der Erhaltung der Selbstständigkeit und regen erfahrungsgemäß ein erneutes Nachfragen der Lernenden an. In vielen Fällen stellt die Aufforderung an die Schülerinnen und Schüler, ihren eigenen Lösungsweg zu erläutern, eine geeignete Intervention dar. Der Lehrkraft ermöglicht dies eine genaue Diagnostik und bei Lernenden werden metakognitive Prozesse angeregt. Stender (2016, S. 206 ff.) stellt in seiner Studie fest, dass eine fehlende Diagnostik für das Scheitern von Interventionen verantwortlich sein kann. So konnte auch ein Interaktionseffekt zwischen der Urteilsgenauigkeit und dem Einsatz individueller Hilfen festgestellt werden (Helmke & Schrader, 1987). Daher kann ein Zusammenhang zwischen der Diagnose- und Interventionskompetenz von Lehrkräften vermutet werden.

Leiss (2007), Link (2011) und Stender (2016) messen strategischen Interventionen ein großes Potential bei. Interventionen, die sich auf Phasen des Modellierungskreislaufs beziehen, sind während des Vereinfachen und Strukturieren der Realsituation geeignet (Stender, 2016). Link (2011) stellte in einer Studie zu Problemlöseprozessen fest, dass Interventionen, die

den Regeln guter Gesprächsführung folgen, aus mehreren aufeinanderfolgenden strategischen Interventionen auf unterschiedlichen Ebenen (vgl. Kapitel 3.1) bestehen. Sie rekonstruiert verschiedene Interventionsmuster (z. B. vergangenen Lösungsweg oder zukünftiges Vorgehen erfragen). Anhand ihrer Studienergebnisse folgert sie, dass es

durch aufeinanderfolgende strategische Interventionen auf verschiedenen Ebenen möglich wird, den Gesprächsprozess immer wieder anzustoßen, ohne auf fragwürdige (de-)motivierende Interventionen wie „Du machst das gut!“ zurückzugreifen, aber auch ohne inhaltlich mit eigenen Lösungsideen einzugreifen. (Link, 2011, S. 210)

Strategische Interventionen können demnach in besonderer Weise dazu beitragen, Schwierigkeiten im Lösungsprozess zu überwinden (Link, 2011).

3.3 Ein Prozessmodell adaptiver Interventionen in mathematischen Modellierungsprozessen

Aufgrund des hohen Anspruchs an adaptive Interventionen und den Anforderungen in mathematischen Modellierungsprozessen, haben wir in Anlehnung an Leiss (2007) ein Prozessmodell auf der Mikroebene erarbeitet. Dieses Prozessmodell (vgl. Abb. 2) charakterisiert eine idealtypische Intervention und dient für Lehramtsstudierende als metakognitives Hilfsmittel im Interventionsprozess.

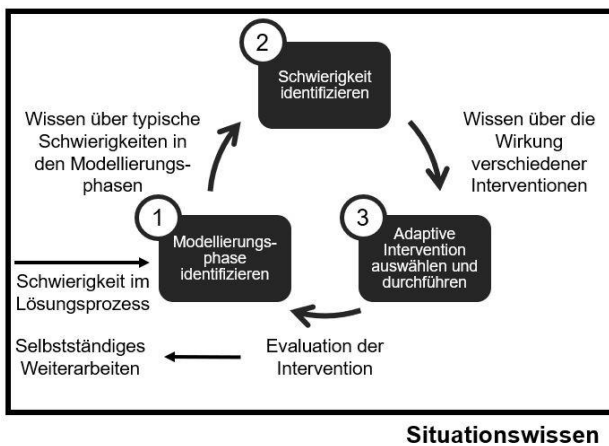


Abb. 2: Prozessmodell adaptiver Interventionen beim mathematischen Modellieren (in Anlehnung an Leiss, 2007)

Die Schritte (1) und (2) bilden den diagnostischen Teil des Prozessmodells. Wir bezeichnen die Befähigung diese Schritte adäquat durchzuführen als Diagnosekompetenz. Sinnvoll ist es, zunächst die entsprechende Phase im Modellierungskreislauf zu identifizieren (1 in Abb. 2), um eine potentielle Schwierigkeit zu diagnostizieren (Borromeo Ferri & Blum, 2010). Anhand von fachdidaktischem Wissen über typische Schwierigkeiten in den einzelnen

Modellierungsphasen (vgl. Kapitel 2.2) können erste Anhaltspunkte über die Ursache des Problems gewonnen werden. Die Schwierigkeit kann daher ggf. schneller identifiziert werden (2 in Abb. 2), da eine fokussierte(re) Diagnostik möglich ist.

Unter Diagnosekompetenz verstehen wir in unserer Arbeit ausschließlich prozessdiagnostische (Ingenkamp & Lissmann, 2008, S. 32 f.) Kompetenzen, bei der semiformelle Methoden zum Einsatz kommen. Es handelt sich dabei um subjektive Einschätzungen, wie die Beobachtung oder das Interview von Lernenden (Schrader, 2013), wobei im Gegensatz zur informellen Methode eine bewusste und explizite Urteilsbildung stattfindet (Hascher, 2011). Diese bildet im nachfolgenden Schritt die Grundlage für die Auswahl einer adaptiven Intervention.

Schritt 3 in Abbildung 3 beinhaltet die Planung und Durchführung der Intervention. Die Befähigung eine adaptive Intervention zu planen und durchzuführen bezeichnen wir als Interventionskompetenz. Anhand der Definition und der vier Kriterien einer adaptiven Intervention (vgl. Kapitel 3.1) bewertet der Interventionskompetente mögliche Handlungsoptionen aus seinem Interventionsrepertoire. Das Wissen über die Wirkung verschiedener Interventionen unterstützt diesen Prozess und wird von den Studierenden im Lehr-Lern-Labor-Seminar erworben (vgl. Kapitel 4.2). Studien von Leiss (2007), Link (2011) und Stender (2016) liefern Hinweise für wirksame Interventionen in verschiedenen Situationen (vgl. Kapitel 3.2). In den Schritten 1 bis 3, insbesondere in Schritt 3, beeinflusst das Situationswissen (Leiss, 2007) den Bewertungsprozess. Dieses wird von der Lehrkraft bereits vor Beginn des Interventionsprozesses erworben und ist für die Adaptivität entscheidend. Auch eine bewusste Nicht-Intervention der Lehrkraft kann geeignet sein, um nicht vorzeitig in den Lösungsprozess einzugreifen und den Lernenden die Möglichkeit zu geben, die Schwierigkeit selbst zu überwinden (Leiss, 2007).

Im Anschluss an die Durchführung evaluiert die Lehrkraft, ob das intendierte Verhalten eingetreten und die eventuelle Schwierigkeit überwunden ist sowie ein selbstständiges Weiterarbeiten stattfindet. Die Adaptivität einer Intervention wird abschließend erst im Nachhinein festgestellt. Daher muss der Begriff der Adaptivität differenziert werden. Die Adaptivität einer Intervention kann ...

- *a priori* anhand festgelegter Kriterien beurteilt werden. Eine im Vorfeld als adaptiv bewertete Intervention kann in einer konkreten Anforderungssituation demnach nur eine potentielle Adaptivität unterstellt werden. Diese Art der

Beurteilung findet im Rahmen von Schritt 3 (vgl. Abb. 2) statt.

- *a posteriori* beurteilt werden, indem zusätzlich zu festgelegten Kriterien evaluiert wird, ob die Schwierigkeit überwunden ist. Diese Art der Beurteilung findet nach Schritt 3 (vgl. Abb. 2) statt.

Dahingehend unterscheiden wir zwischen einer a-priori- und a-posteriori-Interventionskompetenz. In unserer Arbeit betrachten wir die a-priori-Bewertung von Interventionen anhand der vier Kriterien nach Leiss (2007; vgl. Kapitel 3.1). Auch wenn die durchgeführte Intervention a priori alle Merkmale einer adaptiven Intervention aufweist, muss diese a posteriori nicht erfolgreich sein. Allenfalls muss der Kreislauf erneut durchlaufen werden, bis die Interventionen die gewünschte Wirkung erzielt haben. Die Fähigkeit diesen Prozess erfolgreich durchzuführen, wird von uns als *adaptive Interventionskompetenz* bezeichnet. Der Kreislauf stellt ein idealtypisches Modell dar, der in der Praxis häufig nicht in dieser Form durchlaufen wird. Er unterstützt Lehramtsstudierende jedoch bei der Planung von Interventionen.

3.4 Forschungsfragen

In der Studie wird die Wirksamkeit zweier Seminare im Hinblick auf die Förderung der Diagnose- und a-priori-Interventionskompetenz bestimmt. Es wird untersucht, inwieweit sich der in der Literatur genannte Zusammenhang zwischen Diagnostik und Intervention empirisch nachweisen lässt. Unsere Hypothesen lauten:

(H1) Durch fachdidaktische Seminare mit Praxiselementen lassen sich die Diagnose- und a-priori-Interventionskompetenz von Lehramtsstudierenden fördern.

(H2) Es existiert ein signifikanter und bedeutsamer Zusammenhang zwischen der Diagnose- (Prädiktor) und a-priori-Interventionskompetenz (Kriterium).

4. Methode

4.1 Design der Studie

Die Hypothesen werden anhand einer quasi-experimentellen Interventionsstudie mit Vergleichsgruppen (vgl. Abb. 3) geprüft, die im Wintersemester 2017/2018 und Sommersemester 2018 durchgeführt wurde. In Kooperation mit einem Projekt an der Universität Münster (Greefrath & Wess, 2016) wurden in einem Pre-Post-Design fachdidaktische Seminare mit Praxiselementen und dem thematischen Schwerpunkt auf dem Lehren und Lernen mathematischen Modellierens durchgeführt.

Beide Seminare behandelten theoretische Grundlagen zum mathematischen Modellieren, zur Pädagogischen Diagnostik und den dargestellten Interventionskonzepten. Sie legen bei der Förderung der Studierenden jedoch unterschiedliche Schwerpunkte. Im Koblenzer Seminar wird die Förderung der adaptiven Interventionskompetenz fokussiert, die mithilfe von Videovignetten und an einem Praxistag trainiert wird. Im Seminar Münster findet eine Förderung der Diagnose- und Aufgabenkompetenz in einer Praxisphase und ohne Videos statt. Zur Abklärung von Testeffekten wurden in einer Baseline-Gruppe, die ein allgemein-fachdidaktisches Seminar ohne Bezug zum mathematischen Modellieren durchläuft, ebenfalls Daten erhoben.

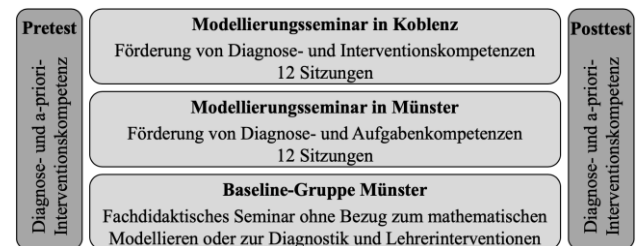


Abb. 3: Design der Interventionsstudie

4.2 Konzeption des Lehr-Lern-Labor Seminars

Die Struktur unseres Seminars lässt sich in drei Teile gliedern (vgl. Abb. 4). In der Vorbereitungsphase werden grundlegende Inhalte zum mathematischen Modellieren vermittelt und die Studierenden bearbeiten in Zweiertteams vorgegebene, aber wählbare komplexe Modellierungsaufgaben (vgl. Kapitel 2.4). Die Ergebnisse werden in vier Sitzungen im Plenum diskutiert und potentielle Lösungswege und Schwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler werden antizipiert. Im Anschluss erarbeiten die Studierenden anhand von Kurztexen und der Methode Gruppenpuzzle Grundlagenwissen zur Pädagogischen Diagnostik (Ingenkamp & Lissmann, 2008) und Charakteristika verschiedener Interventionskonzepte (Aebli, 1983; Leiss, 2007; Zech, 1996). Als zentrale Inhalte werden durch den Dozenten die Definition adaptiver Interventionen nach Leiss (2007), die daraus abgeleiteten Kriterien adaptiver Interventionen (vgl. Kapitel 3.1) und das o.a. Prozessmodell (vgl. Abb. 2) hervorgehoben, das in den folgenden Sitzungen anhand von Videobeispielen durchlaufen wird. In zwei Sitzungen werden jeweils zwei Fremdvideos und die zugehörigen Transkripte anhand des Prozessmodells analysiert. Die Videos zeigen Schülerinnen und Schüler beim Modellieren einer Rollbedingung für den aufwärtsrollenden Doppelkegel (s Gravesande, 1720). Mögliche Lösungen dieser Aufgabe werden im Vorfeld mit den Studierenden erörtert. Eine Sitzung wird zur Diagnostik von Modellierungsphasen und

Schwierigkeiten im Lösungsprozess verwendet, die durch einen theoretischen Input zum Verlauf von Modellierungsprozessen (Borromeo Ferri, 2011) ergänzt wird. Darauf basierend werden typische Schwierigkeiten in den Modellierungsphasen gemeinsam erarbeitet. In einer weiteren Sitzung werden Interventionen hinsichtlich ihrer Adaptivität a posteriori bewertet und a priori alternative Handlungsoptionen abgeleitet. Zuvor findet ein theoretischer Input zu mehrstufigen strategischen Interventionen (Link, 2011) statt, die anhand von Textvignetten illustriert werden. Die verwendeten Videovignetten wurden aus vorhandenem Videomaterial bereits durchgeführter Modellierungsaktivitäten erstellt. Sie zeigen hinsichtlich der Kriterien nach Leiss (2007) sowohl adaptive als auch weniger adaptive Interventionen.

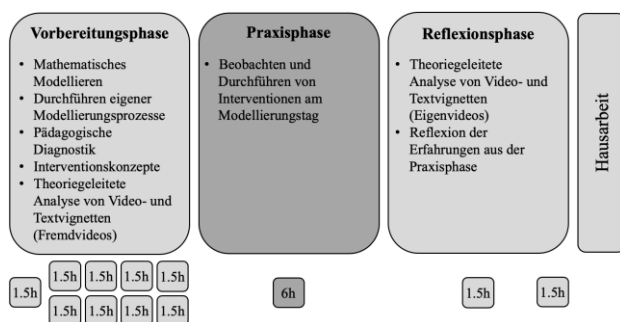


Abb. 4: Inhalte des Lehr-Lern-Labor-Seminars

Die Praxisphase (vgl. Abb. 4) besteht aus dem Modellierungstag. An diesem Tag betreuen die Studierenden in Zweiertteams je eine Gruppe von Lernenden von drei bis maximal fünf Schülerinnen und Schülern, die eine (komplexe) Modellierungsaufgabe (im Lehr-Lern-Labor) bearbeiten (vgl. Kapitel 2.4). Durch eine vorherige Bearbeitung und Diskussion der Aufgaben im Seminar wird sichergestellt, dass die Studierenden über ausreichendes Wissen zu möglichen Lösungswegen und potentiellen Schwierigkeiten der Aufgabe verfügen. Die Studierenden beobachten ihre Interventionen jeweils gegenseitig und reflektieren diese direkt im Anschluss. Dazu wird ein Reflexionsbogen eingesetzt, der zu jeder Intervention bei den Studierenden eine (Selbst-) Reflexion anhand folgender Fragestellungen anregen soll:

- Wie und was wurde diagnostiziert?
- Auf welcher Ebene wurde interveniert?
- Beschreiben Sie die Intervention. War die Intervention (a priori) adaptiv?
- Beobachten Sie die Schülerinnen und Schüler direkt im Anschluss an ihre Intervention. Zeigte die Intervention die gewünschte Wirkung?

Am Modellierungstag werden Studierende während ihrer Interventionen videographiert. Die Videos werden durch die Dozierenden der Veranstaltung gesichtet, um in der Reflexionsphase (vgl. Abb. 4) eingesetzt zu werden. Aufbereitete Eigenvideos und die zugehörigen Transkripte werden wiederum hinsichtlich der Adaptivität der Interventionen und möglicher Handlungsalternativen analysiert. Das Seminar schließt mit einer offenen mündlichen Reflexion der individuellen Entwicklung der Studierenden im Rahmen des Seminars. Anhand erlebter Anforderungssituationen, wie dem Intervenieren in unerwarteten Situationen (Bsp.: nicht antizipierter Lösungsweg), werden individuelle Stärken und Schwächen reflektiert.

In einer Hausarbeit stellen die Studierenden in einem fachlichen Teil die Modellierung zu ihrer Aufgabenstellung dar. In einem fachdidaktischen Teil fassen sie die antizipierten sowie tatsächlich beobachteten Lösungswege und Schwierigkeiten zusammen. Im Reflexionsteil analysieren sie anhand des am Modellierungstag eingesetzten Reflexionsbogens zwei ausgewählte Interventionen anhand der Kriterien adaptiver Interventionen (Leiss, 2007) und des Prozessmodells. Zusätzlich verschriftlichen sie die Reflexionsergebnisse der Abschlussitzung.

4.3 Stichprobe

Die Stichprobenbeschreibung ist in Tabelle 1 dargestellt. Im Wintersemester 2017/2018 und Sommersemester 2018 haben in den beiden Modellierungsseminaren in der Experimentalgruppe (EG) Koblenz (Siller & Klock, 2016) und der Vergleichsgruppe (VG) Münster (Greefrath & Wess, 2016) sowie in einem allgemein-fachdidaktischen Seminar in Münster, welches als Baseline-Gruppe (BG) dient, insgesamt N = 96 Studierende das Testinstrument absolviert. Der Pretest wurde eine Woche vor Vorlesungsbeginn durchgeführt. Die Studierenden absolvierten den Posttest 18 Wochen später nach der Teilnahme am Seminar. Der Anteil der Teilnehmerinnen in der Gesamtstichprobe ist mit ca. 56 % leicht größer als der Anteil der Teilnehmer. Die durchschnittliche Semesteranzahl und Abiturnote in der EG Koblenz unterscheiden sich jeweils signifikant von den Gruppen in Münster. In Münster wurden die Seminare von Studierenden für das Lehramt an Gymnasien (GYM) und Gesamtschulen (GES) besucht. In Koblenz belegten Lehramtsstudierende mit den Zielschularten Realschule plus (RS plus), Gymnasium (GYM) und Berufsbildende Schule (BBS) das Seminar.

	N	Geschlecht	Alter		Semester		Abiturnote		Lehramt
		m/w	M	SD	M	SD	M	SD	RS+/GYM- GES/BBS
Gesamtstichprobe	96	41/55	23.06	2.51	6.94	2.71	2.10	0.58	8/84/4
EG Koblenz	43	20/23	22.88	3.17	5.74	2.73	2.42	0.60	8/31/4
VG Münster	35	15/20	23.29	1.98	7.89	2.67	1.81	0.41	0/35/0
BS Münster	18	6/12	23.06	1.59	7.94	1.39	1.88	0.38	0/18/0

Tab. 1: Stichprobenbeschreibung

Die Teilnehmer mit der Zielschulart Gymnasium stellen den größten Anteil. Die beiden Seminare in Münster sind zu Beginn des Masterstudiums, das Seminar in Koblenz für zwei der drei Lehramtsstudiengänge (GYM, RS plus) am Ende des Bachelorstudiums im Curriculum verankert. Die Lehrämter für Berufsbildende Schulen (BBS) in Koblenz absolvieren das Seminar zu Beginn ihres Masterstudiums.

4.4 Testinstrument

Das Testinstrument (online verfügbar; vgl. Klock & Wess, 2018) besteht aus sechs Textvignetten, die jeweils eine Modellierungsaufgabe und ein typisches Schülergespräch während der Bearbeitung der Aufgabe zeigen. Es wird ein übergreifendes Szenario beschrieben, nach dem zuvor nicht in den Lösungsprozess eingegriffen wurde. In Tabelle 2 ist exemplarisch die Aufgabe Stau (Maaß & Gurlitt, 2010) dargestellt. Pro Textvignette müssen jeweils drei Diagnose- und vier a-priori-Interventionsitems gelöst werden, die dichotom (richtig, falsch) bewertet werden. Die Inhaltsvalidität der Skalen wird durch den unmittelbaren Bezug zum theoretischen Konstrukt der adaptiven Interventionskompetenz gewährleistet. Die Testkonstruktion orientiert sich am dargestellten Prozessmodell und dessen Einteilung in einen diagnostischen und interventionsbezogenen Teil.

Die Diagnosekompetenz (Schritte 1 und 2 in Abb. 2) wird durch die Skala „*Diagnose*“ (vgl. Tabelle 2; 18 Items) operationalisiert. Die Skala erfasst im Multiple-Choice-Format mit je vier Antwortmöglichkeiten die Fähigkeit zu einer gegebenen Aufgabenvignette, die Modellierungsphase zu identifizieren, die Schwierigkeit im Modellierungsprozess zu erkennen und ein explizites Förderziel auszuwählen. Sie operationalisiert das erste Kriterium adaptiver Interventionen nach Leiss (2007; vgl. Kapitel 3.1).

Die a-priori-Interventionskompetenz (Schritt 3 in Abb. 2) wird durch die Skala „*Intervention*“ (vgl. Tabelle 2; 24 Items) operationalisiert. Sie besteht aus je vier Items pro Aufgabenvignette, die a priori hinsichtlich der übrigen drei Kriterien adaptiver Interventionen (vgl. Kapitel 3.1) beurteilt und ausgewählt

werden müssen. Die „weiß nicht“-Option soll das Erraten von Antworten (Ratewahrscheinlichkeit 50 %) durch die Studierenden vermeiden. Im Pretest wurde diese Antwortkategorie von den Studierenden bei durchschnittlich 15 % der Items, im Posttest bei 7 % der Items angekreuzt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Antwortkategorie genutzt wurde.

Zur Umsetzung der Kriterien *inhaltlich-methodisch angepasst*, *minimal* und *selbstständigkeitserhaltend* erscheinen vor allem strategische Interventionen geeignet, auf deren Eignung in einigen Studien hingewiesen wurde (Link, 2011; Stender, 2016). Beispielsweise ist Aussage A (vgl. Tabelle 2) auf die Schwierigkeit der Lernenden („A. Annahmen treffen“) angepasst, sie ist jedoch nicht minimal sowie sehr spezifisch und wird daher im Hinblick auf das Szenario (Situationswissen) a priori als ungeeignet bewertet. Die Bewertung aller Items erfolgte anhand von Ratings von sechs Experten, die Mitglieder der deutschsprachigen Modellierungscommunity sind, durch eine dichotome Punktevergabe (0 und 1 Punkt). Bei 20 der 24 Items stimmten nicht alle Rater überein, sodass diese in einem Konsensverfahren von vier der sechs Experten hinsichtlich der Erfüllung der drei Kriterien diskutiert wurden. Einzelne Itemformulierung wurden hinsichtlich der Eindeutigkeit der Lösung überarbeitet. Die detaillierte Testentwicklung wird in Klock und Wess (2018) dargestellt.

Korrekte Antwortoptionen müssen lediglich erkannt und nicht selbst konstruiert werden. Daher erfasst der Test das Konstrukt der adaptiven Interventionskompetenz in mathematischen Modellierungsprozessen nur in Teilen. Handlungsbezogene Kompetenzen werden durch den Test nicht überprüft. Das Durchlaufen von Teilen des Prozessmodells im Testinstrument und das Einbringen situativer Informationen durch die Textvignetten ermöglicht es Aspekte des Konstrukts zu erfassen, die wir als eine kognitive Voraussetzung für adaptive Interventionskompetenz betrachten.

Stau (Maaß & Gurlitt, 2010)

Zu Beginn der Sommerferien kommt es oft zu Staus. Christina steckt für 6 Stunden in einem 20 km langen Stau fest. Es ist sehr warm und sie hat großen Durst. Es kursiert das Gerücht, dass ein kleiner Lastwagen die Leute mit Wasser versorgen soll, aber sie hat bisher noch nichts erhalten. Wie lange wird der Lastwagen benötigen, um alle Leute mit Wasser zu versorgen?



- SCHÜLER 1: Wir müssten ja eigentlich wissen wie viele Autos überhaupt in dem Stau stehen.
 SCHÜLERIN 2: Hä? Stimmt!
 SCHÜLER 1: Wie sollen wir dann ausrechnen wie lange der braucht? Da fehlen doch voll viele Sachen in der Aufgabe!
 SCHÜLER 3: Ja, wir wissen ja auch nicht wie lange der für jedes Auto braucht.
 SCHÜLERIN 2: Voll die dumme Aufgabe.
 SCHÜLER 1: Wir können ja mal die 20 km durch die 6 Stunden teilen, dann wissen wir wie schnell der sein muss.
 SCHÜLER 3: Genau! Mehr haben wir ja eh nicht gegeben.

Skala	Item Anzahl	Beispiel-Items															
	6	In welcher Phase des Lösungsprozesses befinden sich die Schülerinnen und Schüler <i>hauptsächlich</i> ? A. Konstruieren/Verstehen <input type="checkbox"/> B. Vereinfachen/Strukturieren <input type="checkbox"/> C. Mathematisieren <input type="checkbox"/> D. Interpretieren <input type="checkbox"/>															
Diagnose	6	Diagnostizieren Sie das Problem der Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung der Aufgabe <i>in dieser Situation</i> . Die Lernenden... A. ... haben Probleme mit dem Treffen von Annahmen. <input type="checkbox"/> B. ... ziehen einen falschen Schluss aus Ihrem mathematischen Ergebnis. <input type="checkbox"/> C. ... haben Probleme beim Verstehen des Kontextes. <input type="checkbox"/> D. ... verwenden ein ungeeignetes mathematisches Modell. <input type="checkbox"/>															
	6	Kreuzen Sie bitte an, welches <i>Förderziel</i> Sie im Anschluss an diese Situation für die Gruppe formulieren würden. A. Selbstständige Beschaffung und Bewertung von Informationen. <input type="checkbox"/> B. Kritisches Hinterfragen von Ergebnissen im Modellierungsprozess. <input type="checkbox"/> C. Selbstständige Konstruktion mentaler Modelle zu gegebenen Problemsituationen. <input type="checkbox"/> D. Sichere Übersetzung vereinfachter realer Situationen in mathematische Modelle. <input type="checkbox"/>															
Intervention	24	Kreuzen Sie bitte an, welche der folgenden <i>Interventionen</i> in dieser Situation für eine selbstständigkeitsorientierte Förderung von Modellierungskompetenzen geeignet sind. <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">geeignet</td> <td style="text-align: center;">ungeeignet</td> </tr> <tr> <td>A. „Schätzt zunächst einmal wie lang ein Auto ist.“</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>B. „Betrachtet zunächst einmal nur einen Teil des Problems, also bspw. wie viele Autos überhaupt im Stau stehen.“</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>C. „Genau, berechnet mal diesen Wert.“</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>D. „Überlegt einmal, wie ihr die fehlenden Daten ermitteln könntet.“</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>		geeignet	ungeeignet	A. „Schätzt zunächst einmal wie lang ein Auto ist.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	B. „Betrachtet zunächst einmal nur einen Teil des Problems, also bspw. wie viele Autos überhaupt im Stau stehen.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	C. „Genau, berechnet mal diesen Wert.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D. „Überlegt einmal, wie ihr die fehlenden Daten ermitteln könntet.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	geeignet	ungeeignet															
A. „Schätzt zunächst einmal wie lang ein Auto ist.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>															
B. „Betrachtet zunächst einmal nur einen Teil des Problems, also bspw. wie viele Autos überhaupt im Stau stehen.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>															
C. „Genau, berechnet mal diesen Wert.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>															
D. „Überlegt einmal, wie ihr die fehlenden Daten ermitteln könntet.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>															

Tab. 2: Aufgabenvignette und Beispielitems zu den beiden Skalen „Diagnose“ und „Intervention“ (Klock et al., 2019)

Zur Skalierung der beiden dichotomen Skalen „Diagnose“ und „Intervention“ wurde das einfache Rasch-Modell verwendet (Rost, 2004, S. 115 ff.). Dabei wurde der Ansatz virtueller Personen nach Hartig und Kühnbach (2006) angewendet, bei dem sowohl Pre- als auch Posttestdaten in die Skalierungsanalysen miteinbezogen werden. Dies hat den Vorteil, dass die Personenfähigkeiten anhand derselben Itemparameter bzw. desselben Modells in Pre- und Posttest geschätzt werden. Bei der Skalierung wurden zwei Items der Skala „Diagnose“ und acht Items der Skala „Intervention“ anhand der Kriterien Itemschwierigkeit und Trennschärfe sowie anhand der gewichteten Abweichungsquadrate eliminiert.

Zur Skalierung der Daten wurde das Marginal-Maximum-Likelihood-Verfahren im TAM-Paket (Wu, Robitzsch & Kiefer, 2018) der Software R verwendet, bei dem zunächst die Itemparameter und im Anschluss die Personenparameter berechnet werden. Als Personenfähigkeit werden *Weighted-Likelihood-Estimates* (WLE) verwendet, die anhand der

Modellgleichungen des Rasch-Modells geschätzt werden. Die Reliabilität der Messung wird jeweils anhand der *Expected-a-Posteriori*-(EAP-)Verteilung, die eine Schätzung der Verteilung der latenten Personenfähigkeit jedes Probanden darstellt, und anhand der Varianz der berechneten WLEs bestimmt.

An den EAP-Verteilungen jedes Probanden kann die Messfehlervarianz direkt abgelesen werden. Das Verhältnis der Differenz zwischen der beobachteten Varianz der Daten und der mittleren Messfehlervarianz der Probanden zur beobachteten Varianz der Daten wird als EAP-Reliabilität bezeichnet. Sie gibt den Anteil der Messunsicherheit an, die durch die Schätzung der EAP-Verteilungen erklärt wird. Die WLE-Reliabilität stellt das Verhältnis der Varianz der wahren messfehlerfreien Personenfähigkeiten zur Varianz der beobachteten Daten dar (Adams, 2005). Die Varianz der wahren Personenfähigkeiten ist dabei unbekannt und wird anhand von Korrelationen zwischen den beobachteten Messwerten geschätzt.

Skala	Anzahl Items	EAP-/WLE-Reliabilität	WLE-Varianz	Gewichtete Abweichungsquadrate	Trennschärfe (Mittelwert)
Diagnose	16	0.74 / 0.72	1.57	0.89 – 1.15	0.44
Intervention	16	0.72 / 0.67	1.35	0.86 – 1.14	0.44

Tab. 3: Ergebnisse der Skalierung der beiden Skalen „Diagnose“ und „Intervention“

Das Ergebnis der Skalierung ist in Tabelle 3 dargestellt. Die EAP- und WLE-Reliabilitäten sind mit einem Wert um 0.70 als akzeptabel zu bezeichnen. Die Varianz der WLEs ist ausreichend groß. Die gewichteten Abweichungsquadrate der Items bewegen sich in den empfohlenen Grenzen nach Bond und Fox (2015, S. 279). Die Trennschärfen sind alle größer als .30 und mit einem arithmetischen Mittelwert von .44 als gut zu bezeichnen. Die Mittelwertunterschiede und linearen Regressionen wurden in IBM SPSS 24, die Teststärken in G*Power berechnet.

5. Ergebnisse

Zur Prüfung von (H1) wurden Varianzanalysen mit Messwiederholung durchgeführt. Um (H2) zu überprüfen, wurden in den Treatmentgruppen lineare Regressionen für die Pre- und Posttestdaten berechnet. In der Stichprobe liegt in der Skala „Intervention“ im Pretest ein Ausreißer vor, der um mehr als drei Standardabweichungen nach unten abweicht. Da das Testheft durch den Probanden zu großen Teilen nicht beantwortet wurde, wird der Ausreißer aufgrund motivationaler Probleme aus der Datenauswertung ausgeschlossen.

5.1 Entwicklung der Studierenden

In den Treatmentgruppen, EG Koblenz ($N = 42$) und VG Münster ($N = 35$), kann aufgrund der Stichprobengröße von einer Normalverteilung ausgegangen werden. In der Baseline-Gruppe ($N = 18$) liegt in der Skala „Diagnose“ zu beiden Zeitpunkten keine Normalverteilung vor, was anhand der signifikanten Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests nachvollzogen werden kann ($p_{11} = 0.008$ und $p_{12} = 0.031$). Zur Signifikanzprüfung wurde daher der Wilcoxon-Test verwendet, der keine Verteilungsannahme benötigt. Die Homogenität der Fehlervarianzen zwischen den Gruppen wurde in beiden Skalen anhand des Levene-Tests bestätigt ($p > 0.05$).

Die Entwicklung der Studierenden ist in Abbildung 6 dargestellt. Im Pretest liegt zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied vor. In der Baseline-Gruppe ist die Zunahme in beiden Skalen nicht signifikant. Es liegt daher kein Testwiederholungseffekt vor.

In der Skala „Diagnose“ liegt eine signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und der Gruppe vor ($F(2, 92) = 36.605$; $p < 0.001$; partielles $\eta^2 = 0.433$). Im Posttest unterschieden sich alle

Gruppen statistisch signifikant ($p < 0.001$). Die durchschnittliche Personenfähigkeit der Seminargruppe Koblenz verbesserte sich signifikant mit einem starken Effekt ($F(1, 41) = 14.083$; $p < 0.001$; partielles $\eta^2 = 0.256$), die Seminargruppe Münster ebenfalls mit einem noch größeren Effekt ($F(1, 34) = 85.700$; $p < 0.001$; partielles $\eta^2 = 0.716$). In der Skala „Intervention“ kann ebenfalls eine signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und der Gruppe nachgewiesen werden ($F(2, 92) = 8.734$; $p < 0.001$; partielles $\eta^2 = 0.160$). Im Posttest unterscheiden sich alle Gruppen statistisch signifikant ($p < 0.1$). In der Seminargruppe Koblenz kann der Zuwachs im Rahmen eines kleinen Effekts nicht signifikant nachgewiesen werden ($F(1, 42) = 3.632$; $p = 0.116$; partielles $\eta^2 = 0.059$). Die Seminargruppe Münster verbessert sich jedoch signifikant im Umfang eines großen Effekts ($F(1, 34) = 32.059$; $p < 0.001$; partielles $\eta^2 = 0.485$). Die Effekte können basierend auf einer Power-Analyse mit einer sehr hohen Teststärke nachgewiesen werden ($1 - \beta_{\text{Fehler}} \approx 1$), die die Wahrscheinlichkeit der Daten bei Geltung der Alternativhypothese („Es gibt einen Unterschied zwischen Pre- und Posttest.“) angibt.

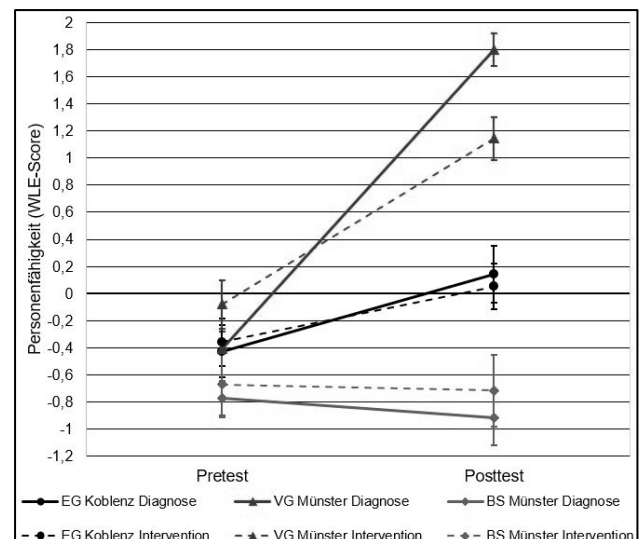


Abb. 5: Personenfähigkeit der Studierenden in Logits mit Standardfehler

Trotz der nicht signifikanten Zunahme der a-priori-Interventionskompetenz in Koblenz liegen insgesamt Hinweise für eine Förderung der beiden Kompetenzen durch die Teilnahme am Lehr-Lern-Labor-Seminar vor, wobei die Effekte in der VG Münster deutlich größer sind als in der EG Koblenz. (H1) wird daher nur mit Einschränkungen bestätigt.

Zeitpunkt	R	R ²	Regressionskoeffizient B	Standardfehler von B	95 % - Konfidenzintervall von B	standardisierter Regressionskoeffizient β	Sig.
Pretest	0.26	0.07	0.34	0.14	[0.05 , 0.62]	0.26	<0.1
Posttest	0.38	0.14	0.34	0.10	[0.15 , 0.53]	0.38	<0.01

Tab. 5: Linearen Regression für die Skalen „Diagnose“ (Prädiktor) und „Intervention“ (Kriterium)

Die Ergebnisse bezüglich der a-priori-Interventionskompetenz sind nicht erwartungskonform, da in der EG Koblenz aufgrund der fokussierten Förderung der adaptiven Interventionskompetenz ein größerer Zuwachs zu erwarten gewesen wäre. Für die größeren Effekte sind mehrere Erklärungen denkbar. In der VG Münster wurden ebenfalls theoretische Grundlagen zum mathematischen Modellieren und Lehrerinterventionen thematisiert. Mit dem Fokus auf der Entwicklung und Evaluation von Modellierungsaufgaben fand ebenfalls eine Praxiseinbindung im Lehr-Lern-Labor statt. Die Anwendung der vermittelten theoretischen Grundlagen zu Lehrerinterventionen in der Praxiseinbindung kann zur Steigerung der a-priori-Interventionskompetenz beigetragen haben, obwohl diese Kompetenz in Münster nicht fokussiert gefördert wurde und kein explizites Training stattfand. Durch das Zusammenspiel von Diagnostik und Aufgabenentwicklung (vgl. Wess & Greefrath, in diesem Heft) wurde die Diagnosekompetenz der Studierenden auch in der EG Münster gefördert, sodass für diese Kompetenz in beiden Treatment-Gruppen eine Steigerung erwartet wurde. Da ein Zusammenhang zwischen der Diagnose- und a-priori-Interventionskompetenz vermutet wird (vgl. Kapitel 5.2), geht die Steigerung der Diagnosekompetenz vermutlich mit einer Steigung der a-priori-Interventionskompetenz einher. Dies könnte ebenfalls den Zuwachs in der a-priori-Interventionskompetenz erklären. Auch Stichprobenmerkmale können aufgrund der nicht-randomisierten Gruppen für die unterschiedlichen Effekte verantwortlich sein. Im Gegensatz zu Koblenz handelt es sich in Münster um ein Wahl-Pflicht-Seminar, sodass affektive Merkmale der Studierenden, wie z. B. Interesse, die Ergebnisse beeinflussen können. Die EG Koblenz und VG Münster unterscheiden sich zudem signifikant in der Semesterzahlen und Abiturnoten der Studierenden, die die Zuwächse als Störvariablen moderieren könnten.

5.2 Zusammenhangsanalyse

Um (H2) und den Zusammenhang zwischen der Diagnose- mit der a-priori-Interventionskompetenz zu untersuchen, wird für die Treatment-Gruppen EG Koblenz und VG Münster ($N = 77$) eine lineare Regression durchgeführt. Im Folgenden werden die Daten der beiden Treatment-Gruppen ohne die Baseline-Gruppe gemeinsam ausgewertet. Trotz der

unterschiedlichen Effekte wird dies sowohl für die Pre- als auch für die Posttestdaten durchgeführt, da aus einer theoretischen Perspektive ein konstanter Zusammenhang beider Kompetenzen zu erwarten ist.

Das Streudiagramm (vgl. Abb. 6) weist auf einen linearen Zusammenhang zwischen den Variablen hin. Die Unabhängigkeit der Residuen wird durch die Durbon-Watson Statistik bestätigt. Die Varianzgleichheit wurde grafisch anhand der Streudiagramme von studentisierten Residuen (Eid, Gollwitzer & Schmitt, 2011, S. 683) und unstandardisierten vorhergesagten Werten überprüft und bestätigt. Anhand des Shapiro-Wilk Tests wurde die Normalverteilung der Residuen untersucht. Im Pretest liegt eine Normalverteilung vor ($p = 0.339$), im Posttest ist die Normalverteilungsannahme verletzt ($p = 0.001$). Diese Voraussetzung wird zur Berechnung der Signifikanztests für die Regressionsgewichte und den Determinationskoeffizienten R^2 benötigt. Simulationsstudien weisen jedoch auf eine Robustheit des Testverfahrens bei Verletzung der Verteilungsannahme hin (Lumley, Diehr, Emerson & Chen, 2002).

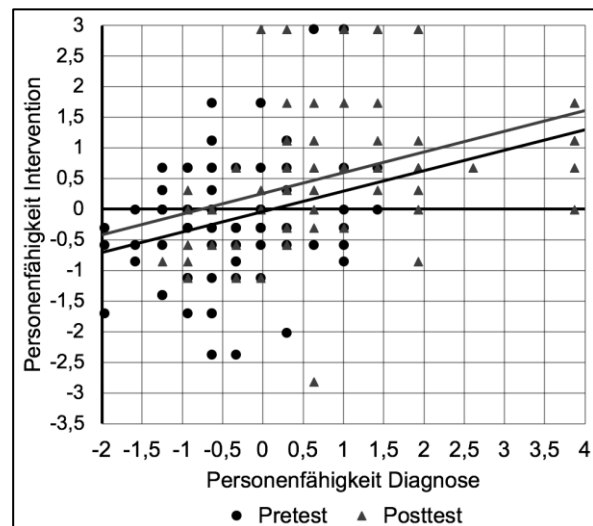


Abb. 6: Streudiagramm der Personenfähigkeiten

Die beiden Skalen „Diagnose“ und „Intervention“ weisen zu beiden Messzeitpunkten eine signifikante Korrelation auf ($p < 0.01$; Pretest: $R = 0.26$; Posttest: $R = 0.38$). Das lineare Modell klärt im Pretest 7 % und im Posttest 14 % der Varianz auf, was durch eine hohe Teststärke bestätigt wird (Pretest: $R^2 = 0.07$, $1 - \beta_{\text{Fehler}} = 0.95$; Posttest: $R^2 = 0.14$, $1 - \beta_{\text{Fehler}} = 0.95$). Die Diagnosekompetenz sagt in

beiden Fällen statistisch signifikant die a-priori-Interventionskompetenz voraus (Pretest: $F(1, 75) = 5.610$, $p < 0.1$; Posttest: $F(1, 75) = 12.351$, $p < 0.001$). Steigt die Personenfähigkeit der Diagnose-Skala um einen Logit, so steigt die Personenfähigkeit in der Interventions-Skala im Pre- und Posttest durchschnittlich um $B = .34$ Logits. Da sich der Zusammenhang in den Pre- und Posttestdaten reproduziert, kann (H2) bestätigt werden.

Die standardisierten Regressionskoeffizienten deuten darauf hin, dass die Bedeutsamkeit der Diagnosekompetenz für die a-priori-Interventionskompetenz im Posttest ($\beta = .38$) größer ist als im Pretest ($\beta = .26$). Die höhere Varianzaufklärung im Posttest stützt diese Schlussfolgerung. Die Diagnosekompetenz sagt die a-priori-Interventionskompetenz nach den Treatments besser vorher. Vermutlich ist eine konsistentere Bearbeitung des Testinstruments und/oder eine größere Varianz der Personenfähigkeiten in beiden Skalen durch die Treatments für die bessere Modellpassung verantwortlich. Aufgrund der größeren Varianz können sich stärkere Korrelationen zwischen Prädiktor und Kriterium ausbilden, die zu einer größeren Varianzaufklärung führen. Die kleine Varianzaufklärung im Pretest und die moderate Varianzaufklärung im Posttest sind im Hinblick auf zahlreiche Störvariablen (Semester, Abiturnote, Praxiserfahrung ...), die nicht in das Modell mit aufgenommen wurden, als akzeptabel zu bezeichnen. Eine Aufnahme zusätzlicher Prädiktoren führt im Hinblick auf die kleine Stichprobe ($N = 77$) zu einer Verringerung der Teststärke. Dadurch wird ein signifikanter Nachweis der Regressionsgewichte und des Determinationskoeffizienten R^2 erschwert. Die nicht normalverteilten Residuen im Posttest können zu einer Verzerrung der Ergebnisse der Signifikanztests beitragen. Aufgrund der Robustheit des Testverfahrens (vgl. Lumley, Diehr, Emerson & Chen, 2002) ist diese jedoch als wenig ausschlaggebend anzusehen.

6. Zusammenfassung und Diskussion

Das Testinstrument operationalisiert einen Teil der adaptiven Interventionskompetenz, den wir als eine Voraussetzung für das adaptive Intervenieren in mathematischen Modellierungsprozessen ansehen. Die Beurteilung der Adaptivität von Interventionen anhand von Textvignetten ermöglicht aber nur bedingt die Erhebung der adaptiven Interventionskompetenz. Die Aussagekraft der Ergebnisse ist begrenzt, da zur valideren Erhebung des Konstrukts weitere situative Informationen wichtig erscheinen. Anhand des Testinstruments können zudem nur Aussagen über kognitive Fähigkeiten getroffen werden, die die Bewertung und Auswahl vorgegebener Antwortoptionen umfassen. Eine Erhebung von Handlungskompetenzen in

Form tatsächlicher Interventionen und deren Wirkungen ist in einer Folgestudie anhand der im Lehr-Lern-Labor-Seminar angefertigten Videos der Studierenden möglich. Für ausgewählte Studierende besteht dadurch die Möglichkeit, einen Zusammenhang zwischen Testergebnissen und Handlungskompetenzen herzustellen, um die konvergente Validität des Testinstruments zu überprüfen. Bisher konnte ein Matching der Test- und Videodaten aufgrund der anonymen Erhebung der Diagnose- und a-priori-Interventionskompetenz nicht durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der Studie geben einen ersten Eindruck, was Lehr-Lern-Labore zur Professionalisierung von Lehramtsstudierenden beitragen können. Maßnahmen zur Verzahnung von Theorie und Praxis ermöglichen die Förderung von Kompetenzen bei Studierenden. Die Studie weist für das Treatment in der EG Münster große Effektstärken auf Aspekte der adaptiven Interventionskompetenz nach. Die nicht erwartungskonformen, geringeren und teilweise nicht signifikanten Effekte in Koblenz sind auf verschiedene Störvariablen und Wechselwirkungen mit anderen Konstrukten zurückzuführen, die den Kompetenzzuwachs evtl. moderieren. Die regressionsanalytische Untersuchung zeigt zu beiden Messzeitpunkten einen Zusammenhang zwischen der Diagnose- und a-priori-Interventionskompetenz auf. Dass sich der Zusammenhang trotz möglicher Verzerrungen zu beiden Messzeitpunkten nachweisen lässt, ist ein Hinweis auf die wichtige Rolle der Diagnostik im Interventionsprozess.

In einer Folgeuntersuchung wird der Einfluss von Störvariablen (Semester, Abiturnote, Praxiserfahrung, ...), die in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt werden konnten (vgl. Kapitel 5.2), in einer größeren Stichprobe kontrolliert, um die bereinigten Effektstärken zu bestimmen. Die größere Stichprobe erlaubt das Einbeziehen weiterer Prädiktoren und die Sicherstellung einer ausreichenden Teststärke. Die vollständigere Spezifizierung des linearen Modells wird zudem eine präzisere Schätzung der Regressionsgewichte ermöglichen.

Danksagung

Wir danken Raphael Wess und Gilbert Greefrath für die gute Zusammenarbeit bei der Durchführung der Studie. Das Projekt MoSAiK (Kauertz & Siller, 2016) – Förderkennzeichen 01JA1605 – wurde durch das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der gemeinsamen Qualitätsoffensive Lehrerbildung von Bund und Ländern gefördert.

Literatur

- Adams, R. J. (2005). Reliability as a Measurement Design Effect. *Studies in Educational Evaluation*, 31(2–3), 162–172.
- Aebli, H. (1983). *Zwölf Grundformen des Lehrens: Eine allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Baum, S., Roth, J. & Oechsler, R. (2013). Schülerlabore Mathematik - Außerschulische Lernstandorte zum intentionalen mathematischen Lernen. *Der Mathematikunterricht*, 59(5), 4–11.
- Blomhøj, M. & Jensen, T. H. (2003). Developing Mathematical Modelling Competence: Conceptual Clarification and Educational Planning. *Teaching Mathematics and its Applications*, 22(3), 123–139.
- Blum, W. (2010). Modellierungsaufgaben im Mathematikunterricht. Herausforderung für Schüler und Lehrer. *Praxis der Mathematik in der Schule*, 52(34), 42–48.
- Blum, W. (2015). Quality Teaching of Mathematical Modelling: What Do We Know? What Can We Do? In *Proceedings of ICME 12* (S. 73–96). Seoul, Korea: Springer.
- Blum, W. & Borromeo Ferri, R. (2009). Mathematical Modelling: Can It Be Taught and Learnt? *Journal of Mathematical Modelling and Application*, 1(1), 45–58.
- Bond, T. & Fox, C. M. (2015). *Applying the Rasch Model: Fundamental Measurement in the Human Sciences* (3. Aufl.). New York: Routledge.
- Borromeo Ferri, R. (2006). Theoretical and empirical differentiations of phases in the modelling process. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 38(2), 86–95.
- Borromeo Ferri, R. (2011). *Wege zur Innenwelt des mathematischen Modellierens. Kognitive Analysen zu Modellierungsprozessen im Mathematikunterricht*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- 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.), *Proceedings of the Sixth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME 6, January 28 – February 1, 2009)* (S. 2046–2055). Lyon, France: Institut National de Recherche Pédagogique and ERME.
- Brand, S. (2014). *Erwerb von Modellierungskompetenzen. Empirischer Vergleich eines holistischen und eines atomistischen Ansatzes zur Förderung von Modellierungskompetenz*. Wiesbaden: Springer.
- Brüning, A.-K. (2017). Lehr-Lern-Labore in der Lehramtsausbildung – Definition, Profilbildung und Effekte für Studierende. In U. Kortenkamp & A. Kuzle (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017*. Münster: WTM.
- Eid, M., Gollwitzer, M. & Schmitt, M. (2011). *Statistik und Forschungsmethoden* (2. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Fischer, R. (2012). Bildung als Aushandlung von Bildung. In R. Fischer, U. Greiner & H. Bastel (Hrsg.), *Domänen fächerorientierter Allgemeinbildung* (Bd. 1, S. 31–59). Linz: Trauner.
- 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. & Wess, R. (2016). *DwD - Dealing with Diversity. Teilprojekt 2: Lehr-Lern-Labore, Lernwerkstätten und Learning-Center*. https://www.uni-muenster.de/QLB-DwD/teilprojekte/lehr-lern-labore_lernwerkstaettenundlearningcenter_/einzelprojekte/mathematik.html.
- Hartig, J. & Kühnrich, O. (2006). Schätzung von Veränderungen mit „plausible values“ in mehrdimensionalen Rasch-Modellen. In A. Ittel & H. Merrens (Hrsg.), *Veränderungsmessung und Längsschnittstudien in der empirischen Erziehungswissenschaft* (S. 27–44). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hascher, T. (2011). Diagnostizieren in der Schule. In A. Bartz (Hrsg.), *PraxisWissen Schulleitung* (S. 1–6). Unterschleißheim: Luchterhand und Link/DKV.
- Helmke, A. (2004). *Unterrichtsqualität: Erfassen, Bewerten, Verbessern* (3. Aufl.). Seelze: Kallmeyer.
- Helmke, A. & Schrader, F.-W. (1987). Interactional Effects of Instructional Quality and Teacher Judgement Accuracy on Achievement. *Teaching & Teacher Education*, 3(2), 91–98.
- Henn, H.-W. (2017). Die Mathematik der Einkommensbesteuerung. In H. Humenberger & M. Bracke (Hrsg.), *Neue Materialien für einen realitätsbezogenen Mathematikunterricht 3* (Bd. 3, S. 95–105). Wiesbaden: Springer.
- Ingenkamp, K. & Lissmann, U. (2008). *Lehrbuch der pädagogischen Diagnostik* (6. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Kaiser, G. (2007). Modelling and modelling competencies in school. In C. P. Haines, P. Galbraith, W. Blum & S. Khan (Hrsg.), *Mathematical Modelling (ICTMA 12): Education, Engineering and Economics* (S. 110–119). Chichester: Horwood Publishing.
- Kauertz, A. & Siller, H.-S. (2016). *MoSAiK – Modulare Schulpraxiseinbindung als Ausgangspunkt zur individuellen Kompetenzentwicklung. Projekt der Universität Koblenz-Landau im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern*. [<http://mosaik.uni-koblenz-landau.de>].
- Klock, H. & Siller, H.-S. (2019). A Time-Based Measurement of the Intensity of Difficulties in the Modelling Process. In H. Wessels, G. A. Stillman, G. Kaiser & E. Lampen (Hrsg.), *International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modelling*. Dordrecht: Springer.
- Klock, H. & Wess, R. (2018). *Lehrerkompetenzen zum mathematischen Modellieren – Test zur Erfassung von Aspekten professioneller Kompetenz zum Lehren mathematischen Modellierens*. Abgerufen von <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 mathematischen Modellierens bei (angehenden) Lehrkräften - Erfassung und Evaluation. In T. Leuders, E. Christophel, M. Hemmer, F. Korneck & P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktische Forschungen zur Lehrerbildung* (S. 123–134). Münster: Waxmann.
- Lazonder, A. W. & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning: Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 86(3), 681–718.

- Leiss, D. (2007). „Hilf mir es selbst zu tun“. *Lehrerinterventionen beim mathematischen Modellieren*. Hildesheim: Franzbecker.
- Leiss, D. (2010). Adaptive Lehrerinterventionen beim mathematischen Modellieren – empirische Befunde einer vergleichenden Labor- und Unterrichtsstudie. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 31(2), 197–226.
- Leiss, D. & Tropper, N. (2014). *Umgang mit Heterogenität im Mathematikunterricht. Adaptives Lehrerhandeln beim Modellieren*. Berlin: Springer.
- 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*. Münster: WTM.
- Link, F. (2011). *Problemlöseprozesse selbstständigkeitsorientiert begleiten*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Lumley, T., Diehr, P., Emerson, S. & Chen, L. (2002). The Importance of the Normality Assumption in Large Public Health Data Sets. *Annual Review of Public Health*, 23, 151–169.
- Maaß, K. (2004). *Mathematisches Modellieren im Unterricht. Ergebnisse einer empirischen Studie*. Hildesheim: Franzbecker.
- Maaß, K., & Gurlitt, J. (2010). Designing a Teacher Questionnaire to Evaluate Professional Development in Modelling. In V. Durand-Guerrier, S. Soury-Lavergne, & F. Arzarello (Hrsg.), *Proceedings of the Sixth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME 6, January 28 – February 1, 2009)*. Lyon, France: Institut National de Recherche Pédagogique and ERME.
- Martius, T., Delvenne, L. & Schlüter, K. (2016). Forschendes Lernen. Verschiedene Konzepte, ein gemeinsamer Kern? *MNU Journal*, 69(4), 220–228.
- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testtheorie – Testkonstruktion* (2. Aufl.). Bern: Hans Huber.
- Roth, J. (2013). Mathematik-Labor „Mathe ist mehr“ - Forschendes Lernen im Schülerlabor mit dem Mathematikunterricht vernetzen. *Der Mathematikunterricht*, 59(5), 12–20.
- Ruzika, S., Siller, H.-S. & Bracke, M. (2017). Evakuierungsszenarien in Modellierungswochen – ein interessantes und spannendes Thema für den Mathematikunterricht. In H. Humenberger & M. Bracke (Hrsg.), *Neue Materialien für einen realitätsbezogenen Mathematikunterricht 3* (Bd. 3, S. 181–190). Wiesbaden: Springer.
- Schaap, S., Vos, P. & Goedhart, M. (2011). Students overcoming blockages while building a mathematical model: Exploring a framework. In G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo Ferri & G. Stillman (Hrsg.), *Trends in Teaching and Learning of Mathematical Modelling. ICTMA 14* (S. 137–146). Dordrecht: Springer.
- Schrader, F.-W. (2013). Diagnostische Kompetenz von Lehrpersonen. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 31(2), 154–165.
- 's Gravesande, W. J. (1720). *Physicæ Elementa Mathematica Experimentis Confirmata*. Leiden.
- Siller, H.-S. (2010). Modellierungstage – oder: Wie kann Mathematik (wieder) Spaß machen? *News & Science*, 25, 30–32.
- Siller, H.-S. (2013). Blockabfertigung im (Tauern-)Tunnel. Ein aktuelles Thema aus dem Problemkreis der Verkehrszusammenhang. In R. Borromeo Ferri, G. Greefrath & G. Kaiser (Hrsg.), *Mathematisches Modellieren für Schule und Hochschule; Theoretische und didaktische Hintergründe* (S. 221–236). Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Siller, H.-S. (2015). Realitätsbezug im Mathematikunterricht. *Der Mathematikunterricht*, 61(5), 2–6.
- Siller, H.-S. & Klock, H. (2016). *MoSAiK – Modulare Schulpraxiseinbindung als Ausgangspunkt zur individuellen Kompetenzentwicklung. Teilprojekt I.1.2: Lehr-Lern-Labore für eine praxisnahe forschungsbezogene Lehrer/innen-Ausbildung*. [http://mosaik.uni-koblenz-landau.de].
- Siller, H.-S. & Vogl, C. (2010). Das Salzburger Modell von Modellierungstagen. *News & Science*, 26, 27–33.
- Sjuts, J. (2003). Metakognition per didaktisch-sozialem Vertrag. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 24(1), 18–40.
- Stender, P. (2016). *Wirkungsvolle Lehrerinterventionsformen bei komplexen Modellierungsaufgaben*. Wiesbaden: Springer.
- Van de Veer, R. & Valsiner, J. (1991). *Understanding Vygotsky: A Quest for Synthesis*. Blackwell: Oxford.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society - The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University.
- Weinert, F. E. (2001). *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim: Beltz.
- Wu, M., Robitzsch, A. & Kiefer, T. (2018). TAM. Test Analysis Modules (Version 2.8–21). Abgerufen von <https://cran.r-project.org/web/packages/TAM/TAM.pdf>
- Zech, F. (1996). *Grundkurs Mathematikdidaktik: Theoretische und praktische Anleitungen für das Lehren und Lernen von Mathematik* (8. Auflage). Weinheim: Beltz.

Anschrift der Verfasser

Heiner Klock
 Universität Koblenz-Landau, Campus Koblenz
 Mathematisches Institut
 Universitätsstraße 1
 56070 Koblenz
hklock@uni-koblenz.de

Hans-Stefan Siller
 Julius-Maximilians-Universität Würzburg
 Institut für Mathematik, Lehrstuhl für Mathematik V
 Emil-Fischer-Straße 30
 97074 Würzburg
hans-stefan.siller@mathematik.uni-wuerzburg.de