

*Tina Seidel, Michael Nickl, Daniel Sommerhoff, Stefan Ufer,  
Anika Radkowitzsch, Elisabeth Bauer, Sina Huber, Elias Codreanu,  
Ralf Schmidmaier & Birgit J. Neuhaus*

## **Förderung von Zukunftskompetenzen durch videobasierte Simulationen für die Lehrkräftebildung am Beispiel des Projekts Visit-Math**

### **1. Einleitung**

Die gegenwärtigen gesellschaftlichen Entwicklungen sind gekennzeichnet von Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Ambiguität (Barber, 1992). Um junge Heranwachsende auf diese Entwicklungen vorzubereiten, stellen viele Länder derzeit ihre Bildungssysteme um und verankern verstärkt Zukunftskompetenzen in ihren Lehrplänen und Curricula (OECD, 2019). Zu diesen Zukunftskompetenzen zählen unter anderem sogenannte Life und Career Skills, Learning and Innovation Skills, sowie Information, Media and Technology Skills (P21 Partnership for 21st Century Skills, 2019). Diese sollen in den Kernfächern und anhand ausgewählter gesellschaftlich relevanter Lernkontexte systematisch in allen Bildungsphasen vermittelt werden. Zu den Lern- und Innovationsfähigkeiten als zentralen Bereich von Zukunftskompetenzen zählen die sogenannten vier »K«: Kommunikation, Kollaboration, Kritisches Denken und Kreativität (Aktionsrat Bildung, 2022). Bei diesen Lern- und Innovationsfähigkeiten handelt es sich um Bereiche, die bereits in den meisten Lehrplänen als übergeordnete Bildungsziele genannt werden. Allerdings erfahren sie noch nicht den Umfang und die Tiefe in der Realisierung im Unterricht, wie es in Anbetracht der gesellschaftlichen Entwicklungen und der notwendigen Anpassung unserer Bildungssysteme notwendig wäre (Aktionsrat Bildung, 2022).

Betrachtet man den empirischen Forschungsstand dazu, wie wirksam Unterrichtsansätze zur Förderung von Zukunftskompetenzen im Bereich der Lern- und Innovationsfähigkeiten sind, ist die Befundlage in positiver Weise relativ eindeutig: Werden im Unterricht verstärkt Instruktionsansätze wie kooperatives Lernen, soziales und emotionales Lernen, forschendes Lernen, selbstreguliertes Lernen und Lernen mit digitalen Tools und Medien umgesetzt, erreichen diese Instruktionsansätze im Vergleich zu herkömmlichem Unterricht positive Lernergebnisse, und zwar in motivational-affektiver, metakognitiver und kognitiver Hinsicht (Aktionsrat Bildung, 2022; Knogler et al., 2022; Knogler et al., 2019). Es spricht also viel

dafür, unseren Unterricht tiefgreifend zu verändern und diese Instruktionsansätze zur täglichen Praxis werden zu lassen.

Für diese notwendigen Veränderungen spielen Lehrpersonen die entscheidende Rolle (Cochran-Smith & Zeichner, 2005): Sie sind es, die diese Instruktionsansätze kennen, verstehen und umsetzen können müssen, damit Schüler\*innen verstärkt Zukunftskompetenzen erwerben können. Die Lehrpersonen sind dabei in der Rolle als Lehrende und als Lernende. Als Lernende müssen sie daher selbst in ihrer Ausbildung diese Arten von Lernumgebungen erfahren, um selbst entsprechende Zukunftskompetenzen zu entwickeln. Die bisherige, durchaus heterogene, Praxis der Vorlesungs- und Seminargestaltung, beispielsweise in der universitären Lehrkräftebildung, dürfte weit entfernt sein von den Lernumgebungen, wie sie auf Basis des empirischen Forschungsstands in positiver Weise Lern- und Innovationsfähigkeiten unterstützen sollten (Bauer et al., 2012; Bauer & Möller, 2023; Kunter et al., 2017; Möller et al., 2023). Von daher ist es dringend erforderlich, die universitäre Lehrkräftebildung weiter zu reformieren und innovative Instruktionsansätze zu realisieren (Darling-Hammond, 2010; Grossman, 2008).

In der universitären Lehrkräftebildung besteht die Herausforderung, komplexe Ideen und Begriffe der Unterrichtsfächer, der Fachdidaktik und der Bildungswissenschaften sowohl evidenzbasiert als auch praxisorientiert zu vermitteln (Seidel et al., 2021). Zu einer Evidenzbasierung zählt die Berücksichtigung des empirischen Forschungsstands und die Vermittlung zentraler Erkenntnisse der Bildungswissenschaften an zukünftige Lehrer\*innen (Bauer & Prenzel, 2012). Dazu erfahren vor allem solche Befunde besondere Berücksichtigung, die einen hohen Anwendungsbezug für die Unterrichtspraxis aufweisen (Gröschner et al., 2015). Gleichzeitig orientiert sich eine moderne Lehrkräftebildung an den professionellen Anforderungen des Lehrberufs und nutzt dabei in der Vermittlung relevanter Inhalte konkrete Anwendungskontexte zu den Standards in der Lehrkräftebildung, beispielsweise in den Bereichen Erziehen, Diagnostizieren, Unterrichten und Innovieren (Kulturministerkonferenz, 2014; Terhart, 2000).

Bei der Fülle an möglichen Praxisbezügen besteht eine Herausforderung für die universitäre Lehrkräftebildung darin, Entscheidungen bezüglich der Auswahl der Praxisbeispiele zu treffen (Seidel et al., 2021). Eine Möglichkeit besteht darin, sich dabei auf sogenannte »Core Teaching Practices«, also Kernpraktiken im Lehrberuf, zu konzentrieren (Grossmann, 2018; McDonald et al., 2013). Für die unterschiedlichen Unterrichtsfächer und für die generischen pädagogischen Praktiken werden hierzu derzeit in verschiedenen Konsortien Festlegungen für solche Kernpraktiken getroffen. Beispiele für generische Praktiken stellen die Orchestrierung von klassenöffentlichen Diskussionen, die Modellierung von Kleingruppenarbeiten, oder die Bereitstellung instruktorischer Erklärungen dar. Fachspezifische Kernpraktiken können sich beispielsweise auf die Identifikation von Gelegenheiten für forschendes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht, auf den Umgang mit der Vertrau-

enswürdigkeit von Quellen im Geschichtsunterricht oder die instruktionale Unterstützung bei Interpretationen literarischer Texte beziehen (Grossmann, 2018).

Außerdem sind Rahmenmodelle hilfreich, die Vermittlungsaspekte im professionellen Lernen von Lehrpersonen abzubilden versuchen. Das Rahmenmodell zum praxisorientierten Lernen von Lehrpersonen stellt einen solchen Ansatz dar (Grossman et al., 2009; Grossman & McDonald, 2008). Hier wird ein Dreischritt in der instruktionalen Aufarbeitung und Vermittlung komplexer Konzepte mit Praxisbezug vorgeschlagen. Zunächst wird ein komplexes Konzept in zentrale Einheiten strukturiert und damit eine Dekomposition erreicht. Für Konzepte wie beispielsweise der »kognitiven Aktivierung« würde dies bedeuten, diese in wesentliche Unterbegriffe und Komponenten des Konzepts zu zerlegen. Auf Basis dieser Dekomposition werden in einem zweiten Schritt dann sogenannte Praxisrepräsentationen bestimmt. Dies bedeutet, dass für die entsprechenden Unterbegriffe und Teilkomponenten besonders einschlägige Kernpraktiken ausgewählt werden. Auf Basis dieser Auswahl erfolgen dann in der instruktionalen Vermittlung dieser so strukturierten Konzepte Zusammenstellungen sogenannter Praxisapproximationen, die von stärker vereinfachten Approximationen mit hoher Salienz der zu vermittelnden Komponenten (z. B. Simulationen und mediale Tools) bis hin zu einer möglichst authentischen Annäherung an die reale Praxis (z. B. Unterrichtspraktika) reichen (Chernikova et al., 2024; Fischer et al., 2022).

Simulationen, wie sie in vielen anderen Professionen für die Ausbildung eingesetzt werden (beispielsweise in der Medizin, in den Ingenieurwissenschaften oder im Pilotentraining), haben bislang in der Lehrkräftebildung noch wenig Nutzung erfahren (Chernikova et al., 2020). Sie bieten allerdings eine sehr effektive Lernumgebung, in der dekomponierte komplexe Konzepte vermittelt und Praxisannäherungen mit einer Balance aus Authentizität und Komplexitätsreduktion realisiert werden können (Fischer et al., 2022; Heitzmann et al., 2019).

## **2. Simulationen für die Lehrkräftebildung am Beispiel des Projekts Visit-Math**

### **2.1 Zielstellungen im Projekt**

Im Projekt Visit-Math, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft als Teilprojekt der Forschungsgruppe Cosima (FOR 2385) von 2017 bis 2024 gefördert wurde, erfolgte die Realisierung einer Simulation für die universitäre Lehrkräftebildung mit dem Schwerpunkt auf zentralen und in der Regel schwer zu vermittelnden Konzepten in der Mathematikdidaktik. Ein Konzept, das hier eine besondere Relevanz und Herausforderung in der Vermittlung aufweist, sind Diagnosekompetenzen angehende Lehrpersonen (Artelt & Gräsel, 2009; Südkamp et al., 2012).

Mit der Entwicklung einer Simulation bestand das Ziel, Lehramtsstudierende mit Fach Mathematik beim Erwerb zentraler Diagnosekompetenzen zu unterstützen (Codreanu, 2021a). Wichtig für Diagnosekompetenzen (Artelt & Gräsel, 2009) war das korrekte Wahrnehmen und wissensbasierte Schlussfolgern von Schüler\*innenaktivitäten bei Beweisaufgaben in der frühen Sekundarstufe (7./8. Jahrgangsstufe) mit Bezug zu dem zugrunde liegenden mathematischen Basiswissen, mathematischen Methodenwissen bezüglich des Vorgehens bei Beweisaufgaben und den wichtigen Problemlösefähigkeiten zur Bearbeitung der Beweisaufgaben (Codreanu et al., 2022; Codreanu et al., 2021b).

Lehramtsstudierende sollten über die Simulation die Möglichkeit erhalten, anhand ausgewählter Praxisrepräsentationen wichtige Teilkomponenten in der Diagnose dieser Argumentations- und Beweiskompetenzen bei Schüler\*innen anzuwenden. In der Realisierung der Simulation wurden für die Lernaufgabe der Diagnose von Argumentations- und Beweiskompetenzen bei Lernenden zentrale mathematikdidaktische Konzepte dekomponiert, geeignete Praxisrepräsentationen definiert und diese in Form von Praxisannäherungen in der Simulation realisiert. Um in diesem Prozess eine valide Lernumgebung zu generieren, erfolgte die Entwicklung der Simulation unter der besonderen Zielstellung, eine möglichst optimierte Balance im Erleben von Authentizität in der Bearbeitung der Simulation und der erfolgreichen Bewältigung kognitiver Anforderungen bei den zu bearbeitenden Aufgabenstellungen in der Simulation zu gewährleisten (Codreanu et al., 2020).

Darüber hinaus wurden im Projekt Visit-Math adaptiv orientierte Optimierungen der Simulation realisiert, in dem a) die kognitiven und motivational-affektiven Lernvoraussetzungen und Lernprozesse während der Bearbeitung der Simulation genauer untersucht wurden, um eine Basis für eine differential abgestimmte Anpassung der Simulation für Nutzer\*innen mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen zu schaffen (Plass & Pawar, 2020). Darüber hinaus wurden b) verschiedene instruktionale Unterstützungsmaßnahmen empirisch untersucht, beispielsweise in Form von Prompts für eine erfolgreiche Bewältigung der Aufgabenstellungen in der Simulation (Belland et al., 2011).

## 2.2 Zentrale Ergebnisse zur Entwicklung und Validierung der Simulation

Für die Entwicklung und Validierung der Simulation Visit-Math waren zwei Fragen zentral (Codreanu, 2021a): Inwiefern repräsentieren geskriptete Videosequenzen mit diagnostischen Situationen, in denen Interaktionen einer Lehrkraft mit Schüler\*innen zum Thema mathematisches Argumentieren dargestellt sind, eine authentische Unterrichtspraxis? Inwiefern gibt eine Dekomposition der in der Simulation dargestellten Konzepte einen validen Einblick in die Messung diagnostischer Kompetenzen bei angehenden Lehrpersonen?

### 2.2.1 Konzeptualisierung und Realisierung der geskripteten Videosequenzen

Um in möglichst optimaler Weise eine Balance zwischen der Vereinfachung komplexer Konzepte wie Diagnosekompetenzen und der Realisierung einer authentischen Praxisrepräsentation zu erreichen, wurden für die Simulation Videosequenzen von Interaktionen einer Lehrkraft mit Schüler\*innen auf Basis eines gezielt entwickelten und vorgefertigten Skripts erstellt bzw. nachgedreht (im Englischen häufig als staged video bezeichnet) (Dieker et al., 2009; Piwowar et al., 2018; Seidel et al., 2022). Dazu interagierten vier schauspielernde Schüler\*innen der achten Jahrgangsstufe mit einer schauspielernden Lehrkraft. Jede bzw. jeder der vier simulierten Lernenden repräsentierte dabei ein typisches Profil von den in der mathematikdidaktischen Forschung häufig festgestellten Lernvoraussetzungen beim mathematischen Argumentieren und Beweisen bei geometrischen Beweisaufgaben (Ufer et al., 2008). Grundlage waren dabei unterschiedliche Voraussetzungen der Lernenden in den Bereichen a) mathematisches Basiswissen, b) methodisches Wissen zum Beweisen und Argumentieren und c) Problemlösestrategien.



| <b>Mathematisches Basiswissen</b>  |                   |         |                             |         |                        |       |                       |         |                   |   |                             |     |                        |       |                       |         |           |
|--|-------------------|---------|-----------------------------|---------|------------------------|-------|-----------------------|---------|-------------------|---|-----------------------------|-----|------------------------|-------|-----------------------|---------|-----------|
| Begriffsinhalt   | ★                 | ★ ★     | ★ ★ ★ ★                     | ★ ★ ★ ★ |                        |       |                       |         |                   |   |                             |     |                        |       |                       |         |           |
| Begriffsumfang   | ★                 | ★ ★     | ★ ★ ★ ★                     | ★ ★ ★ ★ |                        |       |                       |         |                   |   |                             |     |                        |       |                       |         |           |
| Begriffnetz  | ★                 | ★ ★     |                             | ⊙       |                        |       | ★ ★ ★ ★               |         |                   |   |                             |     |                        |       |                       |         |           |
| <b>Methodenwissen zum Beweisen</b>   |                   |         |                             |         |                        |       |                       |         |                   |   |                             |     |                        |       |                       |         |           |
| Beweisschema   | ★                 | ★       | ★ ★ ★                       | ★ ★ ★ ★ |                        |       | ★ ★ ★ ★               |         |                   |   |                             |     |                        |       |                       |         |           |
| Beweisstruktur   | ★                 | ★ ★     | ★ ★ ★                       | ★ ★ ★   |                        |       | ★ ★ ★                 |         |                   |   |                             |     |                        |       |                       |         |           |
| Beweiskette  | ★                 | ★       | ★ ★                         | ★ ★     |                        |       | ★ ★ ★                 |         |                   |   |                             |     |                        |       |                       |         |           |
| <b>Problemlösestrategien</b>   |                   |         |                             |         |                        |       |                       |         |                   |   |                             |     |                        |       |                       |         |           |
| Heuristische Strategien  | ★ ★ ★             | ★ ★ ★ ★ | ★ ★ ★ ★                     | ★ ★ ★ ★ |                        |       | ★ ★ ★ ★               |         |                   |   |                             |     |                        |       |                       |         |           |
| Metakognitive Strategien   | ★                 | ★ ★     | ★ ★ ★                       | ★ ★ ★   |                        |       | ★ ★ ★ ★               |         |                   |   |                             |     |                        |       |                       |         |           |
| <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>⊙</td> <td>nicht beobachtbar</td> <td>★</td> <td>überwiegend nicht vorhanden</td> <td>★ ★</td> <td>unzureichend vorhanden</td> <td>★ ★ ★</td> <td>überwiegend vorhanden</td> <td>★ ★ ★ ★</td> <td>vorhanden</td> </tr> </table> |                   |         |                             |         |                        |       |                       | ⊙       | nicht beobachtbar | ★ | überwiegend nicht vorhanden | ★ ★ | unzureichend vorhanden | ★ ★ ★ | überwiegend vorhanden | ★ ★ ★ ★ | vorhanden |
| ⊙  | nicht beobachtbar | ★       | überwiegend nicht vorhanden | ★ ★     | unzureichend vorhanden | ★ ★ ★ | überwiegend vorhanden | ★ ★ ★ ★ | vorhanden         |   |                             |     |                        |       |                       |         |           |

Abbildung 1: Vier simulierte Lernende mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen beim mathematischen Beweisen und Argumentieren als Grundlage für die Erstellung geskripteter Videosequenzen für die Simulation Visit-Math (Codreanu, 2021a, S. 38)

Für eine möglichst hohe Vergleichbarkeit zwischen den vier simulierten Lernenden arbeiteten diese in den Videosequenzen an der gleichen Beweisaufgabe in der Geometrie. Auf Basis dieser vergleichbaren Aufgabensituation sollten in der Simulation die Unterschiede in den Voraussetzungen der zu diagnostizierenden Schüler\*innen salient werden.

Weiterhin wurden für jeden simulierten Lernenden deren Aufgabenbearbeitungen in je insgesamt acht Videoclips aufgeteilt. Jeder Videoclip hatte eine Dauer von ca. 1 Minute und über den Zeitverlauf der acht Videos wurden die jeweiligen Argumentations- und Beweiskompetenzen der simulierten Lernenden zunehmend salient. Die Rolle der schauspielenden Lehrkraft blieb dabei über die Clips hinweg konstant: jeder Clip startete mit der Bitte an die jeweiligen Lernenden, den bisherigen Bearbeitungsverlauf der Aufgabe zu erklären.

Die Skriptrealisierung und Produktion der Videosequenzen erfolgte nach den bisher publizierten Empfehlungen zur Realisierung geskripteter Videosequenzen für die Lehrkräftebildung (Dieker et al., 2009; Piwowar et al., 2018; Seidel et al., 2022). Die final erstellten Videosequenzen wurden von vier externen Expert\*innen im Bereich Mathematikdidaktik geprüft und von drei weiteren Expert\*innen aus dem Forschungsteam entlang der dargestellten Kategorien (siehe Abbildung 1) einem Rating unterzogen. Zudem validierten drei weitere Studierende die Simulation in Bezug auf Authentizität und Verständlichkeit der Aufgabenstellungen. Die Expert\*innenratings entsprachen im Wesentlichen den im Produktionsprozess intendierten Ausprägungen für die einzelnen schauspielenden Lernenden und dienten als Grundlage für spätere Kodierungen und Messungen der in der Simulation erreichten Diagnoseakkuratheit (Übereinstimmung mit Expert\*innenratings für die vier zu diagnostizierenden Lernenden).

### **2.2.2 Integration der Videosequenzen in das Design der Simulationsumgebung**

Die Simulation Visit-Math besteht in der Grundstruktur aus vier Teilen (Co-dreanu, 2021a). Sie startet mit einer Einführung und Kontextualisierung: Nutzer\*innen der Simulation werden aufgefordert, die Rolle einer Assistenz für eine Lehrperson einzunehmen mit dem Auftrag, vier Lernende genauer zu beobachten und deren mathematische Argumentations- und Beweiskompetenzen zu diagnostizieren. In der Rahmenhandlung der Simulation möchte die Lehrperson diesen vier Lernenden im weiteren Verlauf des Unterrichts gezielte Unterstützungen (z. B. durch zusätzliche Aufgabenstellungen) anbieten. Im zweiten Teil der Simulation werden die Nutzer\*innen technisch und inhaltlich mit den Anforderungen vertraut gemacht. Sie erhalten auch zur Aktivierung ihres mathematikdidaktischen Wissens eine Kurzzusammenfassung zu den Themen mathematisches Basiswissen, Methodenwissen und Problemlösestrategien (vgl. Abbildung 2). Im dritten Teil der

Simulation erfolgt die Realisierung des diagnostischen Prozesses. Hier setzen die Nutzer\*innen die Aufgabe um, die vier Lernenden bezüglich ihrer Argumentations- und Beweiskompetenzen zu diagnostizieren. Der Diagnoseprozess erfolgt in mehreren Zyklen. Jeder Zyklus startet mit der Beobachtung eines ersten Videoclips, in dem die Lehrperson mit einem der vier Lernenden interagiert und sich nach dem Bearbeitungsstand erkundigt. Die verbalen und non-verbalen Erklärungen (z. B. Deuten auf Zeichnungen) des jeweiligen Lernenden dienen als Grundlage für den diagnostischen Prozess. Im ersten Zyklus beobachten die Nutzer\*innen die jeweils ersten Videoclips der vier Lernenden nacheinander. Während der Beobachtung werden die Nutzer\*innen aufgefordert, sich zu ihrem diagnostischen Prozess in einem Freitextfenster schriftliche Notizen zu machen, die sie für die finale Erstellung eines schriftlichen Diagnoseberichts für die Lehrperson nutzen können. Am Ende des ersten Zyklus entscheiden die Proband\*innen, für welche der vier Lernenden sie weitere Videoclips beobachten möchten. Je nach Entscheidung stehen ihnen im nächsten Zyklus die nächsten Videoclips der ausgewählten Lernenden zur Verfügung. Um den Zeitrahmen für die Bearbeitung zu strukturieren und auch eine authentische Begrenztheit der zeitlichen Ressourcen einer Lehrperson zu simulieren, werden die Nutzer\*innen bereits bei der Einführung instruiert, nur so viele Videos wie nötig anzusehen. Zudem werden sie informiert, dass ihnen ein Maximum von insgesamt 20 nutzbaren Videoclips zur Verfügung steht. Wie sie diese auf die Videoclips der vier Lernenden verteilen, bleibt ihnen offen gestellt. Sobald die Nutzer\*innen der Meinung sind, dass sie nun bereit sind für die finalen Diagnosen, gehen sie über in den vierten Teil der Simulation.

Im vierten Teil erfolgt abschließend die Erstellung eines schriftlichen Diagnoseberichts für jeden der vier Lernenden. Dabei können die Nutzer\*innen auf ihre während des Diagnoseprozesses erstellten Notizen zurückgreifen und diese als Textbausteine nutzen. Nach Erstellung der Diagnoseberichte werden die Nutzer\*innen gebeten, für verschiedene Subaspekte der drei Dimensionen Basiswissen, Methodenwissen und Problemlösestrategien auf einer vierstufigen Likert-Skala Ausprägungen für jeden der vier Lernenden einzuschätzen. Diese Einschätzungen werden abgeglichen mit den Expert\*innenratings (Treffer, kein Treffer) und ein Übereinstimmungsmaß als Diagnoseakkuratheit berechnet.

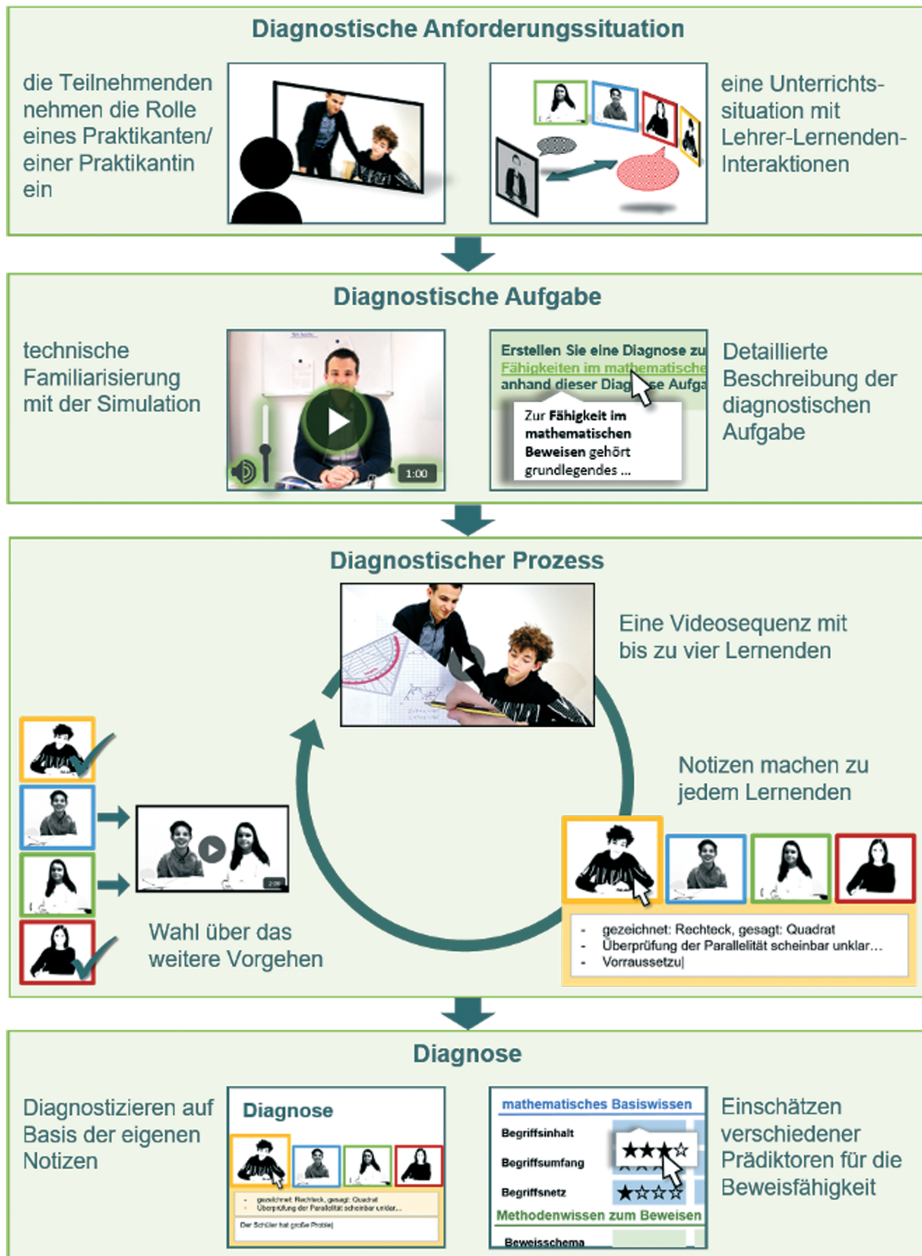


Abbildung 2: Struktur und Ablauf der Simulation Visit-Math (eigene Darstellung).

### 2.2.3 Empirische Untersuchungen zur Validierung der Simulation

Zur Validierung erfolgte die Durchführung mehrerer empirischer Studien. Als erstes erfolgte eine Pilotierungsstudie mit Befragung von vier ausgewählten Expert\*innen der Mathematikdidaktik und der videobasierten Lehrkräfteforschung zur Realisierung der geskripteten Videosequenzen und deren Implementation im Design der Simulation. Darüber hinaus wurden die anvisierten Nutzer\*innen in einer ersten Studie bestehend aus  $N = 28$  Lehramtsstudierenden in der universitären Lehrkräftebildung, zu ihren Wahrnehmungen und Erfahrungen mit der Simulation befragt. Kriterien für die Realisierung einer gelungenen authentischen Praxisrepräsentation bildeten die wahrgenommene Authentizität der Simulation (Schubert et al., 2001), die erlebte Involviertheit (Vorderer et al., 2004) und der persönliche Wert (Wigfield & Eccles, 2000) der simulierten Aufgabenstellung als Indikator für Motivation (Codreanu et al., 2020). Diese wurden mittels Fragebogenskalen im Likert-Format erfasst, die von den Nutzer\*innen im Anschluss an die Simulationsbearbeitung eingeschätzt wurden. Als Kriterien für eine valide Realisierung der kognitiven Anforderungen erfolgten Auswertungen des Diagnoseprozesses und der Diagnoseakkuratheit für die vier simulierten Lernenden auf Basis der Vergleiche zwischen intendierten und realisierten Messungen (Codreanu et al., 2020; Codreanu et al., 2021b). Dazu wurde unter anderem geprüft, ob die Nutzer\*innen die übergeordneten Rangreihen der vier Lernenden bezüglich deren Argumentations- und Beweiskompetenzen korrekt einschätzen konnten, sowie eine Analyse der diagnostischen Fähigkeiten für jeden der vier Lernenden entlang der fokussierten mathematikdidaktischen Dimensionen durchgeführt (Basiswissen, Methodenwissen, Problemlösestrategien).

Die empirischen Ergebnisse verweisen insgesamt auf eine recht positive Einschätzung der Simulation durch die Nutzer\*innen (zusammenfassend aus Codreanu, 2021a; Codreanu et al., 2020; Codreanu, 2021b). Die Simulation sowie die Videosequenzen werden als authentische Praxisrepräsentationen wahrgenommen. Darüber hinaus berichten die Nutzer\*innen über eine hohe kognitive Involviertheit und eine positive Motivation durch Erkennen eines hohen persönlichen Werts der Nützlichkeit der Simulation für die Ausbildung als Lehrperson. Bezüglich der kognitiven Anforderungen verdeutlichen die empirischen Analysen ebenfalls eine gelungene Realisierung der Simulation. Lehramtsstudierende können nach anfänglichen Kursen in der Fachdidaktik im Wesentlichen die Rangreihen der vier simulierten Lernenden bezüglich deren mathematischer Argumentations- und Beweiskompetenzen korrekt bestimmen. Relativ zu den intendierten Schwierigkeiten bei den drei fokussierten Dimensionen und den simulierten Unterschieden zwischen den vier Lernenden zeigt sich eine hohe Trefferquote. Dimensionen und Ausprägungen bei den vier Lernenden, die aufgrund theoretischer Erwartun-

gen schwieriger zu diagnostizieren waren, zeigten sich auch empirisch schwieriger zu diagnostizieren. Leichter zu diagnostizierende Dimensionen und Unterschiede zwischen Lernenden gingen auch empirisch mit einer höheren Diagnoseakkuratesse und entsprechenden Diagnoseprozessen einher.

## **2.3 Zentrale Ergebnisse zur instruktionalen Optimierung der Simulation**

Die bisherigen Ausführungen zu Visit-Math beziehen sich auf das Design und die Struktur einer ersten Grundversion der Simulation (im Folgenden als Originalversion bezeichnet). In weiteren Studien wurden im Projekt Visit-Math Fragen der instruktionalen Optimierungen geklärt. Dazu erfolgten in einem ersten Schritt Analysen der Lernvoraussetzungen der Nutzer\*innen bezüglich ihres fachdidaktischen Wissens, ihrer Studienmotivation, ihres Selbstwirksamkeitserlebens während der Bearbeitung der Simulation sowie deren Lernaktivitäten bei der Bearbeitung der Aufgabenstellungen während der Simulation. Außerdem wurden in einem zweiten Schritt verschiedene instruktionale Unterstützungsmaßnahmen, wie sie sich in anderen Feldern der Instruktionspsychologie bewährt haben, auf die Simulation für die Lehrkräftebildung übertragen und deren Wirksamkeit weiter empirisch geprüft (Derry et al., 2014).

### **2.3.1 Lernvoraussetzungen und Lernaktivitäten während der Simulation als Grundlage für instruktionale Optimierungen**

Als Grundlage für weitere adaptiv an die Lernenden angepasste instruktionale Unterstützungen für die Simulation erfolgten im Projekt eine Reihe von Analysen zu den Lernvoraussetzungen und zur Rekonstruktion der Lernaktivitäten während der Simulationsbearbeitung.

Mit Blick auf die Lernvoraussetzungen wurden in einer Studie mit  $N=150$  Lehramtsstudierenden mit Unterrichtsfach Mathematik latente Lernprofilanalysen durchgeführt (Nickl et al., 2022). Als Kriterien wurden die professionelle Wissensbasis in Form des fachdidaktischen und fachlichen Wissens, das Interesse bezüglich der in der Simulation repräsentierten Gegenstandsbereiche (Diagnose von Lernenden, Geometrie, Mathematikdidaktik) (Rotgans & Schmidt, 2014), die Selbstwirksamkeit bezüglich der in der Simulation geforderten Diagnosekompetenzen (Kunter et al., 2002), sowie selbst eingeschätzte Selbstregulationsfähigkeiten (Kunter et al., 2016) herangezogen.

Die latente Profilanalyse zeigte, dass sich die Datenstruktur der Proband\*innen empirisch am besten durch drei Profile beschreiben ließ (Abbildung 3). Eine Gruppe von Studierenden zeichnete sich durch eine überdurchschnittlich hohe professionelle Wissensbasis (fachdidaktisches und fachliches Wissen) und durchschnittlich ausgeprägte motivational-affektive Lernvoraussetzungen (Interesse,

Selbstwirksamkeit, Selbstregulation) aus (40 % der Proband\*innen). Die zweite Gruppe hatte eine durchschnittlich ausgeprägte Wissensbasis, aber vergleichsweise hohe positive motivational-affektive Voraussetzungen (motiviertes Profil, 25 %). Eine dritte Gruppe zeichnete sich durch ein über alle Lernvoraussetzungen hinweg unterdurchschnittlich ausgeprägtes Profil aus (potentiell gefährdetes Profil, 35 %).

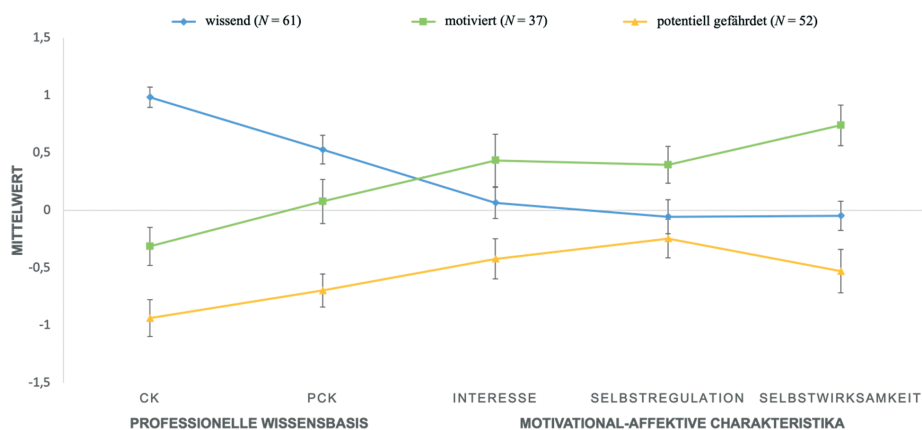


Abbildung 3: Lernvoraussetzungen für die Bearbeitung der Simulation Visit-Math (Nickl et al., 2022, S. 13).

Zur weiteren Validierung wurde untersucht, welche Lernaktivitäten sich für die Proband\*innengruppen mit unterschiedlichen Voraussetzungen in der Bearbeitung der Simulation nachzeichnen ließen (Nickl et al., 2022). Dabei zeigte sich, dass das potentiell gefährdete Profil im Vergleich zu den anderen beiden Profilen die geringste Erfolgserwartung aufwies und sich am wenigsten intensiv mit der Bearbeitung der Simulation beschäftigte (z. B. über die Anzahl der genutzten und beobachteten Videoclips). In der Tendenz erlebten Proband\*innen mit einem wissenden Profil am stärksten einen positiven persönlichen Wert (als Indikator für Motivation) in der Bearbeitung der Simulation und berichteten über eine relativ hohe lernbezogene kognitive Belastung. Das motivierte Profil zeichnete sich im Vergleich insbesondere durch besonders hohe Erfolgserwartungen während der Simulationsbearbeitung aus. Alle drei Gruppen erlebten die Simulation in ähnlich positiver Weise als authentische und involvierende Lernumgebung.

In einer zweiten Studie wurden die schriftlichen Notizen während der Simulationsbearbeitung zur Rekonstruktion der Lernaktivitäten einer vertiefenden Analyse unterzogen (Radkowitz et al., 2023). Kriterium war hierbei, ob die Proband\*innen wichtige mathematikdidaktische Aspekte erkannt haben (Noticing) und wie sie ihre Beobachtungen auf Basis ihres bislang erworbenen professionellen Wissens einordnen (Reasoning). Diese Kriterien sind wichtige Elemente des

Professional Vision Modells für Lehrpersonen (Seidel & Stürmer, 2014) und dessen Anwendung auf Simulationen für die Lehrkräftebildung (Kramer et al., 2021; Kramer et al., 2020). Beim Reasoning wurde differenziert zwischen der Fähigkeit, professionelles Wissen zur Beschreibung und Erklärung der beobachteten Situation heranzuziehen, sowie der Fähigkeit, auf Basis der Beobachtungen zu Vorschlägen für alternative Handlungsweisen zu gelangen (Entscheiden). Um dies zu messen, erfolgte die Segmentierung der schriftlichen Notizen während der Simulationsbearbeitung von  $N = 210$  Studierenden in Sinneinheiten (in der Regel einzelne Sätze oder Satzsegmente). Für jede Sinneinheit kodierten zwei unabhängige Personen auf Basis eines in einer vorherigen Studie entwickelten Kodiermanuals (Codreanu et al., 2021b) entlang der Kategorien des Beschreibens, Erklärens und Entscheidens. Die Kodierenden erzielten dabei zufriedenstellende Übereinstimmungen (Durchschnitt Cohen's Kappa = .72).

In einem nächsten Schritt wurden latente Profilanalysen (Bakk & Vermunt, 2016) für die kodierten Daten angewandt. Es zeigte sich, dass diese am besten durch vier Profile beschrieben werden konnten (Abbildung 4). Proband\*innen im ersten Profil (68 %) zeichneten sich durch unterdurchschnittliche Werte in allen drei Dimensionen (Beschreiben, Erklären, Entscheiden) aus. Die hohen Anteile von Lehramtsstudierenden in diesem Profil sind durchaus typisch und Ausdruck einer noch wenig entwickelten Professional Vision bei Lehranfänger\*innen (Farrell et al., 2022; Stürmer et al., 2016). Im zweiten Profil wurden verhältnismäßig ausgeprägt detaillierte Beschreibungen und Erklärungen der beobachteten Situationen genannt, mit vergleichsweise geringen Häufigkeiten in der Kategorie Entscheiden (8 %). Das dritte Profil weist dagegen eher durchschnittliche Werte beim Beschreiben und Erklären auf, dafür aber besonders ausgeprägte Angaben zu alternativen Handlungsoptionen (Entscheiden) (8 %). Die schriftlichen Notizen der Proband\*innen mit dem vierten Profil (16 %) beinhalteten Aspekte aller drei kodierten Dimensionen in verhältnismäßig ausgeglichener Weise (balanciertes Profil).

Die weitere Validierung der Profile verdeutlichte, dass Lehramtsstudierende mit dem zweiten Profil (vergleichsweise viele Beschreibungen und Erklärungen) besonders viele Videosequenzen genutzt und beobachtet haben und im Vergleich die höchste Diagnoseakkuratheit erreichen (Abbildung 5). Eine ähnlich hohe Diagnoseakkuratheit erreichten aber auch Studierende mit einem balancierten Profil. Dagegen hatten Proband\*innen mit dem ersten, eher unterentwickelten Professional Vision Profil die geringsten Häufigkeiten in der Anzahl beobachteter Videoclips und erreichten im Vergleich eine geringere Diagnoseakkuratheit. Bei den beiden erstgenannten Profilen mit verhältnismäßig hoher Diagnoseakkuratheit (balanciert, beschreibend/erklärend) ist interessant, dass die Studierenden im balancierten Profil das höchste fachliche Wissen aufwiesen. Im Verhältnis dazu war das fachliche Wissen der Studierenden mit dem zweiten Profil am niedrigsten ausgeprägt.

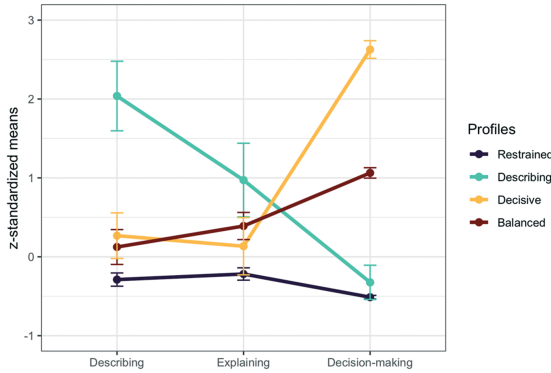


Abbildung 4: Profile von Lernaktivitäten während der Simulationsbearbeitung mit Bezug zu Professional Vision (Radkowsch et al., 2023, S. 10)

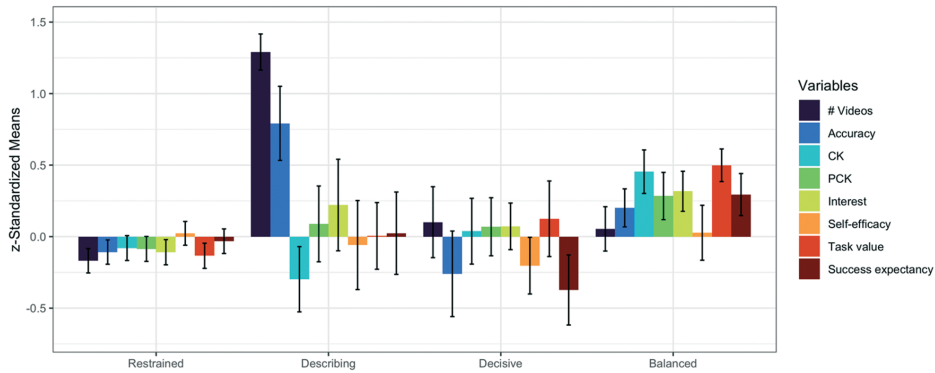


Abbildung 5: Profile für Lernaktivitäten während der Simulation mit Bezug zu weiteren Lernendenmerkmalen (Radkowsch et al., 2023, S. 11)

Tentativ könnte man vermuten und weiter untersuchen, welche Diagnosestrategien Studierende mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen in Simulationen einsetzen. Beispielsweise könnte es sein, dass Studierende mit dem zweiten Profil durch hohe Lernaktivitäten beim Beschreiben und Erklären und damit Sammeln von Informationen ihr im Vergleich niedriger ausgeprägtes fachliches Wissen kompensieren konnten, mit dem Ergebnis einer vergleichbaren Diagnoseakurtheit wie bei Studierenden mit verhältnismäßig hohem fachlichem Vorwissen. Keine wesentlichen Differenzen zwischen den Profilen gab es bei fachdidaktischem Wissen, Interesse, Selbstwirksamkeit und den Erfolgserwartungen.

### 2.3.2 Optimierung der Simulation durch adaptive instruktionale Unterstützung

Neben der Anwendung personenzentrierter Ansätze für Profilanalysen der Lernvoraussetzungen und Lernaktivitäten bei der Bearbeitung der Simulation wurden im Projekt Visit-Math verschiedene evidenzbasierte Unterstützungsmaßnahmen aus der Instruktionsforschung auf den Kontext von Simulationen in der Lehrkräftebildung übertragen und deren Wirksamkeit geprüft. Insbesondere wurde die Wirksamkeit verschiedener Prompts als zusätzliche Unterstützung während der Simulationsbearbeitung untersucht.

Mit Blick auf die unterschiedlichen Voraussetzungen von Lehramtsstudierenden bezüglich ihres fachdidaktischen Wissens gab es begründete Annahmen, dass Prompts die Anwendung und Nutzung dieses Wissens während der Simulationsbearbeitung positiv beeinflussen. Für Studierende mit wenig ausgeprägtem fachdidaktischen Vorwissen wurde angenommen, dass konzeptuelle Prompts, die gezielt einzelne Wissensdimensionen ansprechen (z. B. das für einen Videoclip zu beobachtende Basiswissen, Methodenwissen oder Problemlösestrategie), eine unterstützende Wirkung mit Blick auf die zu erreichende Diagnoseakkuratheit haben. Dagegen sollten verknüpfende Prompts insbesondere wirksam sein für Studierende mit fortgeschrittener fachdidaktischer Wissensbasis. Diese Prompts unterstützen den gezielten Abgleich von mindestens zwei der drei fokussierten Dimensionen in der Simulation Visit-Math (z. B. Beobachtung von dem vorhandenen Basiswissen in Kombination mit Methodenwissen oder Problemlösestrategien).

Die Wirksamkeit dieser beiden Prompt-Varianten wurde in einer experimentellen Studie mit  $N=59$  Lehramtsstudierenden mit Unterrichtsfach Mathematik untersucht (Sommerhoff et al., 2023). Die Proband\*innen wurden zufällig drei Bedingungen (Kontrollgruppe, Konzeptuelle Prompt Intervention, Verknüpfende Prompt Intervention) zugeteilt. Für diese Studie diagnostizierten die Proband\*innen zu drei Messzeitpunkten (Vortest, Intervention und Nachtest) je zwei Lernende aus der Originalversion mit den vier simulierten Lernenden. Für die beiden Lernenden konnten im Vor- und Nachtest bis zu acht Videoclips genutzt werden. Das obere Limit für die Anzahl maximal nutzbarer Videoclips wurde für diese Studie im Vor- und Nachtest auf 10 begrenzt (Originalversion: 20 für vier Lernende). Als abhängige Variablen dienten die Diagnoseakkuratheit während der Intervention und die erzielte Akkuratheit im Vor- und Nachtest. Die Ergebnisse dieser Interventionsstudie zeigten einen Vorteil der konzeptuellen Prompts zur gezielten Wissensaktivierung einzelner Dimensionen mit Auswirkungen auf die erzielte Diagnoseakkuratheit. Studierende in der Bedingung mit zusätzlich bereitgestellten konzeptuellen Prompts zur Aktivierung einzelner fachdidaktischer Wissensdimensionen erreichten eine höhere Akkuratheit sowohl während der In-

tervention als auch in der Entwicklung von Vor- auf Nachtest. Die verknüpfenden Prompts erwiesen sich im Vergleich zur anderen Prompt-Bedingung und der Kontrollgruppe nicht als zusätzlich unterstützend. Weitere explorative Analysen, insbesondere unter Berücksichtigung des fachdidaktischen Wissens, verdeutlichten, dass vor allem Studierende mit vergleichsweise hoch ausgeprägtem fachdidaktischem Wissen von den verknüpfenden Prompts profitierten. Die Ergebnisse deuten damit darauf hin, dass der Einsatz unterschiedlicher Prompts in Simulationen für die Lehrkräftebildung in Abhängigkeit des bereits erworbenen fachdidaktischen Wissens erfolgen sollte. Studierende mit geringem Vorwissen scheinen eher von gezielten konzeptuellen Aktivierungen einzelner Wissens Elemente zu profitieren, während Studierende mit fortgeschrittenerem Vorwissen Vorteile durch gezielte Unterstützungen in der Verknüpfung mehrerer Wissens Elemente erreichen.

Eine zweite Studie zur Prüfung der Wirksamkeit instruktorischer Maßnahmen beschäftigte sich insbesondere mit der Unterstützung kognitiver und motivationaler Voraussetzungen für die Simulationsbearbeitung (Nickl et al., 2023). Gerade in der Lehramtsausbildung verfügen Studierende häufig über eine gering ausgeprägte Motivation in Bezug auf die Nützlichkeit der zu erwerbenden professionellen Wissensbasis und wünschen sich weniger Vermittlung konzeptuellen Wissens und eine stärkere Praxisbetonung im Studium (Alles et al., 2019). Natürlich bieten Simulationen für die Lehrkräftebildung bereits eine Lernumgebung, die einen stärkeren Praxisbezug durch die Integration der Videosequenzen zu Interaktionen von Lehrkräften und Schüler\*innen beim mathematischen Beweisen und Argumentieren herstellt. Allerdings deuteten die Profilanalysen auch darauf hin, dass es eine Gruppe von Studierenden gibt, die sich auch im Bereich der wahrgenommenen persönlichen Nützlichkeit (Wertkomponente der Motivation) der Simulationsbearbeitung schwertut. Vor diesem Hintergrund wurde mit Bezug zu den Themen der Simulation eine sogenannte Utility-Value Intervention entwickelt und wichtige bisher als wirksam erwiesene Komponenten solcher Interventionen aus der Motivationsforschung für diesen Simulationskontext angewandt (Hulleman & Harackiewicz, 2021). Diese motivational unterstützende Instruktionsmaßnahme wurde kombiniert mit der erfolgreichen Integration konzeptueller Prompts. Die Fragestellung, ob und in welchen Kombinationen dieser beiden Interventionsmaßnahmen wirksame Ergebnisse mit Blick auf die erreichten Diagnosekompetenzen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe erzielt werden, war die Grundlage für eine weitere experimentell angelegte Studie mit  $N=108$  Lehramtsstudierenden. Die Studierenden wurden randomisiert vier verschiedenen Bedingungen zugeordnet (Kontrollgruppe, Prompt Intervention, Utility-Value Intervention, beide Interventionen). Eine Woche vor der Intervention bearbeiteten die Studierenden die Simulation als Vortest in der gleichen Version wie in der ersten Intervention beschrieben (Original mit zwei zu diagnostizierenden Lernenden). Eine Woche später erfolgte die Intervention mit anschließender Durchführung des Nachtests.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten erneut positive Wirkungen der konzeptuellen Prompt-Bedingung auf die Entwicklung der Diagnoseakkuratheit. Die Utility-Value Intervention zeigte für die Entwicklung der Diagnoseakkuratheit sowohl als alleinstehende Bedingung als auch in der kombinierten Variante keine erhöhte Wirksamkeit. Vermittelt über die Förderung der Motivation konnten folglich keine Zuwächse in den gezeigten Diagnosekompetenzen erreicht werden. Besonders interessant war, dass in der kombinierten Variante beider Interventionsmaßnahmen die niedrigsten Lernentwicklungen von Vor- zu Nachtest zu verzeichnen waren. Zusätzlich durchgeführte explorative Analysen deuteten dann darauf hin, dass die Erfolgserwartung der Studierenden eine moderierende Rolle spielte. Studierende mit niedriger Erfolgserwartung profitierten am stärksten von den konzeptuellen Prompts, während Studierende mit hoher Erfolgserwartung von der Utility-Value Intervention profitierten.

Auch mit der zweiten Studie konnte die Wirksamkeit der konzeptuellen Prompts zur Wissensaktivierung nachgewiesen und damit Grundlagen für Optimierungen der Simulation geschaffen werden. Für die motivationale Förderung deuten die Ergebnisse sehr tentativ darauf hin, dass Utility-Value Interventionen für ausgewählte Studierendengruppen in Betracht gezogen werden können (z. B. solche mit hohen Erfolgserwartungen, die durch die Intervention einen zusätzlichen Boost erhalten).

### **3. Zusammenfassung und Ausblick**

Mit dem Projekt Visit-Math erfolgte eine evidenzbasierte Entwicklung, Validierung und Optimierung einer videobasierten Simulation für die Lehrkräftebildung. Insbesondere die universitäre Lehrkräftebildung sollte von dieser Art von Simulation profitieren. Es wurde die Möglichkeit genutzt, empirische Evidenz aus der Mathematikdidaktik zu typischen Problemlagen bei Schüler\*innen beim Beweisen und Argumentieren für die Gestaltung und Realisierung von simulierten Lernen anzuwenden. Mit der Simulation sollten authentische und dennoch komplexitätsreduzierte Lerngelegenheiten zu relevanten Kernpraktiken des Unterrichts generiert werden (Fischer et al., 2022; Grossman et al., 2018; Seidel et al., 2021). Zudem folgten das Design und die Struktur der Simulation wichtigen evidenzbasierten Kriterien der Instruktionsforschung durch sorgfältige Pilotierung und Validierung der anvisierten Lernprozesse und Lernentwicklungen im Bereich der Diagnosekompetenzen angehender Lehrpersonen.

Zusammenfassend zeigen die empirischen Studien des sechsjährigen Projekts, dass Lehramtsstudierende vom praxisorientierten und evidenzbasierten Lernen in der Simulation profitierten. Die Simulation war unabhängig von den Lernvoraussetzungen der Studierenden für alle motivierend und kognitiv aktivierend. Damit scheint das Ziel, eine gute Relation zwischen authentischer Praxisapproximation

und Dekomposition komplexer Lerninhalte aus der Mathematikdidaktik erreicht worden zu sein. Die Integration von Videosequenzen in die Simulation hat sich dabei als durchaus erfolgreich erwiesen, vor allem auch mit Blick auf die noch relativ selten praktizierte Realisierung von geskripteten Videosequenzen mit schauspielenden Schüler\*innen sowie einer Lehrperson. Allerdings ist hier auch zu berücksichtigen, dass der Aufwand für diese Art von Videoproduktionen relativ hoch ist, insbesondere auch mit Blick auf die Einbindung realer Lernender aus dem Schulkontext. Die Schüler\*innen, die sich bereit erklärt haben, an der Videoproduktion mitzuwirken, haben dies freiwillig und in ihrer Freizeit getan. Für weitere Forschungsarbeiten ist es deshalb interessant, weiter zu erkunden, inwieweit auch über digitale Avatare entsprechend authentisch wirkende Praxisrepräsentationen produziert werden können. Insbesondere aktuelle KI-Entwicklungen im Bereich der Text-to-Speech oder Text-to-Video Integration bieten für die Gestaltung von Simulationen für die universitäre Bildung interessante Perspektiven. Diese müssen aber systematisch erforscht und mit Blick auf entwickelte Qualitätskriterien für Videoproduktionen weiter geprüft werden (Dieker et al., 2009; Piwowar et al., 2018; Seidel et al., 2022).

Neben der Tatsache, dass bereits die Grundversion der Simulation Visit-Math vielen Kriterien der Instruktionspsychologie in positiver Weise entsprach, hat das Projekt auch zur Weiterentwicklung dieses Forschungsfelds in Fragen der Optimierungen beigetragen. In der Anwendung von Prompts zur Wissensaktivierung und -verknüpfung, insbesondere für das besonders relevante fachdidaktische Wissen angehender Lehrpersonen, hat sich die Wirksamkeit wissensaktivierender Prompts auch für diesen Anwendungskontext erwiesen. Allerdings sind, wie auch in anderen Feldern der Instruktionspsychologie, die Lernvoraussetzungen der Nutzer\*innen einer Simulation zu berücksichtigen und die unterstützenden Prompts in Abhängigkeit der individuellen Voraussetzungen einzusetzen (Plass & Pawar, 2020). Weitere Forschungsstudien, auch in diesem Projekt, zielen derzeit darauf ab, den Lernprozess bei der Simulationsbearbeitung mikroadaptiv zu unterstützen (Nickl et al., 2024). Dies setzt fortlaufende Auswertungen der Lernaktivitäten im Simulationsprozess voraus. Auch hier erfolgen derzeit eine Reihe explorativer Prüfungen der Anwendung KI-basierter Verfahren, beispielsweise im Bereich des Machine Learning, Deep Learning und des Natural Language Processing.

In diesem Kapitel wurden die zentralen Zielstellungen und erzielten Ergebnisse des Projekts Visit-Math zusammenfassend dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Projekt eingebettet war in die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Forschungsgruppe Cosima (FOR 2385). In dieser Forschungsgruppe sind eine Reihe von Simulationen sowohl für die Lehrkräftebildung als auch die Ausbildung von Mediziner\*innen entstanden, die eine besondere Grundlage für weiterführende Forschungsarbeiten bieten. Einen besonderen Vorteil bie-

tet das gemeinsam realisierte Rahmenmodell, in denen eine Vielzahl von Studien Fragen des Einflusses von Lernvoraussetzungen auf Lernprozesse und -ergebnisse, aber auch die Wirksamkeit ähnlich gestalteter instruktorischer Maßnahmen (z. B. im Bereich der Prompts und des Scaffolding) untersuchten (Heitzmann et al., 2019). Diese Ergebnisse werden derzeit zusammenfassend für die Forschungsgruppe integriert und meta-analytischen Untersuchungen zur Wirksamkeit unterzogen.

## Literatur

- Aktionsrat Bildung (Hrsg.). (2022). *Bildung und Resilienz*. Waxmann.
- Alles, M., Apel, J., Seidel, T., & Sturmer, K. (2019). How candidate teachers experience coherence in university education and teacher induction: The influence of perceived professional preparation at university and support during teacher induction. *Vocations and Learning*, 12(1), 87–112. <https://doi.org/10.1007/s12186-018-9211-5>
- Artelt, C., & Gräsel, C. (2009). Diagnostische Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23(34), 157–160. <https://doi.org/10.1024/1010-0652.23.34.157>
- Bakk, Z., & Vermunt, J. K. (2016). Robustness of stepwise latent class modeling with continuous distal outcomes. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 23(1), 20–31. <https://doi.org/10.1080/10705511.2014.955104>
- Barber, H. (1992). Developing strategic leadership: The US army war college experience. *Journal of Management Development*, 11(6), 4–12.
- Bauer, J., Diercks, U., Rösler, L., Möller, J., & Prenzel, M. (2012). Lehramtsstudium in Deutschland: Wie groß ist die strukturelle Vielfalt? *Unterrichtswissenschaft*, 40, 101–120.
- Bauer, J., & Möller, J. (2023). Lernumwelten Lehramtsstudierender. Zu Studienstrukturen und -inhalten in der PaLea-Stichprobe. In T. Kauper, A. Bernholt, J. Möller, & O. Köller (Hrsg.), *PaLea: Professionelle Kompetenzen und Studienstrukturen im Lehramtsstudium* (S. 89–108). Waxmann.
- Bauer, J., & Prenzel, M. (2012). European teacher training reforms. *Science*, 336(6089), 1642–1643. <https://doi.org/10.1126/science.1218387>
- Belland, B. R., Glazewski, K. D., & Richardson, J. C. (2011). Problem-based learning and argumentation: Testing a scaffolding framework to support middle school students' creation of evidence-based arguments. *Instructional Science*, 39, 667–694. <https://doi.org/10.1007/s11251-010-9148-z>
- Chernikova, O., Heitzmann, N., Stadler, M., Holzberger, D., Seidel, T., & Fischer, F. (2020). Simulation-based learning in higher education: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 90(4), 499–541, Article 0034654320933544. <https://doi.org/10.3102/0034654320933544>
- Chernikova, O., Holzberger, D., Heitzmann, N., Stadler, M., Seidel, T., & Fischer, F. (2024). Where salience goes beyond authenticity: A meta-analysis on simulation-based learning in higher education. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 38 (1–2), 15–25. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000357>

- Cochran-Smith, M., & Zeichner, K. M. (Hrsg.). (2005). *Studying teacher education: The report of the AERA Panel on research and teacher education*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Codreanu, E. (2021a). *Approximating practice* [Dissertation, Technische Universität München]. mediaTUM. <http://mediatum.ub.tum.de.eaccess.ub.tum.de/?id=1609556>
- Codreanu, E., Huber, S., Reinhold, S., Sommerhoff, D., Neuhaus, B. J., Schmidmaier, R., Ufer, S., & Seidel, T. (2022). Diagnosing mathematical argumentation skills: A video-based simulation for pre-service teachers. In F. Fischer & A. Opitz (Hrsg.), *Learning to diagnose with simulations: Examples from teacher education and medical education* (S. 33–47). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-89147-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-89147-3_4)
- Codreanu, E., Sommerhoff, D., Huber, S., Ufer, S., & Seidel, T. (2020). Between authenticity and cognitive demand: Finding a balance in designing a video-based simulation in the context of mathematics teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 95, 103146. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2020.103146>
- Codreanu, E., Sommerhoff, D., Huber, S., Ufer, S., & Seidel, T. (2021b). Exploring the process of preservice teachers' diagnostic activities in a video-based simulation [Original Research]. *Frontiers in Education*, 6(133). <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.626666>
- Darling-Hammond, L. (2010). Teacher education and the American future. *Journal of Teacher Education*, 61(1–2), 35–47. <https://doi.org/10.1177/0022487109348024>
- Derry, S. J., Sherin, M. G., & Sherin, B. L. (2014). Multimedia learning with video. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of multi-media learning* (S. 785–812). Cambridge University Press.
- Dieker, L. A., Lane, H. B., Allsopp, D. H., O'Brien, C., Butler, T. W., Kyger, M., Lovin, L., & Fenty, N. S. (2009). Evaluating video models of evidence-based instructional practices to enhance teacher learning. *Teacher Education and Special Education*, 32(2), 180–196. <https://doi.org/10.1177/0888406409334202>
- Farrell, M., Martin, M., Renkl, A., Rieß, W., Könings, K. D., van Merriënboer, J. J. G., & Seidel, T. (2022). An epistemic network approach to teacher students' professional vision in tutoring video analysis [Original Research]. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.805422>
- Fischer, F., Bauer, E., Seidel, T., Schmidmaier, R., Radkowsitch, A., Neuhaus, B. J., Hofer, S. I., Sommerhoff, D., Ufer, S., Kuhn, J., Küchemann, S., Sailer, M., Koenen, J., Gartmeier, M., Berberat, P., Frenzel, A., Heitzmann, N., Holzberger, D., Pfeffer, J., Lewalter, D., Niklas, F., Schmidt-Hertha, B., Gollwitzer, M., Vorholzer, A., Chernikova, O., Schons, C., Pickal, A. J., Bannert, M., Michaeli, T., Stadler, M., & Fischer, M. R. (2022). Representational scaffolding in digital simulations – learning professional practices in higher education. *Information and Learning Sciences*, 123(11/12), 645–665. <https://doi.org/10.1108/ILS-06-2022-0076>
- Gröschner, A., Müller, K., Bauer, J., Seidel, T., Prenzel, M., Kauper, T., & Möller, J. (2015). Praxisphasen in der Lehrerbildung – Eine Strukturanalyse am Beispiel des gymnasialen Lehramtsstudiums in Deutschland. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 18(4), 639–665. <https://doi.org/10.1007/s11618-015-0636-4>

- Grossman, P. (2008). Responding to our critics: From crisis to opportunity in research on teacher education. *Journal of Teacher Education*, 59(1), 10–23. <https://doi.org/10.1177/0022487107310748>
- Grossman, P., Compton, C., Igra, D., Ronfeldt, M., Shahan, E., & Williamson, P. W. (2009). Teaching practice: A cross-professional perspective. *Teachers College Record*, 111(9), 2055–2100.
- Grossman, P., & McDonald, M. (2008). Back to the future: Directions for research in teaching and teacher education. *American Educational Research Journal*, 45(1), 184–205. <https://doi.org/10.3102/0002831207312906>
- Grossman, P., Schneider Kavanagh, S., & Pupik Dean, C. G. (2018). The turn towards practice-based teacher education: Introduction to the work of the Core Practice Consortium. In P. Grossmann (Hrsg.), *Teaching core practices in teacher education* (S. 1–14). Harvard Educational Press.
- Grossmann, P. (Hrsg.). (2018). *Teaching core practices in teacher education*. Harvard Educational Press.
- Heitzmann, N., Seidel, T., Opitz, A., Hetmanek, A., Wecker, C., Fischer, M., Ufer, S., Schmidmaier, R., Neuhaus, B., Siebeck, M., Stürmer, K., Obersteiner, A., Reiss, K., Girwidz, R., & Fischer, F. (2019). Facilitating diagnostic competences in simulations: A conceptual framework and a research agenda for medical and teacher education. *Frontline Learning Research*, 7(4), 1–24. <https://doi.org/10.14786/flr.v7i4.384>
- Hulleman, C. S., & Harackiewicz, J. (2021). The utility-value intervention. In G. M. Walton & A. J. Crum (Hrsg.), *Handbook of wise interventions: How social psychology can help people change* (S. 100–125). The Guilford Press.
- Knogler, M., Hetmanek, A., & Seidel, T. (2022). Determining an evidence base for particular fields of educational practice: A systematic review of meta-analyses on effective mathematics and science teaching [Systematic Review]. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.873995>
- Knogler, M., Seidel, T., Wiesbeck, A., & Mok, S. Y. (2019). Das Clearing House Unterricht. Ein Angebot zur adressatengerechten Bereitstellung wissenschaftlicher Evidenz für die Lehrer\*innenbildung. In B. Priebe, C. Mattiesson, & K. Sommer (Hrsg.), *Dialogische Verbindungslinien zwischen Wissenschaft und Schule. Theoretische Grundlagen, praxisbezogene Anwendungsaspekte und zielgruppenorientiertes Publizieren* (S. 36–49). Verlag Julius Klinkhardt.
- Kramer, M., Förtsch, C., Seidel, T., & Neuhaus, B. J. (2021). Comparing two constructs for describing and analyzing teachers' diagnostic processes. *Studies in Educational Evaluation*, 68, 100973. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2020.100973>
- Kramer, M., Förtsch, C., Stürmer, J., Förtsch, S., Seidel, T., & Neuhaus, B. J. (2020). Measuring biology teachers' professional vision: Development and validation of a video-based assessment tool [Article]. *Cogent Education*, 7(1), Article 1823155. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2020.1823155>
- Kulturministerkonferenz. (2014). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften*. KMK.

- Kunter, M., Baumert, J., Leutner, D., Terhart, E., Seidel, T., Dicke, T., Holzberger, D., Kunina-Habenicht, O., Linninger, C., Lohse-Bossenz, H., Schulze-Stocker, F., & Stürmer, K. (2016). *Dokumentation der Erhebungsinstrumente der Projektphasen des BilWiss-Forschungsprogramms von 2009 bis 2016: Bildungswissenschaftliches Wissen und der Erwerb professioneller Kompetenz in der Lehramtsausbildung (BilWiss); die Bedeutung des bildungswissenschaftlichen Hochschulwissens für den Berufseinstieg von Lehrkräften (BilWiss-Beruf ) [Scale manual of BilWiss research program from 2009 to 2016]*. Goethe-Universität.
- Kunter, M., Kunina-Habenicht, O., Baumert, J., Dicke, T., Holzberger, D., Lohse-Bossenz, H., Leutner, D., Schulze-Stocker, F., & Terhart, E. (2017). Bildungswissenschaftliches Wissen und professionelle Kompetenz in der Lehramtsausbildung. In C. Gräsel & K. Trempler (Hrsg.), *Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals: Interdisziplinäre Betrachtungen, Befunde und Perspektiven* (S. 37–54). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-07274-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-658-07274-2_3)
- Kunter, M., Schümer, G., Artelt, C., Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J., & Weiß, M. (2002). *PISA 2000: Dokumentation der Erhebungsinstrumente [PISA 2000: scale manual]. Materialien aus der Bildungsforschung: Nr. 72. Max-Planck-Inst. für Bildungsforschung*. <http://hdl.handle.net/hdl:11858/00-001M-0000-0023-9987-C>
- McDonald, M., Kazemi, E., & Kavanagh, S. S. (2013). Core practices and pedagogies of teacher education: A call for a common language and collective activity. *Journal of Teacher Education*, 64(5), 378–386. <https://doi.org/10.1177/0022487113493807>
- Möller, J., Bauer, J., & Zimmermann, F. (2023). Das Lehramtsstudium. Angebot, Nutzung, Lernergebnisse. In T. Kauper, A. Bernholt, J. Möller, & O. Köller (Hrsg.), *PaLea: Professionelle Kompetenzen und Studienstrukturen im Lehramtsstudium* (S. 7–34). Waxmann.
- Nickl, M., Huber, S. A., Sommerhoff, D., Codreanu, E., Ufer, S., & Seidel, T. (2022). Video-based simulations in teacher education: The role of learner characteristics as capacities for positive learning experiences and high performance. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00351-9>
- Nickl, M., Sommerhoff, D., Böheim, R., Ufer, S., & Seidel, T. (2023). Fostering pre-service teachers' assessment skills in a video simulation. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 38(1–2), 27–34. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000362>
- Nickl, M., Sommerhoff, D., Radkowsch, A., Huber, S. A., Bauer, E., Ufer, S., Plass, J. L., & Seidel, T. (2024). Effects of real-time adaptivity of scaffolding: Supporting pre-service mathematics teachers' assessment skills in simulations. *Learning and Instruction*, 94, 101994. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2024.101994>
- OECD. (2019). OECD Future of Education and Skills 2030. OECD Learning Compass 2030 – A series of concept notes.
- P21 Partnership for 21st Century Skills. (2019). *Framework for 21st century learning*. [http://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21\\_Framework\\_Brief.pdf](http://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21_Framework_Brief.pdf)
- Piowar, V., Barth, V. L., Ophardt, D., & Thiel, F. (2018). Evidence-based scripted videos on handling student misbehavior: The development and evaluation of video cases for

- teacher education. *Professional Development in Education*, 44(3), 369–384. <https://doi.org/10.1080/19415257.2017.1316299>
- Plass, J. L., & Pawar, S. (2020). Toward a taxonomy of adaptivity for learning. *Journal of Research on Technology in Education*, 52(3), 275–300. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1719943>
- Radkowsch, A., Sommerhoff, D., Nickl, M., Codreanu, E., Ufer, S., & Seidel, T. (2023). Exploring the diagnostic process of pre-service teachers using a simulation – A latent profile approach. *Teaching and Teacher Education*, 130, 104172. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104172>
- Rotgans, J. I., & Schmidt, H. G. (2014). Situational interest and learning: Thirst for knowledge. *Learning and Instruction*, 32, 37–50. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.01.002>
- Schubert, T., Friedmann, F., & Regenbrecht, H. (2001). The experience of presence: Factor analytic insights. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3), 266–281. <https://doi.org/10.1162/105474601300343603>
- Seidel, T., Farrell, M., Martin, M., Rieß, W., & Renkl, A. (2022). Developing scripted video cases for teacher education: Creating evidence-based practice representations using mock ups [Original Research]. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.965498>
- Seidel, T., Renkl, A., & Rieß, W. (2021). Basisdimensionen für Unterrichtsqualität im Fachkontext konkretisieren: Die Rolle von Unterrichtsartefakten und Bestimmung von Standardsituationen. *Unterrichtswissenschaft*, 49(2), 293–301. <https://doi.org/10.1007/s42010-021-00108-9>
- Seidel, T., & Stürmer, K. (2014). Modeling the structure of professional vision in pre-service teachers. *American Educational Research Journal*. <https://doi.org/10.3102/0002831214531321>
- Sommerhoff, D., Codreanu, E., Nickl, M., Ufer, S., & Seidel, T. (2023). Pre-service teachers' learning of diagnostic skills in a video-based simulation: Effects of conceptual vs. interconnecting prompts on judgment accuracy and the diagnostic process. *Learning and Instruction*, 83, 101689. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2022.101689>
- Stürmer, K., Seidel, T., & Holzberger, D. (2016). Intra-individual differences in developing professional vision: Preservice teachers' changes in the course of an innovative teacher education program. *Instructional Science*, 44(3), 293–309. <https://doi.org/10.1007/s11251-016-9373-1>
- Südkamp, A., Kaiser, J., & Möller, J. (2012). Accuracy of teachers' judgments of students' academic achievement: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 104(3), 743–762. <https://doi.org/10.1037/a0027627>
- Terhart, E. (2000). *Perspektiven der Lehrerbildung in Deutschland. Abschlußbericht der von der Kultusministerkonferenz eingesetzten Kommission*. Beltz.
- Ufer, S., Heinze, A., & Reiss, K. (2008). Individual predictors of geometrical proof competence. *PME 32 and PME-NA XXX*, 1(4), 361–368.
- Vorderer, P., Wirth, W., Gouveia, F., Biocca, F., Saari, T., Jäncke, L., Böcking, S., Schramm, H., Gysbers, A., Hartmann, T., Klimmt, C., Laarni, J., Ravaja, N., Sacau, A., Baumgartner,

- T., & Jäncke, P. (2004). MEC spatial presence questionnaire (MEC-SPQ): Short documentation and instructions for application. *Report to the European Community, Project Presence: MEC (IST-2001-37661)*.
- Wigfield, A., & Eccles, J. S. (2000). Expectancy–value theory of achievement motivation. *Contemporary Educational Psychology, 25*(1), 68–81. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1015>