Hildesheimer Beiträge zur Schul- und Unterrichtsforschung
Sonderheft 4

Centrum für Lehrerbildung und Bildungsforschung (CeLeB)

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn,
Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Ulrike Schütte,
Sabrina Syskowski & Sarah Wilken (Hrsg.)

Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen

Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre



UV Universitätsverlag Hildesheim

Hildesheimer Beiträge zur Schul- und Unterrichtsforschung

herausgegeben von Peter Frei, Katrin Hauenschild
und Barbara Schmidt-Thieme

Sonderheft 4

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Ulrike Schütte, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken (Hrsg.)

Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen

Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre

Universitätsverlag Hildesheim

Hildesheim
2026

Die «Hildesheimer Beiträge zur Schul- und Unterrichtsforschung» sind eine Publikationsreihe des Centrums für Lehrerbildung und Bildungsforschung (CeLeB) der Stiftung Universität Hildesheim.

Das Dokument steht im Internet kostenfrei als elektronische Publikation (Open Access) zur Verfügung unter: https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4

Dieses Werk ist mit der Creative-Commons-Nutzungslizenz «Namensnennung – Share Alike 4.0 International» versehen. Weitere Informationen finden sich unter: https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Diese Veröffentlichung wurde aus Mitteln des Publikationsfonds NiedersachsenOPEN, gefördert aus zukunft.niedersachsen, unterstützt.

Layout und Titelblattgestaltung: Jan Jäger und Andreas Cziepluch
Satz: Andreas Cziepluch
Titelbild: Urheberin Melanie Beudels, erstellt mithilfe von ChatGPT V.5.6
© Die Autorinnen und Autoren dieses Bandes
Universitätsverlag Hildesheim, Universitätsplatz 1, 31141 Hildesheim
www.uni-hildesheim.de/bibliothek/universitaetsverlag/

ISSN (Internet) 2365-8924

Inhaltsverzeichnis

Einführung zum Themenheft:
Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Eine Einführung 5
Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken

Evaluation eines Lehr-Lern-Labors: Veränderung von Überzeugungen und Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools 11
Sarah Wilken

DEAN – Digitale Experimentierassistenten in der Lehre: Konzept, Umsetzung und Evaluation eines innovativen Seminarkonzeptes 28
Katharina Forster, Antonia Linsmeier, Dominik Diermann & Jenna Koenen

Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten 55
Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer

Verknüpfung von Computational Thinking und Modellieren für den naturwissenschaftlichen Unterricht 84
Kevin Kärcher

Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums 99
Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein

Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen 124
Melanie Beudels & Sven Hanses

Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften 154
Luisa Lauer & Markus Peschel

Fazit zum Themenheft:
Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Ein Fazit 177
Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Ulrike Schütte, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Hildesheim: Universitätsverlag Hildesheim (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Hildesheim: Universitätsverlag Hildesheim.

Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Eine Einführung

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken

Digitale Technologien sind ein wichtiger Bestandteil eines aktuellen naturwissenschaftlichen Unterrichts an Grund- und weiterführenden Schulen (Härtig et al. 2021; Hillmayr et al. 2020; Vogelsang et al. 2019) und werden auch in der Hochschullehre naturwissenschaftlicher Studiengänge zunehmend integriert (Mexhuani 2025). Sie können zur Vermittlung von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen (Develaki 2019; Ebenezer et al. 2011) oder naturwissenschaftlichen Erkenntnissen eingesetzt werden (Lou & Jaeggi 2020; Mikropoulos & Iatraki 2023). Der Einsatz digitaler Technologien ist dabei in allen naturwissenschaftlichen Fachdomänen sichtbar: So werden beispielsweise im Chemie-, Physik- und Sachunterricht Experimente vermehrt durch digitale Technologien unterstützt, und im Biologieunterricht wird vielfach mit digitalen Modellen gearbeitet (Härtig et al. 2021; Schwarz & Haider 2021). Darüber hinaus eröffnen beispielsweise Technologien wie *Virtual Reality* (VR; Tekindur & Kara 2025) oder *Game-Based Learning* (Hu et al. 2022) innovative Möglichkeiten zur kognitiven Aktivierung und Motivationssteigerung der Lernenden in Schule und Hochschule.

Empirische Befunde verdeutlichen, dass die Lernwirksamkeit digitaler Technologien wesentlich von der didaktisch begründeten Integration in das Lernsetting und der kompetenten Nutzung durch die Lernenden abhängt (Hillmayr et al. 2023; Kramer et al. 2019; Wörner et al. 2022). So zeigt beispielsweise eine Studie von Kramer et al. (2019), dass im gymnasialen Biologieunterricht insbesondere die Integration analoger und digitaler Elemente lernförderlich ist. Diese Befunde werden durch ein Literaturreview von Wörner et al. (2022) bestätigt, welches herausstellt, dass beim Experimentieren insbesondere die Verknüpfung digitaler und analoger Technologien das inhaltliche Verständnis von Schüler*innen fördert. Darüber hinaus zeigt die Metastudie von Hillmayr et al. (2023), dass der Einsatz digitaler Technologien positive Effekte auf die Leistung und Motivation von Lernenden hat. Allerdings beeinflusst auch der Umgang der Schüler*innen mit der Technologie die lernförderliche Wirkung, was sich darin zeigt, dass das Alter der Lernenden Einfluss auf die Motivations- und Leistungseffekte zu haben scheint (Hillmayr et al. 2023). Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass ein lernförderlicher Einsatz digitaler Technologien im naturwissenschaftlichen Unterricht spezifische Kompetenzen auf Seiten der Lehrenden und Lernenden voraussetzt. Entsprechend gilt es, sowohl die digitalen Kompetenzen von Lehrkräften als auch die Medienkompetenzen von Schüler*innen gezielt zu fördern.

Zur Beschreibung der digitalen Kompetenzen von Lehrkräften, die für den lernförderlichen Einsatz digitaler Technologien im naturwissenschaftlichen Unterricht grundlegend sind, liegen unterschiedliche Modelle vor (Mattar et al. 2022). Im fachübergreifenden *Digital Competence of Educators* Framework (DigCompEdu) werden die Kompetenzbereiche digitales Engagement, digitale Ressourcen, digitales Assessment, digitales Lehren und Lernen, digitales Empowerment Lernender sowie die Förderung der digitalen Kompetenzen (Medienkompetenzen) Lernender spezifiziert (Redecker & Punie 2017). Vernachlässigt wird dabei jedoch der fachspezifische Einsatz digitaler Technologien. Die fachspezifischen digitalen Kompetenzen werden im naturwissenschaftsspezifischen DiKoLAN-Framework (*Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften*; Becker et al. 2020) aufgegriffen. Neben technischen Grundlagen und technischen Basiskompetenzen werden dort die allgemeinen Kompetenzbereiche *Dokumentation*, *Präsentation*, *Kommunikation und Kollaboration* sowie *Recherche und Bewertung* ebenso wie die fachspezifischen

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Eine Einführung. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 5-10. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Kompetenzbereiche *Messwert- und Datenerfassung, Datenverarbeitung* sowie *Simulation und Modellierung* definiert und durch die Niveaustufen *nennen*, *beschreiben* und *anwenden* spezifiziert (Becker et al. 2020).

Studien betonen die Bedeutung einer konzeptionell breiten Betrachtung digitaler Kompetenzen (Baumert & Kunter 2011; Blömeke et al. 2015), da neben Professionswissen (Koehler & Mishra 2009) auch motivational-affektive Dispositionen (Vogelsang et al. 2019) lernförderlichen Technologieeinsatz beeinflussen. Das Professionswissen wird im TPACK-Modell konkretisiert, demzufolge Lehrkräfte technologisches, pädagogisches und fachliches Wissen sowie die Integration dieser Wissensfacetten benötigen, um digitale Technologien lernförderlich in den Unterricht zu integrieren (Koehler & Mishra 2009). Darüber hinaus sind auch motivational-affektive Orientierungen für eine lernförderliche Technologieintegration bedeutsam. So zeigen Studien, dass u. a. Selbstwirksamkeitserwartungen (Vogelsang et al. 2019), Überzeugungen (Kim et al. 2013) und Motivation (Backfisch et al. 2020) die Frequenz und Art von Technologieeinsatz im Unterricht beeinflussen. Diese Befunde verdeutlichen, dass für lernförderliche Technologieintegration sowohl das technologiebezogene Professionswissen als auch die motivational-affektiven Voraussetzungen von angehenden Lehrkräften für eine ganzheitliche Professionalisierung adressiert werden müssen.

Durch die spezifischen Einsatzmöglichkeiten digitaler Technologien im naturwissenschaftlichen Unterricht (Härtig et al. 2021; Hillmayr et al. 2020) ist die Betrachtung digitaler Kompetenzen innerhalb der naturwissenschaftlichen Fachdomänen notwendig, um der fachspezifischen Ausrichtung professioneller Kompetenzen nachzukommen (Becker et al. 2020; Von Kotzebue et al. 2021). Darüber hinaus ermöglicht die Professionalisierung im naturwissenschaftlichen Fachkontext sowohl die Adressierung fachspezifischer (z. B. Simulation & Modellierung; Becker et al. 2020) als auch fachübergreifender digitaler Kompetenzen (z. B. Präsentation; Becker et al. 2020; Redecker & Punie 2017). Des Weiteren sollten digitale Kompetenzen so angesprochen werden (Baumert & Kunter 2011; Blömeke et al. 2015), dass sowohl technologiebezogenes Professionswissen (Koehler & Mishra 2009) als auch motivational-affektive Dispositionen (z. B. Vogelsang et al. 2019) adressiert werden. Dadurch können im Professionalisierungsprozess die moderierenden Effekte beider für lernförderliche Technologieintegration in den Unterricht berücksichtigt werden (Backfisch et al. 2020; Ertmer & Ottenbreit-Leftwich 2010).

Vor diesem Hintergrund werden in dem folgenden Themenheft unterschiedliche Lehr- und Lern-Konzepte zur Förderung der digitalen Kompetenzen von (angehenden) Lehrkräften und der Medienkompetenzen von Schüler*innen verschiedener naturwissenschaftlicher Domänen (Fächer Biologie, Chemie, Naturwissenschaften, Physik und Sachunterricht) vorgestellt. Digitale Technologien nehmen dabei zum Teil eine Doppelrolle ein, wenn sie als Lernwerkzeug und/oder Lerngegenstand dienen, um (digitale) fachdidaktische Kompetenzen zu entwickeln. Alle Lehr- und Lern-Konzepte sind im Kontext des 5. Jahrgangs (Jahre 2022 bis 2024) des *Kolleg Didaktik:digital* der Joachim Herz Stiftung entstanden. Die Stiftung hat in den letzten Jahren Nachwuchswissenschaftler*innen – sog. Junior Fellows – bei der Entwicklung, Erprobung und Beforschung von innovativen Lehr- und Lernkonzepten zum gewinnbringenden Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht gefördert. Der Fokus lag somit darauf, angehende Lehrkräfte bereits im Studium an Fragen des Lernens *mit* und *über* digitale(n) Lernwerkzeuge(n) heranzuführen und fachdidaktisch fundierte (digital gestützte) Konzepte für den Schulunterricht in den Naturwissenschaften zu stärken. Neben der finanziellen Unterstützung bot das Kolleg u. a. Fellow-Treffen und Workshops an. Diese dienten dazu, den regelmäßigen Austausch zwischen den Junior-Fellows, Senior-Fellows (erfahrene Fachdidaktiker*innen) und Alumni zu stärken, Kooperationen anzubahnen und die gemeinsamen Diskussionen über einen sinnvollen Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht voranzubringen (Joachim Herz Stiftung 2022).

Die Beiträge des Themenhefts greifen diese Zielsetzungen des Kollegs aus unterschiedlichen naturwissenschafts- und sachunterrichtsdidaktischen Perspektiven auf. Tabelle 1 zeigt eine systematisierte Übersicht der in diesem Themenheft vorgestellten Konzepte nach Hochschulstandort, Zielgruppe, Bezugsfach, thematischem Schwerpunkt, Lehr- und Lern-Setting sowie methodischem Zugang der Begleitforschung.

Wir wünschen viel Freude bei der Lektüre des Themenheftes!
Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer,
Sabrina Syskowski & Sarah Wilken

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Eine Einführung. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 5-10. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Tabelle 1: Übersicht über die Beiträge des Themenheftes. Sortierung (alphabetisch) nach unterrichtlichem Bezugsfach

Autor*innen, Hochschule, Seitenangaben	Primäre Zielgruppe, unterrichtliches Bezugsfach	Themengebiet des Projektes	Kurzbeschreibung Lehr- und Lern-Setting, primär tangierte DiKoLAN-Kompetenzfacetten (Becker et al. 2020)	Methodik der Begleitforschung
Wilken Universität Münster S. 11-27	Lehramtsstudierende (Sek I und Sek II) im Master Biologie	Einsatz digitaler Tools im Humanbiologieunterricht	Ein Lehr-Lern-Labor, in dem Studierende erst fachliche und fachdidaktische Inhalte zur Technologieintegration in den Humanbiologieunterricht erarbeiten, diese dann in Unterrichtsplänen umsetzen, welche anschließend in einer 90-minütigen Lehr-Lern-Einheit mit Schüler*innen durchgeführt und abschließend reflektiert werden. Messwerterfassung & Datenverarbeitung; Präsentation; Recherche & Bewertung	Quasi-experimentelles Prä-Post-Design; Fragebogenerhebung (Likert-Skala) $N = 104$
Forster, Linsmeier, Diermann & Koenen Technische Universität München S. 28-54	Lehramtsstudierende (Gymnasiallehramt, berufliches Lehramt) im Master Chemie	Innovationen im naturwissenschaftlichen Unterricht (Chemie) & Schulpraxis im Unterricht der FOS/BOS Chemie	Seminar mit kombiniertem Laborpraktikum, in dem digitale Medien zur Unterstützung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess eingesetzt wurden. Im Zuge dessen wurde ein digitaler Experimentierassistent (DEAN) für ein Experiment der Säure-Base-Chemie konzipiert und entwickelt. Dokumentation; Recherche & Bewertung; Kommunikation/Kollaboration; Präsentation	Qualitatives Design; Stimulated Recalls mit qualitativer Auswertung $N = 6$
Syskowski, Weich & Huwer Universität Konstanz S. 55-83	Schüler*innen der 10. Klasse Chemie	Augmented Reality (AR) gestütztes Experimentieren im Chemieunterricht	Das Lehr-Lern-Setting nutzt 3D-AR-Modelle auf Teilchenebene, um die Gestaltung der experimentellen Lernumgebung gezielt für die Entwicklung chemischer Kompetenzen zu optimieren. Bei Reaktion 1 wird eine minimal unterstützte Umgebung geschaffen, bei Reaktion 2 werden schrittweise, optionale Hilfen angeboten, um differenzierte Lernwege zu ermöglichen. Messwert- & Datenerfassung; Datenverarbeitung; Simulation & Modellierung	Qualitatives Design; Dokumentationsvideo aus Sicht der Lernenden $N = 22$
Kärcher PH Schwäbisch Gmünd S. 84-98	Lehramtsstudierende (Sekundarstufe) im Master Naturwissenschaften	Computational Thinking und Modellieren im naturwissenschaftlichen Unterricht	Seminar für projekt- und problemorientierte, praktische Erkundung typischer Tools, um 1. Simulationen selbst zu erstellen und 2. Daten mit Microcontrollern für mathematische Modellierungen zu erheben. Die Studierenden entwickeln eigene Lehr-Lern-Settings zur Verbindung von Computational Thinking und Modellieren. Messwert- & Datenerfassung; Datenverarbeitung; Simulation & Modellierung	Qualitatives Design; Gruppeninterviews (leitfadengestützt) zur Reflexion der Lerninhalte und Seminarstruktur $N = 14$

Autor*innen, Hochschule	Primäre Zielgruppe, unterrichtliches Bezugsfach	Themengebiet des Projektes	Kurzbeschreibung Lehr- und Lern-Setting, primär tangierte DiKoLAN-Kompetenzfacetten (Becker et al. 2020)	Methodik der Begleitforschung
Hahn, Schweinberger & Klein Universität Göttingen S. 99-123	Lehramtsstudierende (Gymnasiallehramt) im Master Physik	Unterrichtsbezogenes Experimentieren und Weiterentwicklung von Praxis an der Schule	Unterrichtsbezogenes Experimentierpraktikum mit stummen Videos und Eye-Tracking-Feedback zur Förderung der Präsentations- und Moderationskompetenzen von Physiklehramtsstudierenden Präsentation; Dokumentation	Innersubjekt-Design (3 Messzeitpunkte); Fragebogenerhebung (offene und geschlossene Fragen) $N = 30$
Beudels & Hanses Bergische Universität Wuppertal S. 124-153	Grundschullehramtsstudierende im Bachelor und Master Sachunterricht	Einsatz biologischer Bestimmungsapps im Sachunterricht	Blended-Learning-Kurs, der angehende Grundschullehrkräfte für einen reflektierten Einsatz von Bestimmungsapps im Sachunterricht professionalisieren soll. Im Zentrum steht eine Exkursion, auf der die Studierenden Bestimmungsapps testen, um ihre Chancen und Grenzen in Bezug auf Lernprozesse mithilfe eines Kriterienrasters zu reflektieren. Recherche & Bewertung; Messwert- & Datenerfassung	Exploratives Mixed-Methods-Design (Quer- & Längsschnitt); Fragebogenerhebung (offene und geschlossene Fragen) $N = 57$
Lauer & Peschel Universität des Saarlandes S. 154-176	Lehramtsstudierende Sachunterricht	Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von AR(-Technologien) von angehenden Lehrkräften	Medien-bezogenes Grundlagenseminar rund um den didaktisch sinnvollen Einsatz digitaler Medien. Angehende Lehrende begründen Medienentscheidungen anhand von fachdidaktischen Kriterien. Recherche & Bewertung	Qualitatives Design; Fragebogenerhebung (offene und geschlossene Antwortformate) $N = 48$

Literatur

Backfisch, I., Lachner, A., Hische, C., Loose, F. & Scheiter, K. (2020): Professional knowledge or motivation? Investigating the role of teachers' expertise on the quality of technology-enhanced lesson plans. *Learning and Instruction, 66*, 101300. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101300

Baumert, J. & Kunter, M. (2011): Das Kompetenzmodell von COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29–53). Münster: Waxmann.

Becker, S., Meßinger-Koppelt, J. & Thyssen, C. (2020): *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften [digital competences: orientations and practical examples for university sciences teacher education].* Hamburg: Joachim Herz Stiftung. https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/user_upload/JHS_Digitale_Basiskompetenzen_Naturwissenschaften_Web.pdf.

Blömeke, S., Gustafsson, J.-E. & Shavelson, R. J. (2015): Beyond dichotomies: Competence viewed as a continuum. *Zeitschrift für Psychologie, 223*(1), S. 3-13. https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000194

Develaki, M. (2019): Methodology and epistemology of computer simulations and implications for science education. *Journal of Science Education and Technology, 28*(4), S. 353-370. https://doi.org/10.1007/s10956-019-09772-0

Ebenezer, J., Kaya, O. N. & Ebenezer, D. L. (2011): Engaging students in environmental research projects: Perceptions of fluency with innovative technologies and levels of scientific inquiry abilities. *Journal of Research in Science Teaching, 48*(1), S. 94-116. https://doi.org/10.1002/tea.20387

Ertmer, P. A. & Ottenbreit-Leftwich, A. T. (2010): Teacher technology change: How knowledge, confidence, beliefs, and culture intersect. *Journal of Research on Technology in Education, 42*(3), S. 255-284. https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782551

Härtig, H., Ostermann, A., Ropohl, M., Schwanewedel, J., Kampschulte, L. & Lindmeier, A. (2021): Gibt es einen fachspezifischen Medieneinsatz im naturwissenschaftlichen Fachunterricht? Ergebnisse einer Fragebogenerhebung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 27*(1), S. 139-154. https://doi.org/10.1007/s40573-021-00130-5

Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L., Hofer, S. I. & Reiss, K. (2023): Zum Zusammenhang zwischen Leistungs- und Motivationseffekten beim Einsatz digitaler Tools im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Eine Forschungssynthese. In K. Scheiter & I. Gogolin (Hrsg.), *Bildung für eine digitale Zukunft. Edition ZfE 15* (S. 103-123). Wiesbaden: Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37895-0_5

Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I. & Reiss, K. M. (2020): The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers & Education, 153*, 103897. https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2020.103897

Hu, Y., Gallagher, T., Wouters, P., van der Schaaf, M. & Kester, L. (2022): Game-based learning has good chemistry with chemistry education: A three-level meta-analysis. *Journal of Research in Science Teaching, 59*(9), S. 1499-1543. https://doi.org/10.1002/TEA.21765

Joachim Herz Stiftung (2022): *Hinweise zur Ausschreibung. Förderung von Junior-Fellows im Kolleg Didaktik:digital.* Hamburg: Joachim Herz Stiftung.

Kim, C., Kim, M. K., Lee, C., Spector, J. M. & DeMeester, K. (2013): Teacher beliefs and technology integration. *Teaching and Teacher Education, 29*(1), S. 76-85. https://doi.org/10.1016/j.tate.2012.08.005

Koehler, M. & Mishra, P. (2009): What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education, 9*(1), S. 60-70.

Kramer, M., Förtsch, C., Aufleger, M. & Neuhaus, B. J. (2019): Der Einsatz digitaler Medien im gymnasialen Biologieunterricht. Eine deskriptive Auswertung einer quantitativen Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 25*(1), S. 131-160. https://doi.org/10.1007/s40573-019-00096-5

Lou, A. J. & Jaeggi, S. M. (2020): Reducing the prior-knowledge achievement gap by using technology-assisted guided learning in an undergraduate chemistry course. *Journal of Research in Science Teaching, 57*(3), S. 368-392. https://doi.org/10.1002/tea.21596

Mattar, J., Santos, C. C. & Cuque, L. M. (2022): Analysis and comparison of international digital competence frameworks for education. *Education Sciences, 12*(12), 932. https://doi.org/10.3390/educsci12120932

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Eine Einführung. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 5-10. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Mexhuani, B. (2025): Adopting digital tools in higher education: Opportunities, challenges and theoretical insights. *European Journal of Education, 60*(1), e12819. https://doi.org/10.1111/ejed.12819

Mikropoulos, T. A. & Iatraki, G. (2023): Digital technology supports science education for students with disabilities: A systematic review. *Education and Information Technologies, 28*(4), S. 3911-3935. https://doi.org/10.1007/s10639-022-11317-9

Redecker, C. & Punie, Y. (2017): *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. https://doi.org/10.2760/178382

Schwarz, S. & Haider, M. (2021): Digitale Medien in der naturwissenschaftlichen Perspektive – eine Einführung. In M. Haider, & S. Knoth (Hrsg.), *Digitale Medien im Sachunterricht der Grundschule in Theorie und Praxis* (S. 23-25). Hamburg: AOL Verlag.

Tekindur, A. & Kara, S. (2025): Virtual reality technology in science education: Exploring trends and future perspectives. *Journal of Education in Science, Environment and Health, 11*(3), S. 220-234. https://doi.org/10.55549/jeseh.802

Von Kotzebue, L., Meier, M., Finger, A., Kremser, E., Huwer, J., Thoms, L.-J., Becker, S., Bruckermann, T. & Thyssen, C. (2021): The Framework DiKoLAN (Digital Competencies for Teaching in Science Education) as Basis for the Self-Assessment Tool DiKoLAN-Grid. *Education Sciences, 11*(12), 775. https://doi.org/10.3390/educsci11120775

Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D. & Thyssen, C. (2019): Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 25*(1), S. 115-129. https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6

Wörner, S., Kuhn, J. & Scheiter, K. (2022): The Best of Two Worlds: A Systematic Review on Combining Real and Virtual Experiments in Science Education. *Review of Educational Research, 92*(6), S. 911-952. https://doi.org/10.3102/00346543221079417

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Eine Einführung. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 5-10. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Hildesheim: Universitätsverlag Hildesheim.

Evaluation eines Lehr-Lern-Labors: Veränderung von Überzeugungen und Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools

Sarah Wilken
Sarah Wilken; Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Biologie, Fachdidaktik und Lehr-/Lernforschung Biologie, Invalidenstraße 42, 10115 Berlin; sarah.wilken@hu-berlin.de

Zusammenfassung

Für die lernförderliche Integration digitaler Tools in den Humanbiologieunterricht sind die digitalen Kompetenzen der Lehrkraft entscheidend. Neben dem Professionswissen rücken damit motivational-affektive Dispositionen, wie Überzeugungen und Motivation, in den Fokus der Lehrkräftebildung. Der Beitrag evaluiert ein Lehr-Lern-Labor, dessen Ziel es ist die digitalen Kompetenzen angehender Biologielehrkräfte zu fördern, indem Humanbiologieunterricht digital gestaltet wird. In einem quasi-experimentellen Studiendesign sind die Überzeugungen und die Motivation angehender Biologielehrkräfte (n = 104) zur Integration digitaler Tools erhoben worden. Die Ergebnisse zeigen, dass angehende Biologielehrkräfte davon überzeugt sind, dass digital gestützte Differenzierung und digital gestützte kognitive Aktivierung nützlich sind und dass sie motiviert sind, digitale Tools in ihren eigenen Unterricht zu integrieren. Trotzdem zeigt sich, dass die Studierenden Überzeugungen zur Integration digitaler Tools zur digital gestützten Differenzierung und kognitiven Aktivierung nach dem Durchlaufen einer Lehrveranstaltung weniger zustimmen und die Motivation zur Integration digitaler Tools gesunken ist. Dies könnte auf eine Überforderung mit der Praxissituation hindeuten, wobei Implikationen für die Lehrkräftebildung diskutiert werden.

Schlüsselwörter:
Lehrkräfteprofessionalisierung, Überzeugungen, Motivation, Technologieintegration

Abstract

Teachers' digital competencies are of pivotal significance to ensure the effective integration of digital tools into human biology education. In addition to professional knowledge, motivational-affective dispositions, such as beliefs and motivation, are crucial areas in todays teacher training. The study aims to evaluate a teaching-learning laboratory designed to enhance the digital competencies of pre-service biology teachers by facilitating the development of human biology lessons through digital means. Utilizing a quasi-experimental study design, a survey was conducted among 104 pre-service biology teachers. The results display that pre-service biology teacher believe, that digitally supported differentiation and cognitive activation are useful and that they are motivated, to use digital tools in their own classes. Nevertheless, students exhibit a decline in agreement with stated beliefs about digitally supported differentiation and cognitive activation following the completion of a course, and that their motivation to employ digital tools has diminished. This could be an indication that students are being overwhelmed by the practical demands of the situation, with implications for teacher training being discussed.

Key words:
teacher education, teachers' beliefs, motivation, technology integration

Sarah Wilken (2026): Evaluation eines Lehr-Lern-Labors: Veränderung von Überzeugungen und Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 11-27. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

1. Einleitung

Die fortschreitende Digitalisierung eröffnet für den Biologieunterricht neue Perspektiven (Meier et al. 2023). Damit digitale Technologien im Fachunterricht lernförderlich wirken ist die Art der Integration entscheidend (z. B. Sailer et al. 2024). Während unter digitalen Technologien verschiedene digitale Anwendungen und Methoden verstanden werden (Meier et al. 2020), kann die Integration digitaler Technologien als digitales Werkzeug (Tool) einen besonderen Mehrwert bieten, da die problemorientierte Integration zur Erarbeitung fachlicher Inhalte fokussiert wird (Meier et al. 2020; Thurm 2020). Zum Beispiel können digitale Tools in herausfordernden Lehr-Lern-Situationen, wie zum Beispiel Organpräparationen, die fachspezifische Arbeitsweise unterstützen, indem zeitgleich digitale und annotierbare Visualisierungen eingesetzt werden (Elmali 2022; Hug 2008). Die zeitgleiche Orchestrierung digitaler Tools (z. B. digitaler Visualisierungen) und analoger Arbeitsweisen (z. B. Organpräparation) wird im vorliegenden Beitrag als Integration digitaler Tools in den Unterricht verstanden und geht damit über den isolierten Einsatz digitaler Technologien hinaus (Scheiter 2021).

Die lernförderliche Integration als digitales Tool hängt dabei maßgeblich von der Lehrkraft ab (von Kotzebue 2022), die neben technologiebezogenem Wissen (Mölgen et al. 2024) auch digitale Kompetenzen mitbringen muss (Becker et al. 2020). Als Facette von professioneller Kompetenz werden Motivation und Überzeugungen eine entscheidende Bedeutung bei der Integration digitaler Tools zugesprochen (Becker et al. 2020; Blömeke et al. 2015a; Ertmer 1999, 2005). Insbesondere Überzeugungen können als *second-order barrier* die Integration von digitalen Tools begünstigen oder verhindern (Ertmer 1999). Studien zeigen, dass positive Überzeugungen zur Technologieintegration sogar zur Überwindung von *first-order barriers* (z. B. fehlende Infrastruktur) führen können (Ertmer & Ottenbreit-Leftwich 2010). Darüber hinaus beeinflusst die Motivation zur Integration von digitalen Technologien die Intention diese tatsächlich einzusetzen (Ajzen 1991; Vogelsang et al. 2019).

Eine Möglichkeit die digitale Kompetenz angehender Lehrkräfte zu fördern sind Lehr-Lern-Labore (Meier et al. 2023). Studierende planen Lehr-Lern-Einheiten, die sie mit Schülerinnen und Schülern durchführen, wodurch eine verstärkte Theorie-Praxis-Verzahnung ermöglicht wird (Priemer & Roth 2020). Das kann zur Professionalisierung beitragen, indem zum Beispiel Selbstwirksamkeitserwartungen (Heuckmann & Kürten 2024) oder Diagnosekompetenzen (Quarder & Greefrath 2024) gefördert werden. In diesen authentischen Lehr-Lern-Situationen können digitale Kompetenzen in einem komplexitätsreduzierten Rahmen geschult werden (Meier et al. 2023). In verschiedenen Fächern konnte gezeigt werden, dass Lehr-Lern-Labore in Bezug auf die Digitalisierung einen Beitrag zur positiven Entwicklung professioneller Kompetenzen von angehenden Lehrkräften leisten konnten (Meier et al. 2023). Lehr-Lern-Labore in der Biologie ermöglichen dabei die Thematisierung komplexer Themen wie die Humanbiologie, die vielfältige Möglichkeiten für die Integration digitaler Tools bieten (Wilken & Heuckmann 2024).

Während Lehr-Lern-Labore ein etabliertes Lehrformat Theorie-Praxis-Verzahnung sind (Priemer & Roth 2020; Quarder & Greefrath 2024; Rochholz et al. 2020), zeigen erste Beiträge das auch digitale Kompetenz und motivational-affektive Dispositionen gefördert werden können (Heuckmann & Kürten 2024). Darauf baut die vorliegende Studie auf, indem sie aktuelle Ergebnisse zur Professionalisierung in Lehr-Lern-Laboren (Heuckmann & Kürten 2024) mit Studien zur Technologieintegration, die Überzeugungen und Motivation der Lehrkraft als wichtigen Prädiktor für lernförderliche Integration herausstellen (Almerich et al. 2024; Backfisch et al. 2021a; Lilian 2022; Vogelsang et al. 2019), verknüpft. Um diesem Forschungsdesiderat nachzukommen, wird eine Lehrveranstaltung vorgestellt, welche mit einem Lehr-Lern-Labor praktische und reflexive Lehrelemente verknüpft und damit Überzeugungen und Motivation angehender Lehrkräfte zur Integration digitaler Tools in den Unterricht fördern will. Damit sollen Aussagen zur Wirksamkeit von Lehr-Lern-Laboren möglich werden, die Hinweise für die Konzeption zukünftiger Lehrveranstaltungen bieten können.

Sarah Wilken (2026): Evaluation eines Lehr-Lern-Labors: Veränderung von Überzeugungen und Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 11-27. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

2. Theoretische Rahmung

2.1. Digitale Tools im Fachunterricht

Digitale Technologien bieten Potenziale für die Gestaltung von lernförderlichem naturwissenschaftlichem Unterricht (Hillmayr et al. 2020; Martínez et al. 2025). Insbesondere beim Lehren und Lernen fachlich komplexer Themen können digitale Tools unterstützend wirken (Elmali 2022; Hillmayr et al. 2020). Beispielweise bei der Vermittlung naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen (Hillmayr et al. 2020) oder in genuin biologischen Themenbereichen wie der Humanbiologie (Wilken & Heuckmann 2024). Die Vermittlung humanbiologischer Inhalte ist fest verankert in den Lehrplänen (z. B. im Inhaltsfeld Mensch und Gesundheit des Lehrplans für Gymnasien in NRW; KMK 2019) und kann insbesondere aufgrund eigener Vorerfahrungen herausfordernd sein. Beispielsweise begünstigt die Kombination aus der Wahrnehmung des eigenen Herzschlags und fachlich komplexen Prozessen, die über die wahrgenommenen Erfahrungen hinausgehen, das Entstehen von Schülervorstellungen (Hammann & Asshoff 2017). Lernende beschreiben unter anderem, dass das Blut überall im Körper sei oder, dass das kardiovaskuläre System nur aus einem Kreislauf bestehe (statt Lungen- und Körperkreislauf; Hammann & Asshoff 2017). Solche komplexen Lehr-Lern-Prozesse können mit digitalen Tools unterstützt werden. Beispielsweise kann die Arbeit mit Originalpräparaten, wie die Sektion eines Schweineherzens, durch die Integration einer App unterstützt werden, die die Humananatomie dynamisch visualisiert und durch die Möglichkeit, beschriftete Strukturen rein- und rauszuzoomen, das Verständnis anatomischer Zusammenhänge fördert (Elmali 2022; Hug 2008). Darüber hinaus sind im Biologieunterricht beispielsweise Visualisierungen (z. B. Bilder digitaler Mikroskopie), Extended Reality (Augmented Reality für eine digitale Präparation), Videos (z. B. für komplexe Prozesse wie Osmose), Datenerfassung und -verarbeitung (z. B. Erfassen und Verarbeiten von Vitalparametern) möglich (z. B. Meier et al. 2023). Dieser Beitrag fokussiert die Integration digitaler Tools in den Fachunterricht, da insbesondere die aktivierende, problemorientierte und didaktisch begründetet Integration digitaler Technologien in den Fachunterricht lernförderlich wirkt (Sailer et al. 2024).

Inwiefern die Integration digitaler Tools lernförderlich ist, hängt von der Art der Integration ab und lässt sich mithilfe des SAMR-Modells (Puentedura 2006; Schaal 2017) sowie des ICAP-Modells (Antonietti et al. 2023; Chi & Wylie 2014) beschreiben. Das SAMR-Modell dient der Einordnung des Innovationsgrads der Technologieintegration: Digitale Tools können analoge Materialien ersetzen (*Substitution*), den Unterricht funktional erweitern (*Augmentation*), Lernprozesse mithilfe digitaler Technologien grundlegend verändern (*Modification*) oder neue, zuvor nicht realisierbare Lernarrangements ermöglichen (*Redefinition*; Puentedura 2006; Schaal 2017). Das Modell eignet sich insbesondere zur Planung und Reflexion der Integration digitaler Tools in den Unterricht (Meier et al. 2020; Puentedura 2006; von Kotzebue 2022), wobei vor allem Integrationsformen auf der Ebene der *Modification* und *Redefinition* das Potenzial digitaler Tools ausschöpfen. Darüber hinaus ist für die Bewertung der Integration digitaler Tools in den Unterricht die kognitive Aktivität der Schülerinnen und Schüler von zentraler Bedeutung (Sailer et al. 2024), die mithilfe des ICAP-Modells beschrieben werden kann (Chi & Wylie 2014). Das ICAP-Modell unterscheidet vier aufeinander aufbauende Stufen kognitiver Aktivität: passiv, aktiv, konstruktiv und interaktiv (Chi & Wylie 2014). Ein systematisches Review von Sailer et al. (2024) zeigt, dass digitale Tools im Vergleich zu analogen Medien insbesondere dann weiterführende kognitive Aktivierungsprozesse fördern, wenn ihre Integration gezielt auf die Aktivierung der Lernenden ausgerichtet ist. Vor allem bei anspruchsvolleren Lernaktivitäten gehen digitale Technologien mit einer erhöhten kognitiven Aktivität sowie verbesserten Lernergebnissen einher (Sailer et al. 2024). Damit unterstreichen die Befunde, dass für erfolgreiche Lernprozesse sowohl die kognitive Aktivierung der Lernenden als auch die Art der Integration digitale Tools in den Unterricht mitgedacht werden muss. Daraus folgt, dass eine lernförderliche Integration digitaler Tools im Unterricht voraussetzt, dass Lehrkräfte diese Perspektiven berücksichtigen und die Integration digitaler Technologien didaktisch fundiert planen können. Entsprechend kommt der digitalen Kompetenz der Lehrkraft eine Schlüsselrolle für eine erfolgreiche und lernwirksame Integration digitaler Technologien zu (Lachner et al. 2020; Seidel 2014; von Kotzebue 2022).

Sarah Wilken (2026): Evaluation eines Lehr-Lern-Labors: Veränderung von Überzeugungen und Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 11-27. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

2.2. Digitale Kompetenz

Für die lernförderliche Integration digitaler Tools in den Fachunterricht ist die digitale Kompetenz der Lehrkraft entscheidend (von Kotzebue 2022). Aufgrund der fachspezifischen Potenziale digitaler Tools (Härtig et al. 2021; Hillmayr et al. 2020), muss auch die digitale Kompetenz von Lehrkräften fachspezifisch betrachtet werden. Im DiKoLAN-Framework werden die digitalen Kompetenzen für Lehrkräfte in naturwissenschaftlichen Fächern beschrieben (Becker et al. 2020): Neben technischen Basiskompetenzen und dem Wissen über rechtliche Rahmenbedingungen, werden folgende Facetten von digitaler Kompetenz beschrieben: 1) Dokumentation, 2) Präsentation, 3) Kommunikation & Kollaboration, 4) Recherche & Bewertung, 5) Datenerfassung, 6) Datenverarbeitung und 7) Simulation & Modellierung (Becker et al. 2020). Während die ersten vier Kompetenzen allgemeiner sind, beziehen sich die Kompetenzen fünf bis sieben auf naturwissenschaftliche Arbeitsweisen. Während Modelle und Lehrveranstaltungen zur Förderung der professionellen Kompetenz bereits fest etabliert sind (Baumert & Kunter 2011, 2013; Blömeke et al. 2015a), werden Lehrformate und Kompetenzmodelle zur Förderung der digitalen Kompetenz noch diskutiert (Mattar et al. 2022). Darüber hinaus leiten Schmidt und Reintjes (2022) her, dass die Strukturen zur Förderung professioneller Kompetenz, im Sinne einer integrierten Förderung, auf die Förderung digitaler Kompetenz übertragen werden können. Damit wird deutlich, dass die Förderung der digitalen Kompetenzen angehender Lehrkräfte, ähnlich wie die Förderung professioneller Kompetenz, bereits in der universitären Lehrkräftebildung angelegt sein muss, um die erfolgreiche Integration digitaler Tools in den Unterricht zu ermöglichen (Lachner et al. 2020).

Die digitale Kompetenz von Lehrkräften umfasst sowohl ihre Motivation (Backfisch et al. 2021a; Vogelsang et al. 2019) als auch ihre Überzeugungen (Almerich et al. 2024; Bice & Tang 2022; Ertmer 1999) zur Integration digitaler Tools in den Unterricht. Beide Konstrukte werden in unterschiedlichen Modellen gemeinsam konzeptualisiert und stehen in einer sich wechselseitig bedingenden Beziehung (Backfisch et al. 2021a; Scherer et al. 2019). So betont beispielsweise die Theorie des geplanten Verhaltens (*Theory of Planned Behavior*, TPB), dass Überzeugungen eine zentrale Grundlage für die Bildung von Verhaltensintentionen sind (Fishbein & Ajzen 2011), ein Zusammenhang, der sich auch im Kontext der Technologieintegration zeigt (Funke et al. 2024; Lee et al. 2010). Im Technologie-Akzeptanz-Modell (*Technology Acceptance Model*, TAM; Davis 1989) wird die Verhaltensintention maßgeblich durch die Nutzungsmotivation bestimmt, welche wiederum auf die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit, die wahrgenommene Nützlichkeit sowie die Einstellung gegenüber der Technologie zurückgeführt wird (Scherer et al. 2019). Darüber hinaus diskutieren Kompetenzmodelle wie das COACTIV-Modell (Baumert & Kunter 2011) oder das Kontinuum-Modell (Blömeke et al. 2015a) Überzeugungen und Motivation neben dem Professionswissen als zentrale Dispositionen von Lehrkräften, die deren Performanz maßgeblich beeinflussen. Beide Modelle bieten damit einen Orientierungsrahmen für die Professionalisierung angehender Lehrkräfte, der auch auf die Förderung digitaler Kompetenz übertragen werden kann (Schmidt & Reintjes 2022). Der vorliegende Beitrag fokussiert die Förderung der digitalen Kompetenz angehender Lehrkräfte und hebt hervor, dass Überzeugungen und Motivation als motivational-affektive Dispositionen eine zentrale Bedeutung für die lernförderliche Integration digitaler Tools zukommt (Baumert & Kunter 2011; Vogelsang et al. 2019; von Kotzebue 2022). Entsprechend werden Überzeugungen und Motivation im vorliegenden Beitrag als konzeptionelle verwandte Facetten digitaler Kompetenz verstanden (Petko 2012; Scherer et al. 2019), die beide einen wesentlichen Beitrag zur lernförderlichen Integration digitaler Tools in den Unterricht leisten.

Die Überzeugungen von (angehenden) Lehrkräften gelten als zentrale Voraussetzung für eine lernförderliche Integration digitaler Tools in den Unterricht (Ertmer 1999; Kim et al. 2013; Runge et al. 2023). Sie werden als subjektive Annahmen verstanden, die das Handeln von Lehrkräften maßgeblich beeinflussen (Oser & Blömeke 2012). Überzeugungen können die Integration digitaler Tools sowohl fördern als auch behindern (Ertmer 1999, 2005): So können positive Überzeugungen gegenüber digitalen Tools dazu beitragen, externe Barrieren wie eine unzureichende technische Ausstattung zu überwinden, während negative Überzeugungen die Integration hemmen (Ertmer & Ottenbreit-Leftwich 2010). In diesem Zusammenhang wirken Überzeugungen als Leitfaden (*guide*), Amplifier (*amplifier*) und Filter (*filter*) für die Wissensaufnahme und die Performanz (Fives & Buehl 2012). Entsprechend beeinflussen sie sowohl die professionelle Performanz von Lehrkräften als auch deren Professionalisierung, da negative Überzeugungen zur Ablehnung und positive Überzeugungen zur Annahme von Wissen über digitale Tools sowie zu deren Integration in den Unterricht führen (Fives &

Sarah Wilken (2026): Evaluation eines Lehr-Lern-Labors: Veränderung von Überzeugungen und Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 11-27. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Buehl 2012). Darüber hinaus zeigen empirische Studien zur Technologieintegration, dass insbesondere konstruktivistische und lernendenzentrierte Überzeugungen mit einer aktivierenden und lernförderlichen Nutzung digitaler Tools einhergehen (Almerich et al. 2024; Bice & Tang 2022; Kim et al. 2013). Insgesamt verdeutlichen diese Befunde, dass Überzeugungen von Lehrkräften die lernförderliche Integration digitaler Tools in den Unterricht maßgeblich beeinflussen und daher bereits in der Lehrkräftebildung gezielt adressiert und gefördert werden sollten (Almerich et al. 2024; Ertmer 1999; Kim et al. 2013; Runge et al. 2023).

Motivation beschreibt die Bereitschaft von (angehenden) Lehrkräften, sich mit spezifischen Themen auseinanderzusetzen (Eccles & Wigfield 2002) und stellt eine grundlegende Voraussetzung für die lernförderliche Integration digitaler Tools in den Unterricht dar (Backfisch et al. 2021b; Petko 2012). Die Motivation von (angehenden) Lehrkräften lässt sich dabei in intrinsische und extrinsische Motivation differenzieren (Wilde et al. 2009), wobei besonders die intrinsische Motivation einen bedeutsamen Einfluss auf die Entwicklung digitaler Kompetenzen hat (Lilian 2022). Die Motivation von Lehrkräften zur Integration digitaler Tools beeinflusst sowohl die Qualität, mit der digitale Tools im Unterricht eingesetzt werden (Backfisch et al. 2020), als auch die Quantität ihrer Integration (Taimalu & Luik 2019). Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass neben den Überzeugungen auch die Motivation von Lehrkräften einen zentralen Einfluss auf eine aktivierende und lernförderliche Integration digitaler Tools in den Unterricht haben (Almerich et al. 2024; Taimalu & Luik 2019; Vogelsang et al. 2019). Darüber hinaus zeigen aktuelle Studien, dass die universitäre Lehrkräfteprofessionalisierung einen maßgeblichen Beitrag zur Entwicklung der digitalen Kompetenz angehender Lehrkräfte leistet (Vogelsang et al. 2019) und insbesondere in Lehrformaten mit hohem Praxisanteil, wie etwa Lehr-Lern-Laboren, wirksam gefördert werden kann (Meier et al. 2023).

2.3. Lehr-Lern-Labore zur Förderung der digitalen Kompetenz

Die Förderung motivational-affektiver Dispositionen wird trotz ihrer maßgeblichen Relevanz für die Lehrkräfteprofessionalisierung kontrovers diskutiert (Bönke et al. 2024; Levin 2015; Löfström & Poom-Valickis 2013). Während empirische Befunde darauf hinweisen, dass die Lehrkräftebildung die digitale Kompetenz angehender Lehrkräfte positiv beeinflusst (Backfisch et al. 2021a; Vogelsang et al. 2019), ist die Frage nach der Veränderbarkeit von Überzeugungen Gegenstand kontroverser Diskussionen (Levin 2015). So identifizieren einige Studien unterschiedliche Veränderungsmuster, die weder auf eine eindeutige Stabilität noch auf eine klare Veränderbarkeit von Überzeugungen hindeuten (Löfström & Poom-Valickis 2013), während andere Arbeiten auf eine Vielzahl von Einflussfaktoren verweisen. Zu diesen Einflussfaktoren zählen unter anderem kollegialer Austausch (Meirink et al. 2009; Vaino et al. 2013) sowie die Reflexion praktischer Erfahrungen und der eigenen professionellen Rolle (Bönke et al. 2024; Mihaela & Alina-Oana 2015). Insbesondere die eigene Praxiserfahrung erweist sich als zentraler Einflussfaktor für die Entwicklung der Überzeugungen und der Motivation von (angehenden) Lehrkräften (Bönke et al. 2024; Enderle et al. 2022; Liu et al. 2022; Mihaela & Alina-Oana 2015). Studien zeigen, dass sich die Überzeugungen angehender Lehrkräfte im Verlauf der Lehrkräftebildung verändern, wobei sowohl Interventionen über kürzere Zeiträume, etwa innerhalb eines Semesters (Levin 2015; Löfström & Poom-Valickis 2013), als auch längerfristige Professionalisierungsprozesse wirksam sein können (Bönke et al. 2024). Gleichzeitig stellt Praxiserfahrung eine besondere Herausforderung für die Entwicklung motivational-affektiver Dispositionen dar, die im Kontext des Berufseinstiegs häufig als „Praxisschock" (Dicke et al. 2016) beschrieben wird. Dabei kann die Überforderung im Praxiseinstieg dazu führen, dass zum Beispiel Selbstwirksamkeitserwartungen geringer werden (Woolfolk Hoy & Burke-Spero 2005). Eine Möglichkeit, Praxiserfahrungen bereits in der universitären Lehrkräftebildung strukturiert anzuleiten und damit der Gefahr eines Praxisschocks entgegenzuwirken, bieten Lehr-Lern-Labore (Priemer & Roth 2020).

In der MINT Lehrkräftebildung werden Lehr-Lern-Labore zur Förderung der professionellen Kompetenz diskutiert, wobei besonders die Möglichkeit der Theorie-Praxis Verzahnung betont wird (Brüning et al. 2020). Im Lehr-Lern-Labor durchlaufen angehende Lehrkräfte den Zyklus des forschenden Lernens, wobei sie theoriegeleitet Lehr-Lern-Szenarien entwickeln, diese mit Lernenden durchführen und anschließend die Durchführung reflektieren und die Materialien adaptieren (Priemer & Roth 2020). Für die Förderung digitaler Kompetenzen liegt das besondere Potenzial darin, dass digital gestützte Lehr-Lern-Situationen bereits im Studium mit Schülerinnen und Schülern durchgeführt werden können (Meier et al. 2023). Dabei kann die Komplexität der Lehr-Lern-Situationen gezielt gesteuert werden, beispielsweise über Unterstützung durch Dozierende, die bekannte Hochschulumgebung oder die gemeinsame Durchführung, sodass

Sarah Wilken (2026): Evaluation eines Lehr-Lern-Labors: Veränderung von Überzeugungen und Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 11-27. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

nur einzelne Segmente der Lehr-Lern-Situationen alleine gemeistert werden müssen (z. B. Marohn et al. 2020). Damit können angehende Lehrkräfte, die noch keine Vorerfahrungen im Unterrichten von digital gestützten Lehr-Lern-Einheiten haben, entlastet werden. Die Integration digitaler Tools kann dabei stark variieren und von einzelnen digital gestützten Elementen bis hin zur Gestaltung einer gesamten Lehr-Lern-Situation oder einer digitalen Lernumgebung reichen (Meier et al. 2023). Insgesamt sind Lehr-Lern-Labore damit ein Lehrformat, in welchen Praxiserfahrung zur Förderung der digitalen Kompetenz gezielt angeleitet werden kann, sodass Überforderung vermieden werden kann.

Lehr-Lern-Labore eignen sich auch zur Förderung der digitalen Kompetenzen angehender Lehrkräfte in naturwissenschaftlichen Fächern (Holz & Heinicke 2020; Rochholz et al. 2020). Röwekamp und Marohn (2024) haben in einer Studie mit angehenden Chemielehrkräften (n = 42) einen signifikanten Zuwachs der Selbstwirksamkeitserwartung festgestellt. Darüber hinaus zeigen Quarder und Greefrath (2024), dass die professionelle Diagnosekompetenz angehender Mathematiklehrkräfte (n = 71) in einer Lehrveranstaltung mit Lehr-Lern-Labor zum digitalen Modellieren signifikant gesteigert werden konnte. In einer Lehrveranstaltung ohne Lehr-Lern-Labor konnte eine positive, aber nicht signifikante Entwicklung beschrieben werden (Quarder & Greefrath 2024). Diese Ergebnisse bestätigen auch Heuckmann und Kürten (2024), die Lehr-Lern-Labore der Fächer Sachunterricht, Mathematik, Chemie, Biologie, Geographie, Physik, Musik und Erziehungswissenschaft evaluiert haben. Die Motivation zur Integration digitaler Tools, die Selbstwirksamkeitserwartung zum Lehren mit digitalen Tools und die subjektive soziale Normerwartung zeigen dabei einen signifikanten Anstieg, während sich die Verhaltensintention und die Einstellungen zum Lehren und Lernen mit digitalen Tools nicht signifikant verändert haben (Heuckmann & Kürten 2024).

Studien zur Förderung der Selbstwirksamkeitserwartungen zeigen, dass motivational-affektive Facetten digitaler Kompetenz grundsätzlich förderbar sind (Bönke et al. 2024; Heuckmann & Kürten 2024; Löfström & Poom-Valickis 2013). Dabei bleibt bislang jedoch offen, inwiefern sich Überzeugungen und Motivation angehender Lehrkräfte zur Integration digitaler Tools in den Unterricht gezielt in Lehr-Lern-Laboren fördern lassen und ob Maßnahmen zur naturwissenschaftsdidaktischen digitalen Kompetenzförderung auch Veränderungen dieser motivational-affektiven Dispositionen bewirken. Vor dem Hintergrund des nachgewiesenen Einflusses von Überzeugungen und Motivation auf eine lernförderliche Integration digitaler Tools (Almerich et al. 2024; Ertmer 1999; Lilian 2022; Vogelsang et al. 2019) stellt dieses Desiderat eine zentrale Forschungslücke dar, der im vorliegenden Beitrag nachgegangen wird.

2.4. Forschungsfragen

Um die digitale Kompetenz angehender (Biologie-) Lehrkräfte zu fördern, ist die Förderung motivational-affektiver Dispositionen, wie Überzeugungen und Motivation zur Integration digitaler Tools, unerlässlich (Blömeke et al. 2015a; Vogelsang et al. 2019). Inwiefern sich motivational-affektive Dispositionen im Laufe eines Semesters verändern lassen, wird kontrovers diskutiert (Blömeke et al. 2015b; Löfström & Poom-Valickis 2013).

> *FF1: Inwiefern verändern sich die Überzeugungen und die Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools im Biologieunterricht im Laufe eines Semesters?*

In der Diskussion um die Veränderbarkeit von Motivation und Überzeugungen wird die hohe Komplexität schulischer Praxis häufig als Ursache für Überforderung angeführt (Dicke et al. 2016). Insbesondere die Integration digitaler Tools kann diese Komplexität weiter erhöhen, da neben fachlichen und didaktischen Anforderungen zusätzliche technologische Anforderungen hinzukommen. Lehr-Lern-Labore bieten die Möglichkeit die Komplexität von Lehr-Lern-Situationen gezielt zu steuern (Marohn et al. 2020). Dadurch ermöglicht das Lehrformat es angehenden Lehrkräften, die Integration digitaler Tools im komplexitätsreduzierten Rahmen zu erproben, zu reflektieren und weiterzuentwickeln und bietet damit Potenziale, motivational-affektive Dispositionen wie Überzeugungen und Motivation positiv zu beeinflussen (Heuckmann & Kürten 2024).

> *FF2: Inwiefern beeinflusst das Format Lehr-Lern-Labor die Entwicklung der Überzeugungen und der Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools im Biologieunterricht?*

Sarah Wilken (2026): Evaluation eines Lehr-Lern-Labors: Veränderung von Überzeugungen und Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 11-27. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

3. Methodik

3.1. Erhebungskontext

Die Studie ist als quasi-experimentelles Prä-Post-Design angelegt worden, wobei die Interventionsgruppe eine Lehrveranstaltung mit Lehr-Lern-Labor und die Vergleichsgruppe eine Lehrveranstaltung ohne Lehr-Lern-Labor ist. Beide Seminare sind an der Universität Münster durchgeführt worden und mit einer Seminarsitzung pro Semesterwoche (12 Termine im Semester) im Master of Education verortet. Die Erhebungen sind am Semesterbeginn (Präerhebung) und am Semesterende (Posterhebung) durchgeführt worden. Inhaltlich thematisieren beide Lehrveranstaltungen humanbiologisches Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und die Integration digitaler Tools in den Humanbiologieunterricht. Die Integration digitaler Tools ist dabei sowohl fachspezifisch als auch problemorientiert gedacht – zum Beispiel zur digitalen Erfassung von Vitalparametern (EKG, Blutdruck etc.), zur digital gestützten Organpräparation (Schweineherz, Schweinelunge etc.) oder zur Entwicklung einer Stundenfrage (Videos, Mentimeter etc.). Beispielweise wird in beiden Lehrveranstaltungen das respiratorische System fachlich erarbeitet sowie hinsichtlich der möglichen Unterrichtskontexte (z. B. chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), Unterschiede im Sport zwischen Männern und Frauen) und der Potenziale für die Integration digitaler Technologien im Unterricht (digitale Spirometrie, digital gestützte Organpräparation) diskutiert. Damit werden die Studierenden angeleitet, digitale Tools im Sinne des SAMR-Modells als Erweiterung oder Modifikation analogen Unterrichts einzusetzen (Puentedura 2006). Darüber hinaus soll die kognitive Aktivität der Schülerinnen und Schüler mitgedacht werden, sodass eine aktivierende und lernenden-zentrierte Integration digitaler Tools anvisiert wird (Chi & Wylie 2014). Der Unterschied zwischen den Lehrveranstaltungen liegt in der praktischen Anwendung: Während die Studierenden der Interventionsgruppe ihr fachdidaktisches Wissen im Rahmen des Lehr-Lern-Labors in einer Unterrichtsplanung umgesetzt und mit Schülerinnen und Schülern (90 Minuten) durchgeführt haben, haben die Studierenden der Vergleichsgruppe ihr fachdidaktisches Wissen im Rahmen der Lehrveranstaltung mit Studierenden durchgeführt (45 Minuten) und diskutiert. Während der Zyklus von Vermittlung fachwissenschaftlichem und fachdidaktischem Wissen, Praxiserfahrung und Reflexion in der Interventionsgruppe innerhalb eines Semesters in 6 Sitzungen á 4 Stunden einmal durchgeführt wird, wird der Zyklus in der Kontrollgruppe innerhalb eines Semesters in 12 Sitzungen á 2 Stunden in jeder Sitzung wiederholt (s. Tab. 1). Damit liegt der Fokus beider Lehrveranstaltungen auf dem Verständnis humanbiologischen Fachwissens, der Planung von Humanbiologieunterricht und die Integration digitaler Tools im Humanbiologieunterricht (Wilken & Heuckmann 2024). Unterschiede bestehen in der praktischen Umsetzung und der zeitlichen Organisation der Lehrveranstaltung (s. Tab. 1).

Sarah Wilken (2026): Evaluation eines Lehr-Lern-Labors: Veränderung von Überzeugungen und Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 11-27. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Tabelle 1: Vergleich der Interventionsgruppe und Vergleichsgruppe hinsichtlich Lehrveranstaltung, Dauer, Sozialform, geförderter digitaler Kompetenzen und Förderung motivational-affektiver Dispositionen

	Interventionsgruppe	**Vergleichsgruppe**
Lehrveranstaltung	Seminar mit Lehr-Lern-Labor	Seminar ohne Lehr-Lern-Labor
Dauer	Über ein Semester 6 Sitzung á 4 Stunden (insgesamt 12 h)	Über ein Semester 12 Sitzung á 2 Stunden (insgesamt 12 h)
Sozialformen	Einzelarbeit und Gruppenarbeit	Einzelarbeit und Gruppenarbeit
Förderung digitaler Kompetenz (Becker et al. 2020)		
Dokumentation	Nicht gezielt adressiert	Nicht gezielt adressiert
Präsentation	Halten eines digital gestützten Fachvortrags	Halten eines digital gestützten Fachvortrags
Kommunikation/ Kollaboration	Nicht gezielt adressiert	Nicht gezielt adressiert
Recherche und Bewertung	Digital gestützte Recherche für den Fachvortrag und die Planung der Praxisphase	Digital gestützte Recherche für den Fachvortrag und die Planung der Praxisphase
Messwert- und Datenerfassung	Digital gestützte Datenerfassung (z. B. Spirometrie zur Erfassung des Atemzugsvolumen)	Digital gestützte Datenerfassung (z. B. Spirometrie zur Erfassung des Atemzugsvolumen)
Datenverarbeitung	Digital gestützte Datenverarbeitung (z. B. digital gestützte Analyse verschiedener Atemzugsvolumen)	Digital gestützte Datenverarbeitung (z. B. digital gestützte Analyse verschiedener Atemzugsvolumen)
Simulation und Modellierung	Nicht gezielt adressiert	Nicht gezielt adressiert
Förderung motivational-affektiver Dispositionen		
Praxiserfahrung	Planung und Durchführung einer Lehr-Lern-Labor-Einheit (90 Minuten) mit Schülerinnen und Schülern	Planung und Durchführung einer Lehr-Lern-Labor-Einheit (45 Minuten) mit Studierenden
Reflexion der Praxiserfahrung	Reflexion der eigenen Durchführung und der Integration digitaler Tools (am Semesterende)	Reflexion der eigenen Durchführung und der Integration digitaler Tools (nach jeder Seminarsitzung)
Kollegialer Austausch	Nicht gezielt adressiert	Nicht gezielt adressiert

3.2. Datenerhebung

Die Erhebung ist über den Verlauf von drei Semestern durchgeführt worden: Im Wintersemester 2023/2024 (10/2023 bis 01/2024), im Sommersemester 2024 (04/2024 bis 07/2024) und im Wintersemester 2024/2025 (10/2024 bis 01/2025). Insgesamt sind n = 104 angehende Biologielehrkräfte befragt worden (Weiblich = 65 %; Männlich = 35 %), wobei die Verteilung auf die Interventions- und Vergleichsgruppe der Tabelle 2 zu entnehmen ist. Alle Befragten sind im Master of Education Biologie eingeschrieben gewesen. Die Teilnehmenden sind über das Ziel der Studie und die Möglichkeit ihr Einverständnis zurückzuziehen informiert worden. Damit haben alle Teilnehmenden freiwillig ihre informierte Zustimmung zur Teilnahme gegeben.

Tabelle 2: Stichprobe

Gruppe	$ÜD_{Prä}$	$ÜD_{Post}$	$ÜkA_{Prä}$	$ÜkA_{Post}$	$MOT_{Prä}$	MOT_{Post}
n_{IG}	71	71	71	71	40	40
n_{VG}	33	33	33	33	33	33
n_{gesamt}	104	104	104	104	73	73

Notiz: n_{IG} = Teilnehmende Interventionsgruppe; n_{VG} = Teilnehmende Vergleichsgruppe; n_{gesamt} = Teilnehmende gesamt; $ÜD_{Prä}$ = Überzeugungen zur digital gestützten Differenzierung in der Präerhebung; $ÜD_{Post}$ = Überzeugungen zur digital gestützten Differenzierung in der Posterhebung; $ÜkA_{Prä}$ = Überzeugungen zur digital gestützten kognitiven Aktivierung in der Präerhebung; $ÜkA_{Post}$ = Überzeugungen zur digital gestützten kognitiven Aktivierung in der Präerhebung; $MOT_{Prä}$ = Motivation zur Integration digitaler Tools im Unterricht in der Präerhebung; MOT_{Post} = Motivation zur Integration digitaler Tools im Unterricht in der Posterhebung

Für die Erhebung der Überzeugungen zur digital gestützten Differenzierung (ÜD) und zur digital gestützten kognitiven Aktivierung (ÜkA) angehender Lehrkräfte ist ein Messinstrument von Runge et al. (2023) adaptiert worden. Für die Erhebung der Motivation zur Integration digitaler Tools im Unterricht ist ein Messinstrument von Heuckmann und Kürten (2024; adaptiert nach Vogelsang et al. 2019) eingesetzt worden. Zur Bestimmung der internen Konsistenz wurde Cronbach Alpha und McDonalds Omega berechnet, wobei Werte >0,70 als akzeptabel gelten (Kline 2016). Die Reliabilität aller Skalen ist akzeptabel und kann der Tabelle 3 entnommen werden. Beide Instrumente nutzen eine 5-stufige Likert-Skala von *Ich stimme voll zu* = 5 bis *Ich stimme gar nicht zu* = 1 (Heuckmann & Kürten 2024; Runge et al. 2023; Vogelsang et al. 2019).

Tabelle 3: Reliabilität des Messinstruments

Konstrukt	Beispielitem	r_{it}	n_{it}	α_{Skala}	Ω_{skala}
ÜD	Ich kann digitale Tools zur Personalisierung von Lernaktivitäten in meinem Klassenzimmer überarbeiten und weiterentwickeln.	0,85	6	0,87	0,88
ÜkA	Ich kann über die Angemessenheit digitaler Tools zur Förderung des aktiven Lernens der Schülerinnen und Schüler nachdenken und meine Unterrichtsstrategien entsprechend anpassen.	0,75	6	0,80	0,80
MOT	Digitale Medien für den Unterricht auszuwählen oder zu erstellen, ist einer der interessantesten Teile bei der Unterrichtsvorbereitung.	0,83	6	0,84	0,84

Notiz: ÜD = Überzeugungen zur digital gestützten Differenzierung; ÜkA = Überzeugungen zur digital gestützten kognitiven Aktivierung; MOT = Motivation zur Integration digitaler Tools im Unterricht; r_{it} = Trennschärfe Item; n_{it} = Anzahl Items; α_{Skala} = Cronbachs α Skala, Ω_{skala} = McDonalds Ω Skala

3.3. Datenauswertung

Die statistische Analyse der Überzeugungen zur digital gestützten Differenzierung, der Überzeugungen zur digital gestützten kognitiven Aktivierung und der Motivation zur Integration digitaler Tools im Unterricht ist mit SPSS 29.0.2.0 (20) durchgeführt worden. Um die Entwicklung von Überzeugung und Motivation zu untersuchen (FF1), und zu untersuchen, inwiefern die Lehrveranstaltung mit Lehr-Lern-Labor die Entwicklung der Überzeugungen und der Motivation beeinflusst hat (FF2), ist eine zweifaktorielle (Zeit & Gruppe) ANOVA mit Messwiederholung berechnet worden. Haupteffekte sind für die Entwicklung über den Semesterverlauf (Zeit) bestimmt worden und Interaktionseffekte für Zusammenhänge der Entwicklung über die Zeit und der Lehrveranstaltung (Gruppe: Interventionsgruppe/ Vergleichsgruppe). Für die Effektstärke ist das partielle Eta-Quadrat (η_p^2) herangezogen worden, was nach Cohen (1992) ab $\eta_p^2 = 0{,}01$ als kleiner Effekt, ab $\eta_p^2 = 0{,}06$ als mittlere Effekt und ab $\eta_p^2 = 0{,}14$ als starker Effekt gilt.

4. Ergebnisse

4.1. Entwicklung der Überzeugungen und Motivation über den Seminarverlauf

Tabelle 4 zeigt, dass die Studierenden zu Beginn der Lehrveranstaltung überwiegend den Aussagen zu Überzeugungen hinsichtlich der digital gestützten Differenzierung zugestimmt haben ($M_{IG} = 3{,}89$; $SD_{IG} = 0{,}48$; $M_{VG} = 3{,}59$; $SD_{VG} = 0{,}64$). Am Ende der Lehrveranstaltung war die Zustimmung signifikant geringer ($M_{IG} = 3{,}16$; $SD_{IG} = 0{,}92$; $M_{VG} = 3{,}54$; $SD_{VG} = 0{,}72$) mit einer großen Effektstärke ($\eta^2_{Zeit} = 0{,}16$). Diese Entwicklung zeigt sich auch bei Überzeugungen zur digital gestützten kognitiven Aktivierung; zu Beginn der Lehrveranstaltung stimmen die Studierenden den Aussagen zu Überzeugungen überwiegend zu ($M_{IG} = 4{,}03$; $SD_{IG} = 0{,}46$; $M_{VG} = 3{,}79$; $SD_{VG} = 0{,}54$) und am Ende der Lehrveranstaltung stimmen sie signifikant weniger zu ($M_{IG} = 3{,}28$; $SD_{IG} = 0{,}52$; $M_{VG} = 3{,}58$; $SD_{VG} = 0{,}64$; $\eta^2_{Zeit} = 0{,}27$). Die Motivation der Studierenden zur Integration digitaler Tools im Unterricht ist zu Beginn der Lehrveranstaltung ebenfalls hoch ausgeprägt ($M_{IG} = 3{,}73$; $SD_{IG} = 0{,}64$; $M_{VG} = 3{,}40$; $SD_{VG} = 0{,}78$), sinkt bis zum Ende der Lehrveranstaltung aber signifikant ab ($M_{IG} = 3{,}43$; $SD_{IG} = 0{,}80$; $M_{VG} = 3{,}34$; $SD_{VG} = 0{,}60$; $\eta^2_{Zeit} = 0{,}10$).

Tabelle 4: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen

Skala	Gruppe	$M_{Prä}$	$SD_{Prä}$	M_{Post}	SD_{Post}	ΔM	$Sig._{Zeit}$	η^2_{Zeit}	$Sig._{Gruppe}$	η^2_{Gruppe}
ÜD	IG	3,89	0,48	3,16	0,92	0,73	0,00***	0,16	0,00***	0,13
ÜD	VG	3,59	0,64	3,54	0,72	0,05				
ÜkA	IG	4,03	0,46	3,28	0,52	0,75	0,00***	0,27	0,00***	0,10
ÜkA	VG	3,79	0,54	3,58	0,64	0,21				
MOT	IG	3,73	0,64	3,43	0,80	0,30	0,00**	0,10	0,07	–
MOT	VG	3,40	0,78	3,34	0,60	0,06				

Notiz: IG = Interventionsgruppe mit Lehr-Lern-Labor; VG = Vergleichsgruppe ohne Lehr-Lern-Labor; ÜD = Überzeugungen zur digital gestützten Differenzierung; ÜkA = Überzeugungen zur digital gestützten kognitiven Aktivierung; MOT = Motivation zur Integration digitaler Tools im Unterricht; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung; η^2 = partielles Eta-Quadrat.

4.2. Entwicklung der Überzeugungen und Motivation zwischen den Gruppen

Tabelle 4 zeigt, dass die Teilnahme an der Lehrveranstaltung einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung der Überzeugungen über den Semesterverlauf hat. Zu Beginn der Lehrveranstaltung stimmen die Studierenden beider Lehrveranstaltungen den Aussagen zu Überzeugungen zur digital gestützten Differenzierung stärker zu als am Ende der Lehrveranstaltung ($\Delta M_{IG} = 0{,}73$; $\Delta M_{VG} = 0{,}05$). Der Unterschied zwischen den Gruppen ist dabei signifikant ($\eta^2_{Zeit} = 0{,}13$). Den Aussagen zu Überzeugungen zur digital gestützten kognitiven Aktivierung stimmen die Studierenden beider Gruppen ebenfalls zu Beginn der Lehrveranstaltung stärker zu als am Ende ($\Delta M_{EG} = 0{,}52$; $\Delta M_{KG} = 0{,}21$), wobei auch hier der Unterschied zwischen den Gruppen signifikant ist ($\eta^2_{Zeit} = 0{,}10$). Darüber hinaus fällt die Motivation der Studierenden zur Integration digitaler Tools im Unterricht in beiden Gruppen ($\Delta M_{EG} = 0{,}30$; $\Delta M_{KG} = 0{,}06$), allerdings ist der Unterschied zwischen den Gruppen nicht signifikant.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse zur Entwicklung von Überzeugungen und Motivation über die Zeit (s. Tabelle 4; $Sig._{Zeit}$; η^2_{Zeit}), dass die Zustimmung zu Aussagen über Überzeugungen zur digital gestützten Differenzierung und kognitiven Aktivierung sowie die Motivation zur Integration digitaler Tools über den Verlauf des Semesters abnehmen. Der Interaktionseffekt (s. Tabelle 4; $Sig._{Gruppe}$; η^2_{Gruppe}) zeigt, dass die Zustimmung zu den Überzeugungen zur digital gestützten Differenzierung sowie zur digital gestützten kognitiven Aktvierung in der Lehrveranstaltung mit Lehr-Lern-Labor (Interventionsgruppe) signifikant stärker sinken als in der Vergleichsgruppe ohne Lehr-Lern-Labor. Für die Veränderung der Motivation lässt sich der Unterschied zwischen den Gruppen nicht zeigen.

5. Diskussion

Die vorliegende Studie evaluiert ein Lehr-Lern-Labor, das auf die Förderung digitaler Kompetenzen angehender Biologielehrkräfte abzielt, indem digital gestützter Humanbiologieunterricht vorbereitet, durchgeführt und reflektiert wird (Wilken & Heuckmann 2024). Für eine lernförderliche Integration digitaler Tools in den Unterricht ist die digitale Kompetenz von Lehrkräften von zentraler Bedeutung (Lachner et al. 2020; von Kotzebue 2022). Der vorliegende Beitrag stellt eine Lehrveranstaltung vor, die durch die Kombination praktischer (Bönke et al. 2024; Mihaela & Alina-Oana 2015) und reflexiver Lehrelemente (Bönke et al. 2024; Enderle et al. 2022; Liu et al. 2022; Mihaela & Alina-Oana 2015) gezielt die motivational-affektiven Dispositionen digitaler Kompetenz fördern soll. Darüber hinaus werden durch die Integration verschiedener digitaler Lehrelemente und Tools sowohl allgemeine als auch naturwissenschaftsspezifische digitale Kompetenzen adressiert (s. Tab. 1). Im Folgenden werden (1) die Veränderung der Überzeugungen und der Motivation der Studierenden sowie (2) die Konzeption der Lehrveranstaltung dargestellt und diskutiert.

Die Ergebnisse zur Veränderung der Überzeugungen zur digital gestützten Differenzierung und kognitiven Aktivierung (Runge et al. 2023) sowie der Motivation (Heuckmann & Kürten 2024; Vogelsang et al. 2019) zeigen, dass angehende Lehrkräfte am Ende beider Lehrveranstaltungen eine geringere Motivation sowie eine reduzierte Zustimmung zu Überzeugungen zur Integration digitaler Tools in den Unterricht aufweisen. Diese Effekte sind mit mittlerer bis hoher Effektstärke statistisch signifikant und deuten darauf hin, dass im Rahmen der Umsetzung der Lehrveranstaltungen keine positive Entwicklung motivational-affektiver Dispositionen initiiert wurde. Mit Blick auf den Forschungsdiskurs lassen sich diese Befunde auf zwei Arten interpretieren. Erstens können die Ergebnisse als Bestätigung der kontroversen Befundlage zur Veränderbarkeit motivational-affektiver Dispositionen verstanden werden, die bislang keine einheitlichen Entwicklungsverläufe aufzeigt (Löfström & Poom-Valickis 2013). Der signifikante Rückgang der Motivation sowie die verringerte Zustimmung zu Überzeugungen zur Integration digitaler Tools verdeutlichen, dass das Initiieren von Veränderungsprozessen durch das Zusammenspiel vieler Faktoren wie der Anzahl der Lerngelegenheiten, der Kombination verschiedener Lehrelemente und des Komplexitätsgrades von Praxissituationen hochkomplex ist. Über den Untersuchungszeitraum von zwölf Wochen wurden zwar Veränderungen erfasst, diese entsprechen jedoch nicht der intendierten Steigerung digitaler Kompetenz. In diesem Sinne legen die Ergebnisse nahe, dass eine Förderung digitaler Kompetenz, analysiert über motivational-affektive Dispositionen, nicht erreicht wurde. Zweitens stehen die Befunde im Widerspruch zu der Annahme, dass eine höhere Anzahl an Lerngelegenheiten zu einer Steigerung der digitalen Kompetenz angehender

Lehrkräfte führt (Eickelmann & Gerick 2020; Porsch et al. 2021). Die Ergebnisse verdeutlichen vielmehr, dass die gezielte Förderung digitaler Kompetenz unter Einbezug motivational-affektiver Dispositionen ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Faktoren erfordert. Vor diesem Hintergrund erscheint eine systematische Analyse des Einflusses einzelner Lehrelemente, insbesondere von Praxis- und Reflexionsphasen, vielversprechend, um differenziertere Einblicke in die Entwicklung digitaler Kompetenz zu gewinnen. Darüber hinaus sollte kritisch reflektiert werden, inwiefern Überzeugungen und Motivation angehender Lehrkräfte geeignete Indikatoren darstellen, um die intendierte Förderung digitaler Kompetenz abzubilden. Zukünftige Forschung könnte ergänzend die Performanz von Lehrkräften als explizite Ausprägung digitaler Kompetenz heranziehen, um Lehrveranstaltungen differenzierter zu evaluieren (von Kotzebue 2022).

Die Lehrveranstaltung, die ein Lehr-Lern-Labor integrierte, führte zu einer signifikant geringeren Zustimmung zu Überzeugungen zur Integration digitaler Tools in den Unterricht im Vergleich zu der Lehrveranstaltung ohne Lehr-Lern-Labor. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zur erwarteten Wirkung, da Lehr-Lern-Labore grundsätzlich die Möglichkeit bieten, digitale Tools in einem komplexitätsreduzierten Raum zu erproben und deren Integration systematisch zu reflektieren (Meier et al. 2023; Priemer & Roth 2020). Ein zentraler Unterschied zwischen den beiden Lehrveranstaltungen liegt im Ausmaß des Praxisbezugs. Während angehende Lehrkräfte im Lehr-Lern-Labor ihre Lehr-Lern-Szenarien mit Schülerinnen und Schülern durchführten, setzten die Studierenden der Vergleichsveranstaltung ihre Planungen mit anderen Studierenden um. Ein möglicher Erklärungsansatz für die signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen liegt daher im unterschiedlichen Komplexitätsgrad der Praxissituationen. Zusätzlich zur Herausforderung der Integration digitaler Tools mussten die angehenden Lehrkräfte im Lehr-Lern-Labor mit einer realen Lerngruppe arbeiten. Da die Lehrveranstaltung im Master of Education verortet ist, kann es sein, dass viele der angehenden Lehrkräfte zuvor nur begrenzte Erfahrungen im Unterrichten von Schülerinnen und Schülern gesammelt haben und die Situation als überfordernd erlebten.

Durch die authentische Praxiserfahrung erhielten die angehenden Lehrkräfte im Lehr-Lern-Labor einen realistischen Einblick in digital gestützte Unterrichtspraxis. Dabei wurden sie nicht nur mit technischen und didaktischen Herausforderungen konfrontiert, sondern auch mit einer unbekannten Lerngruppe, divergierenden Erwartungen sowie Anforderungen des Classroom Managements. Die vorliegenden Ergebnisse stehen damit im Einklang mit Befunden zum sogenannten Praxisschock, die Überforderung in der Unterrichtspraxis als relevanten Einflussfaktor auf motivational-affektive Dispositionen beschreiben (Dicke et al. 2016). Vor diesem Hintergrund ist es möglich, dass den angehenden Lehrkräften im Rahmen der Lehrveranstaltung bewusst geworden ist, dass die Integration digitaler Tools neben Potenzialen auch spezifische Herausforderungen birgt. So können beispielsweise technische Probleme, etwa eine instabile Internetverbindung, im Unterricht mit Schülerinnen und Schülern zu deutlich mehr Unruhe führen als in Lehr-Lern-Szenarien mit Kommilitoninnen und Kommilitonen. Im bestehenden Lehrformat könnten daher gezielte Unterstützungsmaßnahmen entlastend wirken, etwa die Durchführung mit kleineren Lerngruppen, die Fokussierung auf ein bis zwei digitale Kompetenzen oder eine Reduktion der inhaltlichen Breite. Insgesamt wird damit für die Konzeption zukünftiger Lehrveranstaltungen deutlich, dass eine systematische und strukturierte Unterstützung angehender Lehrkräfte in der Vorbereitung und Durchführung digital gestützter Lehr-Lern-Einheiten notwendig ist (Marohn et al. 2020).

6. Limitationen

Die vorliegende Studie ist durch folgende Bedingungen limitiert. Erstens, die Überzeugungen und die Motivation sind generisch erfragt worden, wobei der domänenspezifische Anteil, der sich aus der Integration in den Humanbiologieunterricht ergibt, vernachlässigt wurde (Asbury et al. 2025; Wilken et al. 2025). Zweitens, ist nur eine Prä- und eine Posterhebung durchgeführt worden, wodurch unklar bleibt, ob die Veränderung der Überzeugung und der Motivation auf die praktische Umsetzung zurückzuführen ist. Der Einfluss der Reflexion kann so weder untersucht noch ausgeschlossen werden. Drittens, es bestehen neben den Unterschieden in der Praxiserfahrung zwischen den Lehrveranstaltungen der Interventions- und der Vergleichsgruppe auch Unterschiede im organisatorischen Rahmen (s. Tab. 1). Während die Vergleichsgruppe über 12 Wochen wöchentlich in je 2 Stunden neue humanbiologische Inhalte digital und analog aufarbeitet, fokussiert die Interventionsgruppe ausgewählte Fachinhalte und deren digital gestützte praktische Umsetzung über mehrere Stunden in sechs Sitzungen.

7. Implikation und Ausblick

Die Ergebnisse bestätigen vorherige Ansätze, die die Komplexität von digital gestützten Lehr-Lern-Situationen beschreiben (Marohn et al. 2020; Meier et al. 2023). Für die Lehrkräftebildung zeigt das auf, dass die Förderung der digitalen Kompetenzen bereits im Studium beginnen sollte, um die Komplexität zu regulieren und Studierende schrittweise auf die Integration digitaler Tools vorzubereiten (Vogelsang et al. 2019). Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass die Studierenden der Integration digitaler Tools in den Unterricht bereits vor der Lehrveranstaltung positiv gegenüberstehen und bereits eine hohe Motivation zur Integration mitbringen. Über den Semesterverlauf sinkt die Motivation zur Integration digitaler Tools leicht ab und die Studierenden sind weniger überzeugt von digital gestützter Differenzierung und kognitiver Aktivierung. Durch die authentische Praxiserfahrung kann das auf eine realistische Einschätzung der Komplexität von digital gestütztem Unterricht hinweisen und Rückschlüsse auf die Gestaltung komplexitätsreduzierter Lehrveranstaltungen zulassen.

Darüber hinaus sollte zukünftige Forschung den Einfluss von Wissen und Reflexion auf motivational-affektive Dispositionen systematisch untersuchen. Es gibt sowohl Hinweise für den Einfluss von Praxiserfahrung (Ng et al. 2010) als auch den der Reflexion (Bönke et al. 2024; Mihaela & Alina-Oana 2015), weshalb systematisch untersucht werden sollte, wodurch Veränderungen begünstigt werden. Sollten sich Überzeugungen und Motivation nach der Reflexion und nicht nach der Praxis verändern, könnte dies Hinweise auf die Anpassung an realistische Lehr-Lern-Situationen statt auf Überforderung bestätigen.

Literatur

Ajzen, I. (1991): The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), S. 179-211. https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T

Almerich, G., Gargallo-Jaquotot, P. & Suárez-Rodríguez, J. (2024): ICT integration by teachers: A basic model of ICT use, pedagogical beliefs, and personal and contextual factors. *Teaching and Teacher Education*, 145, 104617. https://doi.org/10.1016/J.TATE.2024.104617

Antonietti, C., Schmitz, M. L., Consoli, T., Cattaneo, A., Gonon, P. & Petko, D. (2023): Development and validation of the ICAP Technology Scale to measure how teachers integrate technology into learning activities. *Computers and Education*, 192, 104648. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104648

Asbury, K., Carstensen, B. & Klusmann, U. (2025): Changing perspectives: The development of preservice teachers' field-specific ability beliefs across academic disciplines. *British Journal of Educational Psychology*, S. 1-9. https://doi.org/10.1111/bjep.70019

Backfisch, I., Lachner, A., Hische, C., Loose, F. & Scheiter, K. (2020): Professional knowledge or motivation? Investigating the role of teachers' expertise on the quality of technology-enhanced lesson plans. *Learning and Instruction*, 66. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101300

Backfisch, I., Lachner, A., Stürmer, K. & Scheiter, K. (2021a): Gelingensbedingungen beim Einsatz digitaler Medien im Unterricht. Kognitive und motivationale Voraussetzungen von Lehrpersonen. In N. Beck, T. Bohl & S. Meissner (Hrsg.), *Vielfältig herausgefordert: Forschungs- und Entwicklungsfelder der Lehrerbildung auf dem Prüfstand* (Bd. 2, S. 73-86). Tübingen: University Press. https://doi.org/10.15496/publikation-52635

Backfisch, I., Lachner, A., Stürmer, K. & Scheiter, K. (2021b): Variability of teachers' technology integration in the classroom: A matter of utility! *Computers and Education*, *166*. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104159

Baumert, J. & Kunter, M. (2011): Das Kompetenzmodell von COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29-53). Münster u. a.: Waxmann.

Baumert, J. & Kunter, M. (2013): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In I. Gogolin, H. Kuper, H.-H. Krüger & J. Baumert (Hrsg.), *Stichwort: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* (S. 277-337). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-00908-3_13

Sarah Wilken (2026): Evaluation eines Lehr-Lern-Labors: Veränderung von Überzeugungen und Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 11-27. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Becker, S., Meßinger-Koppelt, J. & Thyssen, C. (2020): *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*. https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/user_upload/JHS_Digitale_Basiskompetenzen_Naturwissenschaften_Web.pdf

Bice, H. & Tang, H. (2022): Teachers' beliefs and practices of technology integration at a school for students with dyslexia: A mixed methods study. *Education and Information Technologies*, *27*(7), S. 10179-10205. https://doi.org/10.1007/s10639-022-11044-1

Blömeke, S., Gustafsson, J. E. & Shavelson, R. J. (2015a): Beyond dichotomies: Competence viewed as a continuum. *Zeitschrift für Psychologie*, *223*(1), S. 3-13. https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000194

Blömeke, S., Hoth, J., Döhrmann, M., Busse, A., Kaiser, G. & König, J. (2015b): Teacher change during induction: Development of beginning primary teachers' knowledge, beliefs and performance. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *13*(2), S. 287-308. https://doi.org/10.1007/s10763-015-9619-4

Bönke, N., Klusmann, U., Kunter, M., Richter, D. & Voss, T. (2024): Long-term changes in teacher beliefs and motivation: Progress, stagnation or regress? *Teaching and Teacher Education*, *141*, 104489. https://doi.org/10.1016/J.TATE.2024.104489

Brüning, A.-K., Käpnick, F., Weusmann, B., Köster, H. & Nordmeier, V. (2020): Lehr-Lern-Labore im MINT-Bereich – eine konzeptionelle Einordnung und empirischkonstruktive Begriffskennzeichnung. In B. Priemer & J. Roth (Hrsg.), *Lehr-Lern-Labore: Konzepte und deren Wirksamkeit in der MINT-Lehrpersonenbildung* (S. 13-26). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58913-7_2

Chi, M. T. H. & Wylie, R. (2014): The ICAP Framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, *49*(4), S. 219-243. https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823

Cohen, J. (1992): A power primer. *Psychological Bulletin*, *112*(1), S. 155-159. https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155

Davis, F. D. (1989): Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *Source: MIS Quarterly*, *13*(3), S. 319-340.

Dicke, T., Holzberger, D., Kunina-Habenicht, O., Linninger, C., Schulze-Stocker, F., Seidel, T., Terhart, E., Leutner, D. & Kunter, M. (2016): „Doppelter Praxisschock" auf dem Weg ins Lehramt? Verlauf und potenzielle Einflussfaktoren emotionaler Erschöpfung während des Vorbereitungsdienstes und nach dem Berufseintritt. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, *63*(4), S. 244-257. https://doi.org/10.2378/peu2016.art20d

Eccles, J. S. & Wigfield, A. (2002): Motivational beliefs, values and goals. *Annual Review Psychology*, *53*, S. 109-141. https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135153

Eickelmann, B. & Gerick, J. (2020): Lernen mit digitalen Medien. Zielsetzungen in Zeiten von Corona und unter besonderer Berücksichtigung von sozialen Ungleichheiten. In D. Fickermann & B. Edelstein (Hrsg.), *„Langsam vermisse ich die Schule …". Schule während und nach der Corona-Pandemie* (S. 153-162). Münster, New York: Waxmann. https://doi.org/10.25656/01:20235

Elmali, S. (2022): Reflections of hands-on dissection and virtual dissection experiences of pre-service science teachers. *Journal of Biological Education*, *58*(2), S. 355-363. https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2058984

Enderle, P., Grooms, J., Sampson, V., Sengul, O. & Koulagna, Y. (2022): How the co-design, use, and refinement of an instructional model emphasizing argumentation relates to changes in teachers' beliefs and practices. *International Journal of Science Education*, *44*(14), S. 1-27. https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2115324

Ertmer, P. A. (1999): Addressing first- and second-order barriers to change: Strategies for technology integration. *Educational Technology Research and Development*, *47*(4), S. 47-61. https://doi.org/10.1007/BF02299597

Ertmer, P. A. (2005): Teacher pedagogical beliefs: The final frontier in our quest for technology integration? *Educational Technology Research and Development*, *53*(4), S. 25-39. https://doi.org/10.1007/BF02504683

Ertmer, P. A. & Ottenbreit-Leftwich, A. T. (2010): Teacher technology change: How knowledge, confidence, beliefs, and culture intersect. *Journal of Research on Technology in Education*, *42*(3), S. 255-284. https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782551

Fishbein, M. & Ajzen, I. (2011): *Predicting and changing behavior: The reasoned action approach*. New York: Psychology Press. https://doi.org/10.4324/9780203838020

Fives, H. & Buehl, M. M. (2012): Spring cleaning for the "messy" construct of teachers' beliefs: What are they? Which have been examined? What can they tell us? In K. R. Harris, S. Graham, T. C. Urdan & S. Graham (Hrsg.), *APA educational Psychology handbook, Individual differences and cultural and contextual factors*. (Bd. 2, S. 471-499). American Psychological Association. https://doi.org/10.1037/13274-019

Funke, M., Bergmann-Gering, A., Müller, K. & Zabel, J. (2024): Pre-service teachers' beliefs on the subject-specific use of digital media in biology classrooms. *Technology, Knowledge and Learning*, 30. https://doi.org/10.1007/s10758-024-09800-y

Hammann, M. & Asshoff, R. (2017): *Schülervorstellungen im Biologieunterricht. Ursachen für Lernschwierigkeiten* (3. Aufl.). Seelze: Klett Kallmeyer.

Härtig, H., Ostermann, A., Ropohl, M., Schwanewedel, J., Kampschulte, L. & Lindmeier, A. (2021): Gibt es einen fachspezifischen Medieneinsatz im naturwissenschaftlichen Fachunterricht? Ergebnisse einer Fragebogenerhebung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27(1), S. 139-154. https://doi.org/10.1007/s40573-021-00130-5

Heuckmann, B. & Kürten, R. (2024): Entwicklung professioneller Kompetenz von Studierenden durch den Besuch von Lehr-Lern-Labor-Seminaren zum Einsatz digitaler Medien. Ergebnisse einer Evaluationsstudie zur Veränderung von Selbstwirksamkeitserwartungen. In R. Kürten, G. Greefrath & M. Hammann (Hrsg.), *Digitale Medien in Lehr-Lern-Laboren* (1. Aufl., S. 185-204). Münster: Waxmann. https://doi.org/10.31244/9783830998365

Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I. & Reiss, K. M. (2020): The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers & Education*, 153, 103897. https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2020.103897

Holz, C. & Heinicke, S. (2020): Unsichere Daten beim Experimentieren. Förderung des Lehrerhandelns in ungeplanten Situationen im physikdidaktischen Lehr-Lern-Labor La:gune. In R. Kürten, G. Greefrath & M. Hammann (Hrsg.), *Komplexitätsreduktion in Lehr-Lern-Laboren* (1. Aufl., S. 185-206). Münster, New York: Waxmann.

Hug, B. (2008): Re-examining the practice of dissection: What does it teach? *Journal of Curriculum Studies*, 40(1), S. 91-105. https://doi.org/10.1080/00220270701484746

Kim, C., Kim, M. K., Lee, C., Spector, J. M. & DeMeester, K. (2013): Teacher beliefs and technology integration. *Teaching and Teacher Education*, 29(1), S. 76-85. https://doi.org/10.1016/j.tate.2012.08.005

Kline, R. B. (2016): Principles and practice of structural equation modeling. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal* (4. Aufl., Nummer 3). The Guliford Press. https://doi.org/10.1080/10705511.2012.687667

KMK (2019): *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen*. www.schulministerium.nrw.de

Lachner, A., Scheiter, K. & Stürmer, K. (2020): Digitalisierung und Lernen mit digitalen Medien als Gegenstand der Lehrerinnen- und Lehrerbildung. In C. Cramer, J. König, M. Rothland & S. Blömeke (Hrsg.), *Handbuch Lehrerinnen- und Lehrerbildung* (S. 67-75). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt. https://doi.org/10.35468/hblb2020-007

Lee, J., Cerreto, F. A. & Lee, J. (2010): Theory of planned behavior and teachers' decisions regarding use of educational technology. *Educational Technology & Society*, 13(1), S. 152-164.

Levin, B. B. (2015): The development of teachers' beliefs. In H. Fives & M. G. Gill (Hrsg.), *International handbook of research on teachers' beliefs* (S. 48-65). New York, London: Routlege.

Lilian, A. (2022): Motivational beliefs, an important contrivance in elevating digital literacy among university students. *Heliyon*, 8(12). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11913

Liu, M., Zwart, R., Bronkhorst, L. & Wubbels, T. (2022): Chinese student teachers' beliefs and the role of teaching experiences in the development of their beliefs. *Teaching and Teacher Education*, 109, Article 103525. https://doi.org/10.1016/j.tate.2021.103525

Löfström, E. & Poom-Valickis, K. (2013): Beliefs about teaching: Persistent or malleable? A longitudinal study of prospective student teachers' beliefs. *Teaching and Teacher Education*, 35, S. 104-113. https://doi.org/10.1016/J.TATE.2013.06.004

Marohn, A., Greefrath, G., Hammann, M., Hemmer, M., Kürten, R. & Windt, A. (2020): Komplexitätsreduktion in Lehr-Lern-Laboren: Ein Planungs- und Reflexionsmodell. In R. Kürten, G. Greefrath & M. Hammann (Hrsg.), *Komplexitätsreduktion in Lehr-Lern-Laboren: Innovative Lehrformate in der Lehrerbildung zum Umgang mit Heterogenität und Inklusive* (S. 17-32). Münster, New York: Waxmann.

Sarah Wilken (2026): Evaluation eines Lehr-Lern-Labors: Veränderung von Überzeugungen und Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 11-27. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Martínez, J. A. Á., Gómez, J. F., Torres, W. D. G. & Botero, J. C. R. (2025): Motivation in english language teaching and learning through the ICT-mediated flipped classroom model: A systematic literature review in international contexts. *Journal of Educators Online*, 22(3).

Mattar, J., Santos, C. C. & Cuque, L. M. (2022): Analysis and comparison of international digital competence frameworks for education. *Education Sciences*, *12*(12), 932. https://doi.org/10.3390/educsci12120932

Meier, M., Greefrath, G., Hammann, M., Wodzinski, R. & Ziepprecht, K. (2023): Lehr-Lern-Labore und Digitalisierung. In M. Meier, G. Greefrath, M. Hammann, R. Wodzinski & K. Ziepprecht (Hrsg.), *Lehr-Lern-Labore und Digitalisierung* (S. 1-16). Wiesbaden: Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-40109-2_1

Meier, M., Schaal, S. & Thyssen, C. (2020): *Digital Biologie unterrichten – Grundlagen, Impulse und Perspektiven* (1. Aufl.). Seelze: Klett Kallmeyer. https://www.researchgate.net/publication/380374531

Meirink, J. A., Meijer, P. C., Verloop, N. & Bergen, T. C. M. (2009): Understanding teacher learning in secondary education: The relations of teacher activities to changed beliefs about teaching and learning. *Teaching and Teacher Education*, *25*(1), S. 89-100. https://doi.org/10.1016/j.tate.2008.07.003

Mihaela, V. & Alina-Oana, B. (2015): (When) Teachers' Pedagogical Beliefs are Changing? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *180*, S. 1001-1006. https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2015.02.191

Mölgen, L., Asshoff, R. & Heuckmann, B. (2024): Development and application of a domain-specific TPACK questionnaire – findings from a longitudinal study on teaching human biology using digital tools. *Journal of Science Education and Technology, 33*(4), S. 607-620. https://doi.org/10.1007/s10956-024-10108-w

Ng, W., Nicholas, H. & Williams, A. (2010): School experience influences on pre-service teachers' evolving beliefs about effective teaching. *Teaching and Teacher Education*, *26*(2), S. 278-289. https://doi.org/10.1016/J.TATE.2009.03.010

Oser, F. & Blömeke, S. (2012): Überzeugungen von Lehrpersonen: Einführung in den Thementeil. *Zeitschrift für Pädagogik*, *58*(4), S. 415-421. https://doi.org/10.25656/01:10405

Petko, D. (2012): Teachers' pedagogical beliefs and their use of digital media in classrooms: Sharpening the focus of the 'will, skill, tool' model and integrating teachers' constructivist orientations. *Computers & Education*, *58*(4), S. 1351-1359. https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2011.12.013

Porsch, R., Reintjes, C., Görich, K. & Paulus, D. (2021): Pädagogische Medienkompetenzen und ICT-Beliefs von Lehramtsstudierenden. Veränderungen während eines „digitalen Semesters"? In C. Reintjes, R. Porsch & G. Brahm (Hrsg.), *Das Bildungssystem in Zeiten der Krise. Empirische Befunde, Konsequenzen und Potenziale für das Lehren und Lernen.* (S. 189206). Münster, New York: Waxmann.

Priemer, B. & Roth, J. (Hrsg.) (2020): *Lehr-Lern-Labore. Konzepte und deren Wirksamkeit in der MINT-Lehrpersonenbildung.* Berlin: Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58913-7

Puentedura, R. (2006): *Transformation, Technology and Education*. *PowerPoint Folien. http://hippasus.com/resources/tte/puentedura_tte.pdf*.

Quarder, J. & Greefrath, G. (2024): Mathematisches Modellieren mit digitalen Werkzeugen im Lehr-Lern-Labor-Seminar. Empirische Ergebnisse zur Förderung kognitiver Aspekte der bereichsspezifischen professionellen Diagnosekompetenz. In R. Kürten, G. Greefrath & M. Hammann (Hrsg.), *Digitale Medien in Lehr-Lern-Laboren* (1. Aufl., S. 111-130). Münster, New York: Waxmann.

Rochholz, A., Fricke, K. & Windt, A. (2020): Naturwissenschaftlichen Unterricht planen lernen. Professionalisierung durch Unterrichtserprobungen im Lehr-Lern-Labor der Sachunterrichtsdidaktik. In R. Kürten, G. Greefrath & M. Hammann (Hrsg.), *Komplexitätsreduktion in Lehr-Lern-Laboren* (1. Aufl., S. 207-226). Münster, New York: Waxmann.

Röwekamp, S. & Marohn, A. (2024): Experimentiersituationen gestalten im Kontext von Digitalisierung und Inklusion. Ein Ansatz für die Lehrkräftebildung im Fach Chemie. In R. Kürten, G. Greefrath & M. Hammann (Hrsg.), *Digitale Medien in Lehr-Lern-Laboren* (1. Aufl., S. 79-92). Münster, New York: Waxmann.

Runge, I., Lazarides, R., Rubach, C., Richter, D. & Scheiter, K. (2023): Teacher-reported instructional quality in the context of technology-enhanced teaching: The role of teachers' digital competence-related beliefs in empowering learners. *Computers & Education*, *198*, Article 104761. https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2023.104761

Sailer, M., Maier, R., Berger, S., Kastorff, T. & Stegmann, K. (2024): Learning activities in technology-enhanced learning: A systematic review of meta-analyses and second-order meta-analysis in higher education. *Learning and Individual Differences*, *112*. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102446

Sarah Wilken (2026): Evaluation eines Lehr-Lern-Labors: Veränderung von Überzeugungen und Motivation angehender Biologielehrkräfte zur Integration digitaler Tools. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 11-27. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Schaal, S. (2017): Man sieht den Wald vor lauter Bäumen nicht. Wie digitale Medien für den Biologieunterricht ausgewählt werden. *Unterricht Biologie*, *429*, S. 46-47.

Scheiter, K. (2021): Lernen und Lehren mit digitalen Medien: Eine Standortbestimmung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *24*(5), S. 1039-1060. https://doi.org/10.1007/s11618-021-01047-y

Scherer, R., Siddiq, F. & Tondeur, J. (2019): The technology acceptance model (TAM): A meta-analytic structural equation modeling approach to explaining teachers' adoption of digital technology in education. *Computers & Education*, *128*, S. 13-35. https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2018.09.009

Schmidt, R. & Reintjes, C. (2022): Integrierte ICT-Professionalisierung. Zur Verortung digitalisierungsbezogener Kompetenzen von Lehrpersonen aus professionstheoretischer Perspektive. In U. Schütte, N. Bürger, M. Fabel-Lamla, P. Frei, K. Hauenschild, J. Menthe, B. Schmidt-Thieme & C. Wecker (Hrsg.), *Digitalisierungsbezogene Kompetenzen fördern: Herausforderungen, Ansätze und Entwicklungsfelder im Kontext von Schule und Hochschule* (S. 55-65). Hildesheim: Universitätsverlag Hildesheim.

Seidel, T. (2014): Angebots-Nutzungs-Modelle in der Unterrichtspsychologie. Integration von Struktur- und Prozessparadigma. *Zeitschrift für Pädagogik*, *60*, S. 850-866. https://doi.org/10.25656/01:14686

Taimalu, M. & Luik, P. (2019): The impact of beliefs and knowledge on the integration of technology among teacher educators: A path analysis. *Teaching and Teacher Education*, *79*, S. 101-110. https://doi.org/10.1016/j.tate.2018.12.012

Thurm, D. (2020): *Digitale Werkzeuge im Mathematikunterricht integrieren: Zur Rolle von Lehrerüberzeugungen und der Wirksamkeit von Fortbildungen*. Wiesbaden: Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-658-28695-8

Vaino, K., Holbrook, J. & Rannikmäe, M. (2013): A case study examining change in teacher beliefs through collaborative action research. *International Journal of Science Education*, *35*(1), S. 1-30. https://doi.org/10.1080/09500693.2012.736034

Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D. & Thyssen, C. (2019): Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *25*(1), S. 115-129. https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6

von Kotzebue, L. (2022): Beliefs, self-reported or performance-assessed TPACK: What can predict the quality of technology-enhanced biology lesson plans? *Journal of Science Education and Technology*, *31*(5), S. 570-582. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10956-022-09974-z

Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A. & Urhahne, D. (2009): Überprüfung einer Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften: ZfDN 15*, S. 31-45. https://doi.org/10.25656/01:31663

Wilken, S. & Heuckmann, B. (2024): Diversität beim Unterrichten mit digitalen Medien. Ein Lehr-Lern-Labor-Konzept zur Förderung der professionellen Kompetenz Studierender im Fach Biologie. In R. Kürten, G. Greefrath & M. Hammann (Hrsg.), *Digitale Medien in Lehr-Lern-Laboren* (1. Aufl., S. 63-78). Münster, New York: Waxmann.

Wilken, S., Mahler, D. & Heuckmann, B. (2025): Exploring technology-related belief structures: domain-specific and domain-general beliefs of preservice science teachers. *International Journal of Science Education*, S. 1-24. https://doi.org/10.1080/09500693.2025.2571132

Woolfolk Hoy, A. & Burke-Spero, R. (2005): Changes in teacher efficacy during the early years of teaching: A comparison of four measures. *Teaching and Teacher Education*, *21*(4), S. 343-356. https://doi.org/10.1016/J.TATE.2005.01.007

Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Hildesheim: Universitätsverlag Hildesheim.

DEAN – **D**igitale **E**xperimentier**a**sisten**t**en in der Lehre: Konzeption, Umsetzung und Evaluation eines innovativen Seminarkonzeptes

Katharina Forster, Antonia Linsmeier, Dominik Diermann & Jenna Koenen
Katharina Forster; Technische Universität München, TUM School of Social Sciences and Technology, Professur für Didaktik der Chemie, Arcisstraße 21, 80333 München
Antonia Linsmeier; Technische Universität München, TUM School of Social Sciences and Technology, Professur für Didaktik der Chemie, Arcisstraße 21, 80333 München
Dr. Dominik Diermann; Technische Universität München, TUM School of Social Sciences and Technology, Professur für Didaktik der Chemie, Arcisstraße 21, 80333 München
Prof. Dr. Jenna Koenen; Technische Universität München, TUM School of Social Sciences and Technology, Professur für Didaktik der Chemie, Arcisstraße 21, 80333 München

Zusammenfassung

Ein moderner, digitaler Chemieunterricht erfordert von Lehrkräften verschiedene Kompetenzen, insbesondere beim Umgang mit digitalen Medien sowie beim Experimentieren. Ein innovatives Seminarkonzept versucht, diese Kompetenzen gezielt zusammenführend zu vermitteln und bei Lehramtsstudierenden zu fördern. Dies erfolgt durch die Erstellung sogenannter DEANs (Digitale Experimentierassistenten), d. h. interaktiver E-Books zur Individualisierung und Integration unterschiedlicher digitaler Medien in den Experimentierprozess. Eine prozessbegleitende Evaluation mittels zweier Stimulated Recalls im Seminarverlauf erhebt, basierend auf Selbstauskünften, inwiefern $N = 6$ Studierende über digitale Kompetenzen verfügen und diese vernetzt mit Scaffolding-Möglichkeiten und Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses anwenden können, um diese variabel einsetzen zu können. Die Ergebnisse zeigen eine zunehmende Vernetzung zwischen digitalen Kompetenzen und Experimentierkompetenzen vom ersten zum zweiten Stimulated Recall, wobei der Grad der Vernetzung in Abhängigkeit von der Phase des Erkenntnisgewinnungsprozesses variiert. Es zeigt sich, dass die Studierenden im Verlauf des Seminars zunehmend befähigt werden, digitale Medien nicht nur als technische Hilfsmittel, sondern auch als integrative Elemente zur Unterstützung komplexer kognitiver Prozesse im Experimentierkontext zu nutzen.

Schlüsselwörter:
DEAN, Seminarkonzeption, Scaffolding, Experimentierkompetenz, digitale Kompetenzen

Abstract

Modern, digital chemistry teaching requires a variety of skills from teachers, especially digital and experimental competencies. An innovative seminar concept aims to teach these competencies together and promote them among pre-service teachers. This is mainly done by creating so-called DEANs (Digital Experimentation Assistants), which are interactive E-Books that individualize learning and integrate various digital media into the experimentation process. A process-accompanying evaluation using two stimulated recalls during the seminar collects data from self-reported information to determine the extent to which $N = 6$ students possess digital competencies and can apply them in combination with scaffolding opportunities

Katharina Forster, Antonia Linsmeier, Dominik Diermann & Jenna Koenen (2026): **DEAN** – **D**igitale **E**xperimentier**a**sisten**t**en in der Lehre: Konzeption, Umsetzung und Evaluation eines innovativen Seminarkonzeptes. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 28-54. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

across the phases of the knowledge acquisition process. The results show an increasing linkage between digital and experimental competencies from the first to the second stimulated recall, with the degree of linkage varying across the phases of the knowledge acquisition process. Students are increasingly able to use digital media not only as technical tools, but also as integrative elements to support complex cognitive processes in the context of experimentation.

Key words:
DEAN, seminar design, scaffolding, scientific inquiry competencies, digital competencies

Einleitung

Die zentrale Aufgabe von Bildungsinstitutionen ist es, Schüler*innen neben Fachwissen vor allem die notwendigen Kompetenzen für eine erfolgreiche Bewältigung des Lebens zu vermitteln (Huwer et al. 2019; KMK 2016). In einer zunehmend digitalisierten Welt sind neben Fachkenntnissen insbesondere digitale Kompetenzen, die zu den zentralen 21st Century Skills zählen (Trilling & Fadel 2009), essenziell. Diese Anforderungen führen zu einer zunehmenden Bedeutung digitaler Kompetenzen auch im Schulunterricht (Hartmann & Hundertpfund 2015). Im naturwissenschaftlichen Unterricht spielen jedoch auch experimentelle Kompetenzen eine zentrale Rolle (Gut-Glanzmann & Mayer 2018). Schüler*innen sollen nicht nur theoretische Konzepte verstehen, sondern auch lernen, gezielt mithilfe naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen, wie dem Experimentieren, Erkenntnisse über die Natur zu gewinnen. Die fortschreitende Digitalisierung eröffnet neue Möglichkeiten für die Gestaltung von Lehr- und Lernprozessen, insbesondere bei experimentellen Lernprozessen, wobei innovative Anwendungen das eigenständige Lernen gezielt fördern können (Nerdel & von Kotzebue 2020; Seibert et al. 2021). So können digitale Werkzeuge beispielsweise dabei unterstützen, Experimente zu planen, komplexe experimentelle Abläufe zu visualisieren, Daten zu erfassen und auszuwerten sowie Lernenden interaktive und simulationsgestützte Zugänge zu naturwissenschaftlichen Fragestellungen zu ermöglichen (de Jong et al. 2013). Der Nutzen dieser digitalen Anwendungen ergibt sich jedoch nur, wenn sie didaktisch sinnvoll in den Unterricht integriert sind. Um dies zu gewährleisten, benötigen Lehrkräfte entsprechendes Professionswissen (Baumert & Kunter 2006), insbesondere in den Bereichen digitaler Medien und Medienkompetenz sowie in experimentellen Kompetenzen, um digitale und praktische Aspekte im naturwissenschaftlichen Unterricht sinnvoll zu verknüpfen. Eine gezielte Verankerung digitaler und experimenteller Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Lehramtsstudium ist daher essenziell.

Gleichzeitig stellt die didaktisch sinnvolle und begründete Verknüpfung experimenteller Anforderungen mit digitalen Medien eine große Herausforderung für Lehrkräfte dar (Sieve & Schanze 2015). Diese Schwierigkeiten äußern sich beispielsweise häufig durch mangelnde Kenntnisse über digitale Medien und deren Anwendung. Daher muss eine effektive naturwissenschaftliche Lehrkräftebildung nicht nur fachliche, erziehungswissenschaftliche und didaktische Kompetenzen fördern, sondern auch Lehramtsstudierende darauf vorbereiten, digitale Technologien sinnvoll in den naturwissenschaftlichen und experimentellen Unterricht zu integrieren. An dieser Stelle setzt das Seminarkonzept zu **D**igitalen **E**xperimentier**a**sssiste**n**ten (DEAN) an, mit dem Hauptziel, Lehramtsstudierenden digitale Kompetenzen am Beispiel der digitalen Begleitung experimenteller Prozesse zu vermitteln.

Im vorliegenden Artikel werden dieses innovative Seminarkonzept, seine Umsetzung sowie die Evaluation vorgestellt. Hierbei steht die Erstellung digitaler Experimentierassistenten in Form eines interaktiven E-Books im Fokus, wobei Lehramtsstudierenden praxisnah der didaktisch sinnvolle Einsatz digitaler Medien im Unterricht vermittelt und ein entsprechender Kompetenzaufbau gefördert wird. Dabei wird untersucht, inwiefern Konzeption, Erstellung und Arbeit mit DEANs zur Förderung der genannten Kompetenzen beitragen können.

Katharina Forster, Antonia Linsmeier, Dominik Diermann & Jenna Koenen (2026): **DEAN** – **D**igitale **E**xperimentier**a**sssiste**n**ten in der Lehre: Konzeption, Umsetzung und Evaluation eines innovativen Seminarkonzeptes. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 28-54. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Theoretischer Hintergrund

Zur Erstellung und zum kompetenten Einsatz eines digitalen Experimentierassistenten benötigen Lehrkräfte im Rahmen ihrer Professionalisierung ein breites Kompetenzspektrum, insbesondere in den Bereichen digitaler und experimenteller Kompetenz. Diese theoretischen Grundlagen werden im Folgenden näher beleuchtet.

Lehrkräfteprofessionalisierung und Kompetenzentwicklung

Der PISA-Schock im Jahr 2001 führte zu einer verstärkten Auseinandersetzung mit der Unterrichtsqualität. In diesem Zusammenhang entwickelte sich ein Forschungsansatz, der das Professionswissen von Lehrkräften als zentrale Voraussetzung für erfolgreichen Unterricht und den Kompetenzerwerb der Schüler*innen betrachtet (Hattie 2009; Helmke 2012; Lipowsky 2006). Der Forschungsansatz basiert auf dem grundlegenden Modell zur Systematisierung des Professionswissens von Lehrkräften von Lee Shulman (1986, 1987). Er beschreibt das professionelle Wissen von Lehrkräften in drei zentralen Bereichen: Das Fachwissen (content knowledge, CK) umfasst das Wissen über fachliche Inhalte und Konzepte des jeweiligen Unterrichtsfaches, beispielsweise über Säure-Base-Reaktionen. Das pädagogisch-psychologische Wissen (pedagogical knowledge, PK) bezieht sich auf allgemeine Prinzipien des Lehrens und Lernens, etwa auf Motivation und Interesse. Das fachdidaktische Wissen (pedagogical content knowledge, PCK) beschreibt die Fähigkeit, fachliche Inhalte adressatengerecht und lernwirksam aufzubereiten. Es stellt eine eigenständige Wissensform dar, die aus einer spezifischen Verknüpfung von fachlichem und pädagogischem Wissen hervorgeht und Lehrkräfte von reinen Fachkräften unterscheidet (Shulman 1987). Innerhalb des fachdidaktischen Wissens werden in der Theorie Shulmans zwei zentrale Facetten unterschieden. Die erste umfasst das Wissen über fachliche Repräsentationsformen, also die Art und Weise, wie komplexe Inhalte für Lernende verständlich gemacht werden können, beispielsweise durch Analogien, Modelle oder Visualisierungen. Damit verbunden ist die Kenntnis typischer Verständniskonzepte der Lernenden, die für die Auswahl geeigneter Darstellungsformen entscheidend sind. Die zweite Facette bezieht sich auf das Wissen über fachbezogene Fehlvorstellungen bei Lernenden, also typische Fehlkonzepte wie etwa die Annahme, dass Masse bei chemischen Reaktionen verloren geht (Vernichtungskonzept). Beide Wissensbereiche sind für die didaktische Gestaltung des Unterrichts von zentraler Bedeutung, da sie Lehrkräften ermöglichen, Lernprozesse gezielt zu unterstützen und Fehlvorstellungen vorzubeugen. Diese konzeptuelle Dreiteilung in die drei Wissensbereiche (CK, PK, PCK) ist bis heute in der Bildungsforschung präsent und wurde in verschiedenen Modellen weiterentwickelt. Eines davon ist das Refined Consensus Model (RCM) des Pedagogical Content Knowledge. Es integriert verschiedene Modelle der Lehrkompetenz und präzisiert das PCK auf Grundlage der Definition von Shulman (Carlson et al. 2019). Das RCM unterscheidet drei Formen von PCK – kollektives, persönliches und angewandtes Wissen. Diese Unterscheidung verdeutlicht, dass Wissen in unterschiedlichen Ausprägungen verfügbar ist und eine praxisnahe Nutzung in der Lehrkräftebildung ermöglicht. Darüber hinaus berücksichtigt das Modell den fachspezifischen Charakter von PCK: Wissen, das Lehrkräfte in einem Fach entwickeln, ist nicht ohne Weiteres auf andere Fächer übertragbar. Damit nimmt das RCM eine Schlüsselrolle in der Lehrkräfteprofessionalisierung ein und trägt dazu bei, die Entwicklung von fachlich und fachdidaktisch kompetenten Lehrkräften gezielt zu fördern (Carlson et al. 2019). Das PCK von Lehrkräften gilt als wichtiger Prädiktor für die Unterrichtsqualität und den Lernerfolg der Schüler*innen (Förtsch et al. 2016).

Die Frage, wie sich dieses differenzierte Professionswissen in der Praxis zeigt und entwickelt, wird im Rahmen der Experten-Novizen-Forschung untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass spezifisches Wissen bei Expertinnen und Experten besser organisiert und vernetzt ist, wodurch es schneller und flexibler abrufbar ist (Gruber & Harteis 2018). Zudem nehmen Expertinnen und Experten in Lernsituationen Wissen vertiefter wahr als Novizinnen und Novizen (Bromme 1992). Lehrkräfte werden daher als Expertinnen und Experten für Unterricht verstanden (Baumert & Kunter 2006; Krauss & Bruckmaier 2014), wobei ihr Wissen als vermittel- und erlernbar gilt (Baumert & Kunter 2006; Krauss & Bruckmaier 2014). Allerdings wird Wissen erst durch die gezeigte Performanz sichtbar (Neuweg 2002). In diesem Zusammenhang wird zwischen zwei Wissensarten unterschieden: implizites Wissen, das unbewusst in

Katharina Forster, Antonia Linsmeier, Dominik Diermann & Jenna Koenen (2026): **DEAN** – **D**igitale **E**xperimentier**a**ssisten**t**en in der Lehre: Konzeption, Umsetzung und Evaluation eines innovativen Seminarkonzeptes. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 28-54. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Handlungssituationen genutzt wird, und träges Wissen, das zwar verfügbar, aber nicht direkt anwendbar ist. Ergänzt man die Überlegungen zu implizitem und trägem Wissen um motivationale, volitionale sowie soziale Bereitschaften und Fähigkeiten, so fügen sich diese direkt in das aktuelle Forschungsparadigma der professionellen Kompetenz von Lehrkräften ein. Dies entspricht dem Kompetenzbegriff von Weinert (2001), der neben kognitiven auch affektive und soziale Komponenten einschließt. Die Professionalisierung von Lehrkräften umfasst demnach nicht nur fachliche, didaktische und methodische Kompetenzen, sondern auch soziale und personale Fähigkeiten.

Digitale Kompetenz in der Lehrkräftebildung

Ein allgemeiner zentraler Kompetenzbereich in der zunehmend digitalisierten Welt ist der souveräne Umgang mit digitalen Medien – sowohl für Schüler*innen als auch für Lehrkräfte, die diese Kompetenzen gezielt vermitteln müssen. Lehrkräfte benötigen die Fähigkeit, digitale Medien nicht nur technisch zu bedienen, sondern auch didaktisch sinnvoll in den Unterricht zu integrieren. Digitale Medien sind dabei Mittler, die verstärkt technische und digitale Aspekte einbeziehen, etwa Computer, Handys oder Tablets, und zeichnen sich durch Eigenschaften wie Multimedialität, Multicodalität, Multimodalität, Hypermedialität und Interaktivität aus (Kerres 2018). Die entsprechende digitale Kompetenz umfasst mehr als nur Computerkenntnisse und schließt ein breites Spektrum an Fähigkeiten ein, die es einem Individuum ermöglichen, in der digitalen Gesellschaft erfolgreich zu leben, zu lernen und zu arbeiten (Holdener et al. 2016). Dazu gehören Verhaltensweisen, Strategien und Identitäten, die notwendig sind, um sich in digitalen Umfeldern zurechtzufinden (Eickelmann 2010). Für Lehrkräfte bedeutet dies, digitale Werkzeuge so einzusetzen, dass sie fachliche Inhalte adressatengerecht vermitteln, Lernprozesse unterstützen und zugleich die Medienkompetenz der Schüler*innen fördern. Um diese Anforderungen systematisch zu beschreiben, wurden verschiedene Kompetenzmodelle entwickelt, darunter das DigCompEdu (Digital Competence of Educators) für Lehrkräfte (Redecker 2017) sowie der fachspezifische DiKoLAN-Kompetenzrahmen (Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften) für Lehrkräfte in den Naturwissenschaften (Becker et al. 2020). DiKoLAN wurde im Rahmen der Strategie „Bildung in der digitalen Welt“ der Kultusministerkonferenz (KMK 2016) entwickelt und zielt darauf ab, digitale Kompetenzen im Bereich der Naturwissenschaften zu beschreiben und Lehrkräfte gezielt darauf vorzubereiten, diese Kompetenzen an Schüler*innen weiterzugeben. Dabei werden sieben digitale Teilkompetenzen formuliert, welche sich in die vier allgemeinen Kompetenzen (Dokumentation, Präsentation, Kommunikation & Kollaboration sowie Recherche & Bewertung) sowie in drei fachspezifische Kompetenzen (Messwert- und Datenerfassung, Datenverarbeitung sowie Simulation und Modellierung) untergliedern (s. Tab. 1; Becker et al. 2020).

Katharina Forster, Antonia Linsmeier, Dominik Diermann & Jenna Koenen (2026): **DEAN** – **D**igitale **E**xperimentier**a**ssisten**t**en in der Lehre: Konzeption, Umsetzung und Evaluation eines innovativen Seminarkonzeptes. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 28-54. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Tabelle 1: Definition der sieben Kompetenzbereiche der digitalen Kompetenz nach DiKoLAN (Becker et al. 2020; S. 20 ff.). Blau: Allgemeine Kompetenzen; Grün: Fachspezifische Kompetenzen

Digitale Kompetenz	Definition
Dokumentation	Umfasst die individuelle Fertigkeit, digitale Werkzeuge zur systematischen Ablage und dauerhaften Speicherung von Daten und Informationen einzusetzen, um diese fachgemäß zu nutzen. Dazu gehört auch, Fotos, Bilder und Videos aufzunehmen, zu bearbeiten und einzubinden, verschiedene Medien zu kombinieren und zu speichern, Informationen strukturiert zu sichern und zu archivieren sowie Abläufe und Sinnzusammenhänge darzustellen.
Präsentation	Beschreibt die individuelle Fähigkeit, digitale Medien ziel- und adressatengerecht für den Erkenntnis- und Kommunikationsprozess einzusetzen sowie das Wissen über Grenzen und Potenziale unterschiedlicher digitaler Präsentationsmedien.
Kommunikation & Kollaboration	Umfasst die individuelle Fähigkeit, mit digitalen Werkzeugen synchrones und asynchrones Arbeiten von Einzelpersonen oder Gruppen auf ein gemeinsames Ziel hin zu planen und mit Lernenden durchzuführen. Dazu werden gemeinsame Dateien oder Produkte erstellt und bearbeitet, gemeinsame Datenpools angelegt und bearbeitet sowie Systeme zur Rechtevergabe eingeplant und umgesetzt.
Recherche & Bewertung	Umfasst neben technischen Fertigkeiten die individuelle Fähigkeit, mit digitalen Werkzeugen Informationen zu vorgegebenen Themenbereichen oder zur Lösung von Fragestellungen zu beschaffen, diese zu strukturieren und zu bewerten. Dazu werden Suchziele definiert, verschiedene Informationsquellen eingebunden und bewertet.
Messwert- & Datenerfassung	Beschreibt die individuelle Fähigkeit, mit digitalen Werkzeugen mittel- oder unmittelbar Daten zu erheben, indem (Mess-)Daten eingegeben, analoge Daten digitalisiert, Bilder sowie Filme angefertigt, Sonden, Sensoren und Programme (bzw. Apps) eingesetzt und Messwerte aus Dokumentationsmedien wie Bildern oder Videos gewonnen werden.
Datenverarbeitung	Beschreibt die individuelle Fähigkeit, Daten mit digitalen Werkzeugen weiterzuverarbeiten. Dies umfasst Filterung, Berechnungen neuer Größen, Aufbereitung, statistische Analysen und Zusammenführen von Datensätzen.
Simulation & Modellierung	Beschreibt die individuellen Fertigkeiten, computergestützte Modellierungen zu erstellen sowie bestehende digitale Simulationen ziel- und adressatengerecht für den Erkenntnis- und Kommunikationsprozess einzusetzen sowie das Wissen über Grenzen und Potenziale von Modellen und Simulationen im Erkenntnisgewinnungsprozess.

Diese digitalen Kompetenzen sind seitens der Lehrkräfte notwendig, um digitale Medien effektiv in den naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren und zugleich die digitalen Fähigkeiten der Schüler*innen zu fördern.

Experimentierkompetenz in der naturwissenschaftlichen Lehrkräftebildung

Naturwissenschaftliche Kompetenzen sind ein integraler Bestandteil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, ein zentraler Aspekt der Naturwissenschaften und zugleich ein wesentliches Merkmal der naturwissenschaftlichen Grundbildung (Abd-El-Khalick et al. 2004; Bybee 2002; Emden et al. 2016). Im schulischen Kontext bilden sie primär den Gegenstand der Vermittlung: Schüler*innen sollen befähigt werden, naturwissenschaftliche Fragestellungen zu bearbeiten. Auch Lehrkräfte benötigen diese naturwissenschaftlichen Kompetenzen, um fachliche Zusammenhänge zu verstehen und Lernprozesse angemessen zu begleiten. Für die konkrete Planung und Umsetzung im Unterricht reicht dies jedoch nicht aus; hierfür ist vor allem fachdidaktisches Wissen erforderlich, das die gezielte Förderung naturwissenschaftlicher Kompetenzen bei Schüler*innen erst ermöglicht. Eine zentrale Ausprägung naturwissenschaftlicher Kompetenzen ist die Experimentierkompetenz. Diese beschreibt einen kriteriengeleiteten, systematischen Prozess, der darauf abzielt, neue Erkenntnisse zu generieren (Emden & Sumfleth 2016; Sonnenschein et al. 2019). Sie ist eine zentrale Kompetenz, die im naturwissenschaftlichen Unterricht gefördert werden soll (Emden et al. 2016; KMK 2024), unter anderem da sie die Verbindung zwischen theoretischem Wissen und praktischer Anwendung herstellt (Friedrich et al. 2023). Gleichzeitig werden Phänomene durch das Experimentieren besonders zugänglich. Durch die aktive Auseinandersetzung mit Experimenten entwickeln Schüler*innen nicht nur ein tieferes Verständnis naturwissenschaftlicher Inhalte, sondern auch die Kompetenz zur reflektierten Analyse von Erkenntnisgewinnungsprozessen (Gut-Glanzmann & Mayer 2018). Der Experimentierprozess kann in verschiedene Teilprozesse untergliedert werden, die aufeinander bezogen werden müssen (Emden & Sumfleth 2016; Prenzel & Parchmann 2003). Zunächst werden eine wissenschaftliche Fragestellung und Hypothesen formuliert. Darauf folgt die detaillierte Planung eines geeigneten Experiments zur Überprüfung der Hypothese. Die anschließende Durchführung des Experiments erfordert eine präzise Arbeitsweise sowie die Anwendung wissenschaftlicher Methoden. Abschließend werden die gewonnenen Daten analysiert und interpretiert, wobei eine Rückbindung zur ursprünglichen Fragestellung erfolgt. Die Aufgabe der Lehrperson ist es, innerhalb dieses komplexen Prozesses möglicherweise entstehende Probleme zu erkennen, auf (Lern-)Schwierigkeiten einzugehen und das Experimentieren bestmöglich im Sinne von Scaffolding zu unterstützen. Scaffolding bezeichnet eine Unterstützungsform, bei der Lernenden durch gezielte Hilfestellungen ermöglicht wird, Aufgaben zu bewältigen, die sie allein noch nicht hätten lösen können (Vygotsky 1978; Wood et al. 1976). Diese Unterstützung kann auf vielfältige Weise im Unterricht umgesetzt werden, entweder durch mündliche Interaktion mit der Lehrkraft oder durch schriftliche Hilfestellungen anhand von Hilfekarten oder ähnlichen Formaten (Koenen 2016). Die Unterstützung dient dazu, Vorwissen zu aktivieren, Selbstregulation zu fördern und schrittweise zur Selbstständigkeit zu führen. Durch wiederholtes Üben kann dies langfristig zu einem tiefergehenden Problemlöseverhalten beitragen (Pintrich et al. 1991). Scaffolding kann auch durch digitale Medien erfolgen, die bei der Planung, der Dokumentation oder der Auswertung und Interpretation von Experimenten eingesetzt werden können (Schneeweiß & Sieve 2020). Große Vorteile digitaler Medien beim Experimentieren stellen unter anderem die Möglichkeiten, auf verschiedene Repräsentationsformen sowie auf individuell einsetzbare Lernhilfen zurückzugreifen, dar. In den letzten Jahren wurden einige Ansätze entwickelt, um digitale Medien an sinnvollen Stellen in das Experimentieren im Schulkontext einzubinden (z. B. Seibert et al. 2021), um so einen Mehrwert für die Schüler*innen zu generieren. Dabei stellt es für Lehrkräfte eine große Herausforderung dar, die experimentellen Anforderungen und Inhalte didaktisch angemessen aufzubereiten und mit digitalen Medien zu verbinden, diese sinnvoll auszuwählen und begründet einzusetzen. Tatsächlich werden digitale Hilfsmittel häufig nur exklusiv für einzelne Teilaspekte des Erkenntnisgewinnungsprozesses eingesetzt und viele Lehrende haben Schwierigkeiten damit, das Potenzial digitaler Medien in diesem Anwendungsfeld auszuschöpfen und ihren Schüler*innen eine didaktisch fundiert gestaltete digitale Unterstützung zur Verfügung zu stellen (Sieve & Schanze 2015). Diese Schwierigkeiten äußern sich oftmals durch mangelnde Kenntnisse über digitale Medien und deren Anwendung (Sieve & Schanze 2015). Schlummer et al. (2021) berichten darüber hinaus vom Wunsch nach digitalem Zusatzmaterial zur Vor- und Nachbereitung des Experimentierens bei Lernenden und Lehrenden.

Katharina Forster, Antonia Linsmeier, Dominik Diermann & Jenna Koenen (2026): **DEAN** – **D**igitale **E**xperimentier**a**ssisten**t**en in der Lehre: Konzeption, Umsetzung und Evaluation eines innovativen Seminarkonzeptes. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 28-54. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Seminarkonzeption DEAN

Eine Möglichkeit zur Förderung der digitalen sowie experimentellen Kompetenzen bei Lehramtsstudierenden stellt das Seminarkonzept „Interaktive Lernmaterialien für den Chemieunterricht: DEAN erstellen, gestalten und erproben“ dar. Dieses basiert auf dem innovativen Konzept „DEAN – **D**igitaler **E**xperimentier**a**sisten**t**“ (Forster et al. 2024; Koenen et al. 2026).



Abbildung 1: Das Konzeptlogo ist ein „DEAN“

Der „Digitale Experimentierassistent“

Das Konzept „DEAN – Digitaler Experimentierassistent“ zielt darauf ab, den Erkenntnisgewinnungsprozess beim Experimentieren ganzheitlich zu unterstützen und gleichzeitig die individuellen Lernvoraussetzungen der Schüler*innen zu berücksichtigen. Der digitale Experimentierassistent, in Form eines interaktiven E-Books, begleitet die Schüler*innen beim eigenständigen Experimentieren und bietet eine ganzheitliche Unterstützung, die auf das jeweilige Experiment zugeschnitten ist (s. Abb. 1). Darüber hinaus adressiert das Konzept den Umgang mit Heterogenität im Unterricht, indem es Möglichkeiten zur Individualisierung und inneren Differenzierung eröffnet – beispielsweise durch den Einsatz von Augmented Reality (vgl. Altmeyer et al. 2020) oder Scaffolding-Strategien (Belland 2017). Der DEAN initiiert flexibles, selbstgesteuertes Lernen bei den Schüler*innen und kann die Lehrkraft während schülerzentrierter Arbeitsphasen als digitale Lernbegleitung unterstützen. Seibert et al. (2021) berichten, dass digitale Unterstützungssysteme insbesondere beim forschenden und selbstregulierten Lernen den Lernerfolg und die Selbstregulation verbessern können. Für angehende Lehrkräfte bieten die eigenständige Erstellung und der Einsatz eines DEANs die Möglichkeit, ihre digitalen Kompetenzen zu erproben und weiterzuentwickeln. Des Weiteren unterstützen sie die notwendige Vernetzung von fachlichem Wissen, Experimentierkompetenz und digitaler Kompetenz, da bei der Erstellung und Konzeption viele unterschiedliche Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind. Dies wird beispielsweise bei der Entwicklung eines Erklärvideos zu einem Experiment deutlich. Hierbei müssen Lehramtsstudierende zunächst ihr fachliches Wissen einbringen, um das Experiment inhaltlich korrekt darzustellen. Zugleich sind spezifische digitale Kompetenzen erforderlich: Im Bereich der Dokumentation müssen sie Video- und Bildmaterial aufnehmen, bearbeiten und sinnvoll einbinden. Die Kompetenz Präsentation ermöglicht eine adressatengerechte visuelle Aufbereitung des Inhalts, etwa durch grafische Hervorhebungen oder erklärende Sequenzen. Ergänzend kann Recherche & Bewertung erforderlich sein, um Hintergrundinformationen aus digitalen Quellen zu prüfen und einzubinden. Darüber hinaus wird häufig auch Kommunikation & Kollaboration relevant, insbesondere wenn das Erklärvideo in Gruppen erstellt wird. Studierende müssen digitale Werkzeuge zur gemeinsamen Bearbeitung nutzen, Aufgaben koordinieren und Dateien strukturiert verwalten (vgl. Digitale Kompetenzen, s. Tab. 1). Durch die Verbindung dieser digitalen Kompetenzen mit fachlichem Wissen und Experimentierkompetenz entsteht ein Lernmaterial, das nicht nur Inhalte präsentiert, sondern Lernende aktiv in Prozesse naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung einbindet und so zur Förderung naturwissenschaftlicher Kompetenzen beiträgt. Damit kann die Erstellung eines DEANs dazu beitragen, durch den gezielten Einsatz digitaler Werkzeuge die Unterrichtsqualität zu verbessern und die Lernprozesse der Schüler*innen zu unterstützen (Eickelmann 2017).

Dieses Konzept der Unterstützung durch einen digitalen interaktiven Assistenten (allgemein „DINA – **D**igital **In**teractive **A**ssistent“) kann auch auf andere Bereiche übertragen werden (Zerouali & Koenen im Druck). So kann DINA beispielsweise auch zur Begleitung und Strukturierung des Problemlöseprozesses im Rahmen des problembasierten Lernens eingesetzt werden (Zerouali et al. 2024a) oder zur Förderung eines sprachsensiblen Unterrichts beitragen (Zerouali et al. 2024b).

Aufbau und Struktur der Lehrveranstaltung

Das Konzept zur Erstellung eines DEANs wurde in eine Lehrveranstaltung für Lehramtsstudierende integriert und gezielt adaptiert (Forster et al. 2024). Die Lehrveranstaltung fokussiert auf die Planungs- und Entwicklungsphase eines DEANs, der ein Schülerexperiment zum fachlichen Kontext der Säure-Base-Chemie

auf vielfältige Weise digital anleiten, begleiten und unterstützen soll. Im Rahmen des Seminars erstellen die Studierenden mittels des Programms PowerPoint (Microsoft Corporation 2024) ein interaktives E-Book, in das verschiedene digitale Medien (z. B. Simulationen/Animationen, Augmented Reality, Erklärvideos, interaktive Quizze etc.) integriert werden können. Dieser DEAN dient als umfangreiches und begleitendes Lernmaterial für den gesamten Lernprozess bei der Durchführung eines Hands-on-Experiments und kann so den Wissenserwerb der Schüler*innen unterstützen. Die Seminarkonzeption unterteilt sich in vier Phasen, die sich auf 13 dreistündige Seminarsitzungen mit zwei integrierten Schülertagen verteilen (s. Tab. 2).

Tabelle 2: Überblick über die Inhalte und Ziele der Seminarsitzungen

Phase	Seminar-sitzung	Thema und Inhalt	Zielsetzung
 Phase 1	1 2	**Einführung und Theorie:** • Organisation und Vorstellung der Seminarkonzeption sowie der erforderlichen Leistungen • Theoretische Einführung in Anwendungen von digitalen Medien und digitale Kompetenz	• Vorstellung der Seminarlernziele • Erstellung eines Digitalen Experimentier-assistenten (DEAN) • Aufbau von theoretischem Wissen zu digitalen Kompetenzen • Schaffung einer theoretischen Grundlage
 Schülertag A	3	**Schülertag A:** • Durchführung des gewählten Versuches mit Schüler*innen OHNE digitale Medien	• Beobachtung von Schülerschwierigkeiten und -fehlern beim Experimentieren
 Phase 2	4 5 6 7	**Theorie und Praxis:** • Weitere Theorie-Vermittlung zu verschiedenen digitalen Medien, dem Experimentieren und Nachhaltigkeitsthemen • Praxis-Phase: Erprobung der verschiedenen digitalen Medien an unterschiedlichen Aufgaben/Experimenten • Beispiele: AR, Erklärvideos, Stop-Motion-Videos, Simulationen/Animationen, QR-Codes etc. • Asynchrone Einzelsprechstunden zur Ideenfindung und Festlegung des fachlichen Projektrahmens	• Darbietung einer „Toolbox" verschiedener digitaler Medien, Programmen und Apps • Möglichkeit zur Verknüpfung des theoretischen Wissens über digitale Medien und Experimentieren mit praktischen Erfahrungen zur Entwicklung entsprechender Gestaltungskompetenzen • Förderung der Lehrkompetenzen im Bereich digitaler Medien • Förderung Vernetzung digitaler Kompetenzen (Dokumentation, Präsentation, Simulation & Modellierung) und experimenteller Kompetenzen
 Phase 3	8 9 10 11	**Projektarbeit:** • Arbeit im Labor mit den ausgewählten digitalen Tools • Erstellung und Erprobung eines eigenen DEANs • Zwischenzeitliche Feedbackrunde und Besprechung	• Selbstständiges Erstellen und Entwickeln des Digitalen Experimentierassistenten (DEAN) • Weiterentwicklung entsprechender digitaler Kompetenzen (Dokumentation, Präsentation, Simulation & Modellierung, Kommunikation & Kollaboration)
 Phase 4	12	**Abschlusspräsentation:** • Vorstellung der Projektergebnisse • Abschluss und gemeinsame Feedbackrunde	• Austausch über andere Ideen und Ergebnisse, Vorstellung und Würdigung der Resultate • Feedback zum Erreichen der Lernziele • Evaluationsmöglichkeit des Seminars
 Schülertag B	13	**Schülertag B:** • Durchführung des gewählten Versuches mit Schüler*innen MIT digitale Medien (=DEAN)	• Beobachtung von Schülerschwierigkeiten und -fehlern beim Experimentieren • Reflexion in Form der Seminarausarbeitung

Katharina Forster, Antonia Linsmeier, Dominik Diermann & Jenna Koenen (2026): **DEAN** – **D**igitale **E**xperimentier**a**ssisten**t**en in der Lehre: Konzeption, Umsetzung und Evaluation eines innovativen Seminarkonzeptes. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 28-54. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

In der ersten Phase erfolgen die Organisation des Seminars sowie die Vermittlung theoretischer Grundlagen zur Anwendung digitaler Medien, zu digitalen Kompetenzen und zu aktuellen Forschungsansätzen. In den folgenden vier Sitzungen (Phase 2) werden Theorie und Praxis miteinander verknüpft. Die Studierenden erhalten in diesem Schritt die Möglichkeit, das neu Gelernte in Bezug auf verschiedene Medien, Apps und Programme sowie das Experimentieren in einem Laborsetting praktisch zu erproben. Sie machen sich mit Techniken und Methoden vertraut, die sie später in ihrer eigenen Projektarbeitsphase (Phase 3) bei der Erstellung ihres DEANs anwenden können. Zentral ist dabei das Konzept der Experimentierkompetenz, welches die aktive Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen und Erkenntnisprozessen betont (KMK 2024). Darüber hinaus werden in dieser Phase erste digitale Kompetenzen gezielt vermittelt. Die Studierenden dokumentieren ihre Arbeit, indem sie Experimente selbstständig aufnehmen, bearbeiten und speichern sowie ihre Vorgehensweise digital nachvollziehbar festhalten. Kommunikationskompetenz wird in der Partnerarbeit gestärkt, da die Studierenden ihre Aufgaben gemeinsam planen, sich abstimmen und die Arbeit aufteilen müssen. In der Praxisphase (Phase 3) arbeiten die Studierenden eigenverantwortlich im Labor (z. B. Experimente filmen oder Messwerte bestimmen), um theoretisches Wissen unmittelbar mit praktischen Arbeitsweisen zu verbinden und gleichzeitig ihren DEAN eigenständig zu entwickeln. Dabei erweitern sie ihre Fähigkeiten in Simulation und Modellierung, indem sie eigene Animationen und digitale Aufbereitungen von Experimenten erstellen, Modelle didaktisch begründet einsetzen und gegebenenfalls selbst entwickeln, um den Erkenntnisgewinnungsprozess bei Schüler*innen zu unterstützen. Gleichzeitig vertiefen sie ihre Präsentationskompetenz, indem sie den digitalen Experimentierassistenten mit geeigneten digitalen Präsentationsmedien (z. B. PowerPoint) gestalten, deren Vor- und Nachteile reflektieren und das Produkt adressatengerecht aufbereiten. Durch das breite Angebot an digitalen Hilfsmitteln („Toolbox“) sollen die Auswahl und der Umgang mit verschiedenen digitalen Medien sowie deren aktive Einbindung in den Unterricht – mit Schwerpunkt auf Experimentieren – gefördert werden. Neben einer zwischengeschalteten Feedbackrunde werden individuelle Sprechstunden bzw. Beratungsmöglichkeiten angeboten und in der vorletzten Seminarsitzung eine gemeinsame Ergebnispräsentation abgehalten (Phase 4).

DEANs ermöglichen vor allem die individuelle Unterstützung der Schüler*innen beim Experimentieren. Um Schwierigkeiten beim Experimentieren im Allgemeinen, aber auch bezogen auf das ausgewählte Experiment zu erkennen und entsprechende Hilfestellungen integrieren zu können, wurden zwei Schülertage in das Seminarkonzept integriert. Am ersten Schülertag kommen Schüler*innen zur Lehrveranstaltung und experimentieren, angeleitet von Studierenden, jedoch ohne digitale Medien, sondern mithilfe einer analogen Anleitung. Die Studierenden beobachten die Schüler*innen und diagnostizieren, welche Schwierigkeiten oder Herausforderungen auftreten. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse fließen dann in die Erstellung des DEANs in den Phasen 2 und 3 ein. Am zweiten Schülertag experimentieren (andere) Schüler*innen, begleitet von den DEANs der Studierenden. Diese beobachten die Schüler*innen und reflektieren über den Lernprozess der Schüler*innen mit dem digitalen Assistenten. Im Fokus steht vor allen Dingen die Veränderung der kognitiven und motivationalen Lernprozesse bzw. des Verhaltens im Umgang mit dem Experiment durch den digitalen Lernbegleiter im Vergleich zum analogen Arbeitsblatt.

Das Seminarkonzept ist nicht auf ein spezifisches fachliches Thema beschränkt, sondern lässt sich flexibel auf andere Fachinhalte übertragen. Hier wurde der Themenbereich Säure-Base-Chemie gewählt, um durch digitale Unterstützung den Aufbau des Stoff-Teilchen-Konzepts bei den Schüler*innen zu fördern. Säure-Base-Reaktionen sind auf submikroskopischer Ebene oft nicht direkt erfahrbar. Digitale Medien können hier ansetzen und eine Visualisierung auf Teilchenebene ermöglichen, sodass die Lernenden die zugrunde liegenden chemischen Reaktionen, wie etwa die Protonenübertragung, besser nachvollziehen können. Zudem bietet dieses Themengebiet eine Vielzahl alltagsnaher Experimente, die zahlreiche Anknüpfungspunkte für die Entwicklung experimenteller Kompetenzen bieten.

Forschungsfrage

Das Seminarkonzept ist insofern innovativ, als es die Vermittlung digitaler Kompetenzen verzahnt mit dem Erkenntnisgewinnungsprozess in den Mittelpunkt stellt. Vor diesem Hintergrund stellt sich die zentrale Frage, inwiefern das Seminarkonzept entsprechende Kompetenzentwicklungen bei den Lehramtsstudierenden anregt. Damit ergibt sich folgende Forschungsfrage:

Inwiefern integrieren Lehramtsstudierende digitale Kompetenzen in die einzelnen Phasen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses und nutzen dabei Scaffolding-Möglichkeiten zur Unterstützung von Lernprozessen?

Dabei wird angenommen, dass H1) die Studierenden im zweiten Stimulated Recall vermehrt digitale Kompetenzen im Zusammenhang mit den Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses äußern. Des Weiteren wird angenommen, dass H2) im zweiten Stimulated Recall Scaffolding-Möglichkeiten vermehrt mit den Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses geäußert werden.

Evaluation der Lehrveranstaltung

Methode und Design

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden zwei Stimulated Recalls (Calderhead 1981; Messmer 2015; Wyss 2013) durchgeführt, um die Reflexionen der Studierenden über ihre eigenen Lernprozesse zu erfassen. Der Fokus lag auf der Vernetzung digitaler Kompetenzen mit den Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses. In diesem Zusammenhang wurde keine direkte Messung digitaler Kompetenzen vorgenommen, sondern die Erhebung basierte auf Selbsteinschätzungen der Studierenden. Diese spiegeln ihre eigenen Überlegungen, Entscheidungen und Handlungen im Umgang mit digitalen Medien und experimentellen Prozessen wider. Die beiden Stimulated Recalls fanden während des Semesters begleitend statt. Der erste Stimulated Recall wurde direkt im Anschluss an Schülertag A durchgeführt. Als Stimulus diente das analoge Arbeitsblatt, welches die Studierenden für den Schülertag A erstellten. Dieses bildet das gewählte Experiment ab und, darauf aufbauend, wird im Laufe des Semesters der DEAN entwickelt. Der zweite Recall erfolgte nach der Fertigstellung des digitalen Lernbegleiters, noch vor dem Schülertag B (s. Abb. 2).

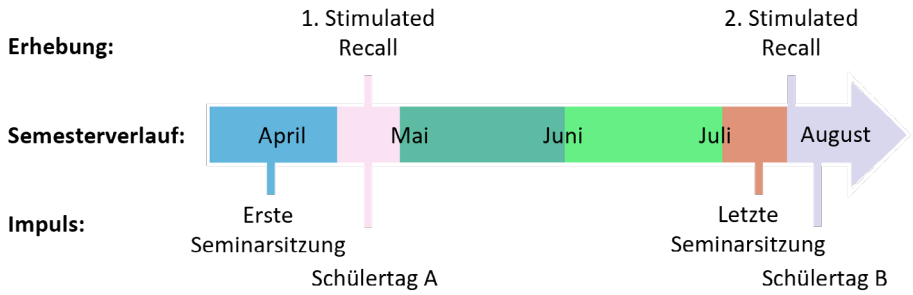


Abbildung 2: Ablauf der Datenerhebung: Erhebungen, Zeitpunkte und Impulse. Farbgebung entsprechend den Phasen des Seminarkonzeptes (s. Tab. 2)

Der Stimulus im zweiten Stimulated Recall bestand aus dem vollständigen DEAN, ergänzt um ausgewählte Zitate aus dem ersten Stimulated Recall. Diese Kombination ermöglichte den Studierenden, ihre bisherigen Überlegungen erneut aufzugreifen, kritisch zu reflektieren und die Entwicklung ihrer digitalen Kompetenzen zu bewerten. In diesem Zusammenhang werden die Zielkonstrukte in den Stimulated Recalls unterschiedlich adressiert und inhaltlich ausgestaltet (s. Tab. 3). Die Stimulated Recalls wurden anhand halbstrukturierter Leitfäden durchgeführt, dauerten 30 bis 60 Minuten und fanden in den Zweiergruppen statt, in denen die Studierenden auch während des Seminars arbeiteten.

Katharina Forster, Antonia Linsmeier, Dominik Diermann & Jenna Koenen (2026): **DEAN** – **D**igitale **E**xperimentier**a**ssisten**t**en in der Lehre: Konzeption, Umsetzung und Evaluation eines innovativen Seminarkonzeptes. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 28-54. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Tabelle 3: Darstellung der Zielkonstrukte für die Stimulated Recalls

Zielkonstrukt	**1. Stimulated Recall** Stimulus: Analoges Arbeitsblatt und Schülertag A	**2. Stimulated Recall** Stimulus: Erstellter DEAN
Digitale Medien	Nennung erster Ideen über Mehrwert und innovative Gestaltung der digitalen Aufbereitung des Arbeitsblatts; Ideensammlung von Programmen, Anwendungen etc., die für DEAN verwendet werden können.	Vergleich analoges Arbeitsblatt vs. digitaler Experimentierassistent; Mehrwert des DEANs; Erläuterung der kreativen Umsetzung und Gestaltung des digitalen Lernbegleiters.
DiKoLAN-Kompetenzen	Fragen zu den sieben Teilkompetenzen nach DiKoLAN (z. B. „Beschreibt eure Kenntnisse und Fähigkeiten darüber, Fotos oder Videos aufzunehmen, zu bearbeiten, einzubinden und verschiedene Medien zu kombinieren." *(Dokumentation)*); Einschätzung, ob Seminar zum Erwerb/Weiterentwicklung dieser Kompetenzen beiträgt.	Reflexion der Umsetzung in Bezug auf die sieben Basiskompetenzen nach DiKoLAN; (z. B. „Der DEAN hat das Ziel, bei den SuS einen Erkenntnisgewinnungsprozess einzuleiten. Inwieweit ist euer DEAN ziel- und adressatengerecht gestaltet, um dieses Ziel zu erreichen?" *(Präsentation)*); Erläuterungen zu Anwendungen von digitalen Medien (Programmen, Anwendungen etc.) im erstellten DEAN.
Erkenntnis-gewinnungsprozess	Wurden nicht explizit erfragt.	Wurden nicht explizit erfragt.
Scaffolding-Möglichkeiten	Wurden nicht explizit erfragt.	Wurden nicht explizit erfragt.

Datenerhebung und -auswertung

Die Datenerhebung fand im Sommersemester 2024 statt und umfasste die beiden Stimulated Recalls. Diese wurden audioaufgezeichnet, transkribiert und anschließend mithilfe der qualitativen Datenanalysesoftware MAXQDA (VERBI Software 2022) kodiert. Für die systematische Analyse der Daten wurde ein Kodiermanual entwickelt, das sich an den Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses (Sonnenschein et al. 2019) orientiert und im Verlauf der Auswertung induktiv ergänzt wurde. Berücksichtigt wurden ausschließlich Textpassagen, die sich explizit auf das durchgeführte Experiment bezogen, um den Zusammenhang zwischen digitaler und experimenteller Kompetenz zu erfassen. Generell wurde ein Code vergeben, sobald relevante Punkte genannt wurden, ohne dass eine weitergehende Interpretation der Aussagen erfolgte (vgl. Sonnenschein 2019). Die Kodierung erfolgte in zwei Schritten. Im ersten Kodierschritt wurde überprüft, ob in den Textpassagen der Versuch allgemein beschrieben, Fachwissen im Hinblick auf den Versuch genannt oder eine Phase des Erkenntnisgewinnungsprozesses erwähnt wird. Im zweiten Kodierschritt erfolgte eine weiterführende Kodierung, sofern im ersten Schritt bereits ein relevanter Code vergeben worden war. Hierbei wurde kodiert, ob Schwierigkeiten oder Unterstützungsmaßnahmen im Sinne von Scaffolding im Zusammenhang mit dem Versuch genannt wurden. Auf diese Weise kann eine Aussage bis zu zwei Codes erhalten (s. Tab. A im Anhang). Das Datenmaterial wurde zusätzlich mit einem Kodiermanual hinsichtlich digitaler Kompetenzen nach DiKoLAN (Becker et al. 2020), übernommen von Linsmeier (2024), kodiert. Zur Auswertung wurden Netzwerkanalysen mit MAXQDA (VERBI Software 2022) durchgeführt. Dabei wurde das gleichzeitige

Auftreten von Aussagen zu digitalen Kompetenzen und zu Experimentierphasen sowie von Scaffolding und Experimentierphasen analysiert.

Zur Bestimmung der Interrater-Reliabilität nach Brennan und Prediger (1981) wurde eine Doppelkodierung durchgeführt. Dabei wurden 50 % der Transkripte von einer weiteren geschulten und unabhängigen Person kodiert und anschließend wurde die Übereinstimmung der Kategorisierungen überprüft und mögliche Diskrepanzen diskutiert.

Stichprobenbeschreibung

Die Lehrveranstaltung wurde im Sommersemester 2024 an der Technischen Universität München abgehalten. Insgesamt umfasst die Stichprobe dieser qualitativen Untersuchung $N = 6$ Lehramtsstudierende. Die Proband*innen befanden sich am Ende ihres Bachelorstudiums oder am Anfang ihres Masterstudiums und alle hatten bereits eine Lehrveranstaltung zu Grundlagen der Chemiedidaktik besucht (s. Tab. 4).

Tabelle 4: Stichprobenbeschreibung

	Geschlecht		**Studiengang**		**Altersdurchschnitt**
Stimulated Recalls ($N = 6$)	Männlich	4	Gymnasiale Bildung, Mathe/Chemie	4	keine Angabe möglich
	Weiblich	2	Gymnasiale Bildung, Biologie/Chemie	0	
	Divers	0	Berufliche Bildung	2	

Ergebnisse

Interrater-Reliabilität

Die Interrater-Reliabilität der einzelnen Kategorien wurde mithilfe von Kappa nach Brennan und Prediger (1981) in MAXQDA berechnet (s. Tab. 5) und nach Döring und Bortz (2016) interpretiert.

Tabelle 5: Darstellung der Interrater-Reliabilität anhand Kappa nach Brennan und Prediger (1981)

Kategorie	**Kappa-Wert [κ_n]**	**Übereinstimmung**
Experiment		
Versuchsbeschreibung	.70	Hoch
Fachwissen	.72	Hoch
Erkenntnisgewinnungsprozess	.66	Hoch
Hypothesen/Fragestellung	.91	Sehr hoch
Planung	.68	Hoch
Aufbau	.88	Sehr hoch
Durchführung	.85	Sehr hoch
Beobachtung	.61	Hoch
Auswertung	.78	Hoch
Schwierigkeit	.73	Hoch
Scaffolding-Möglichkeiten		
Scaffolding - Digitale Unterstützung	.71	Hoch
Scaffolding - Hilfestellung	.64	Hoch
Digitale Kompetenzen		
Dokumentation	.93	Sehr hoch
Präsentation	.52	Moderat
Kommunikation & Kollaboration	.56	Moderat
Recherche & Bewertung	.91	Sehr hoch
Messwert- & Datenerfassung	.65	Hoch
Datenverarbeitung	.56	Moderat
Simulation & Modellierung	.61	Hoch

Die Kappa-Werte der Tabelle 5 zeigen in fünf Kategorien eine sehr hohe Übereinstimmung ($\kappa > .80$), etwa bei den Kategorien Hypothesen/Fragestellung ($\kappa = .91$) und Durchführung ($\kappa = .85$). Elf Kategorien lagen im Bereich hoher Übereinstimmung ($.60 < \kappa \leq .80$), z. B. Versuchsbeschreibung ($\kappa = .70$) und Messwert- & Datenerfassung ($\kappa = .65$). Drei Kategorien zeigten moderate Übereinstimmung ($.40 < \kappa \leq .60$), darunter die Präsentation ($\kappa = .52$). Die moderate Übereinstimmung zeigt sich ausschließlich bei Kategorien der Überkategorie „Digitale Kompetenzen".

Ergebnisse der Netzwerkanalysen

Digitale Kompetenzen

Die Analyse des Zusammenhangs zwischen der Nennung der Erkenntnisgewinnungsphasen und den digitalen Kompetenzen liefert differenzierte Ergebnisse. Betrachtet man die Netzwerkanalyse des ersten Stimulated Recalls (s. Abb. 3), zeigt sich, dass insgesamt 90 Aussagen getroffen werden, die einen Zusammenhang zwischen Experimentieren und digitalen Kompetenzen aufzeigen. Alle digitalen Kompetenzen konnten in

den Daten identifiziert werden, wobei *Präsentation* sowie *Messwert- & Datenerfassung* mit jeweils 20 Nennungen am häufigsten vorkommen. Auffällig ist, dass die digitale Kompetenz *Präsentation* vor allem in den Phasen des *Fachwissens* und des *Aufbaus* genutzt wird, während *Messwert- & Datenerfassung* breiter über die verschiedenen Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses verteilt ist. *Recherche & Bewertung* tritt hingegen ausschließlich in Verbindung mit *Fachwissen* auf. Anzumerken ist zudem, dass in Zusammenhang mit den Phasen der *Planung* und *Auswertung* keine digitale Kompetenz thematisiert wurde. Dies könnte darauf hindeuten, dass digitale Medien in diesen Phasen entweder weniger relevant erscheinen oder bislang kaum integriert sind.

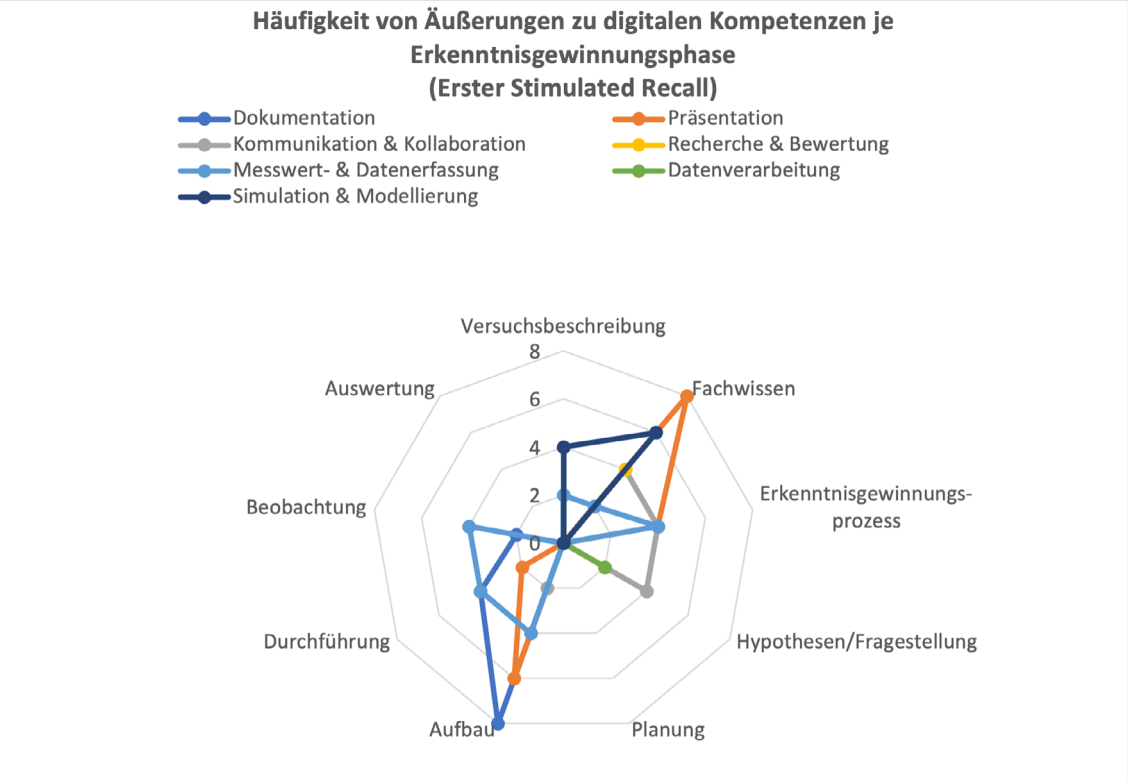


Abbildung 3: Häufigkeit von Äußerungen zu digitalen Kompetenzen je Erkenntnisgewinnungsphase (Erster Stimulated Recall)

Im zweiten Stimulated Recall (s. Abb. 4) ist mit insgesamt 124 Aussagen ein leichter Anstieg der Nennungen digitaler Kompetenzen in Verbindung mit den Erkenntnisgewinnungsphasen zu verzeichnen. Die am häufigsten genannte digitale Kompetenz ist *Präsentation* mit 48 Aussagen, die überwiegend in den Bereichen *Erkenntnisgewinnungsprozess*, *Fachwissen* sowie *Hypothesen/Fragestellung* auftritt. An zweiter Stelle folgt *Simulation & Modellierung* mit 34 Nennungen, welche hauptsächlich mit den Phasen *Fachwissen* und *Aufbau* verknüpft ist. Die übrigen digitalen Kompetenzen treten nur vereinzelt auf. Auffällig ist, dass die *Datenverarbeitung* ausschließlich im Zusammenhang mit dem E*rkenntnisgewinnungsprozess* als Ganzes genannt wird. Zudem wird die Phase *Beobachtung* nicht erwähnt und weist demnach keinerlei Vernetzung mit digitalen Kompetenzen auf.

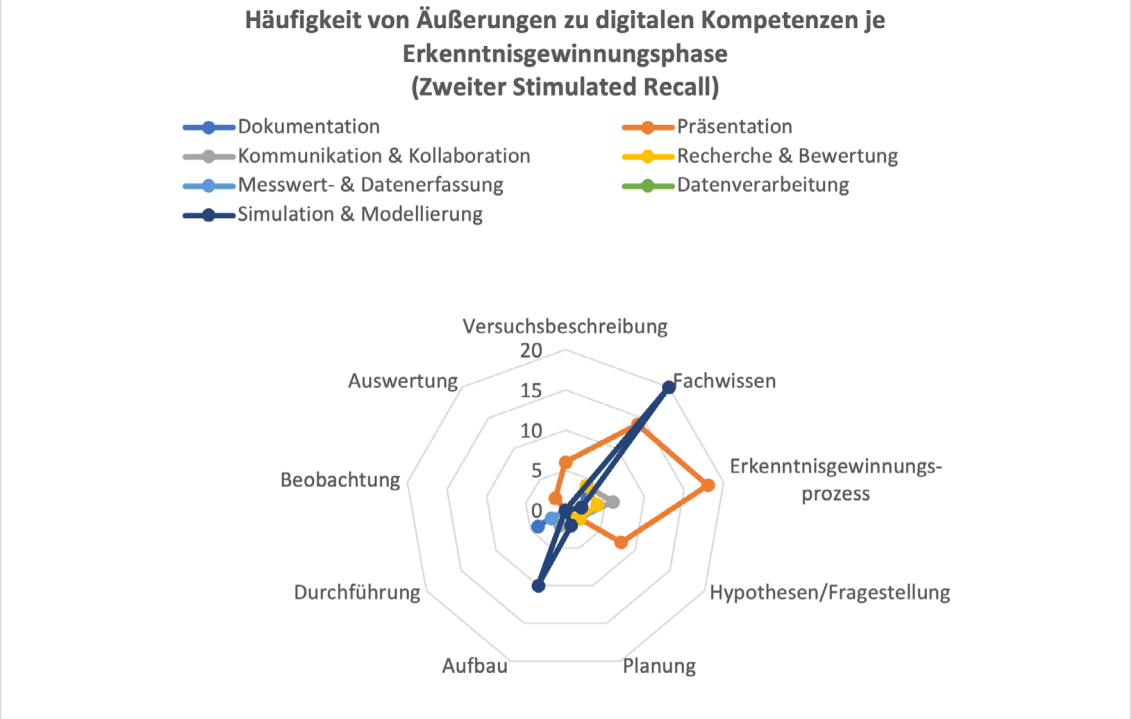


Abbildung 4: Häufigkeit von Äußerungen zu digitalen Kompetenzen je Erkenntnisgewinnungsphase (Zweiter Stimulated Recall)

Der Vergleich der beiden Netzwerkanalysen zeigt eine Zunahme der Nennungen digitaler Kompetenzen vom ersten zum zweiten Stimulated Recall (von 90 auf 124 Aussagen, + 37,8 %) in Verbindung mit den Phasen der Erkenntnisgewinnung. Besonders die digitale Kompetenz *Präsentation* gewinnt im Verlauf des Seminars an Bedeutung: Während sie zunächst vor allem in den Phasen *Fachwissen* und *Aufbau* auftrat, ist sie später zusätzlich mit *Erkenntnisgewinnungsprozess* als Ganzes und *Hypothesen/Fragestellung* verknüpft. Auch die Nutzung von *Simulation & Modellierung* nimmt im zweiten Stimulated Recall deutlich zu (von 10 auf 34 Nennungen, + 240,0 %) und ersetzt weitgehend die zuvor häufiger genannte Kompetenz *Messwert- & Datenerfassung* (Abnahme um 90,0 %). Während *Recherche & Bewertung* zunächst ausschließlich mit *Fachwissen* verbunden war, wird im späteren Verlauf *Datenverarbeitung* ausschließlich im *Erkenntnisgewinnungsprozess* genannt. Auffällig bleibt, dass die Phasen *Planung* und *Auswertung* in beiden Stimulated Recalls kaum mit digitalen Kompetenzen verknüpft sind. Zudem tritt die Phase *Beobachtung* im zweiten Stimulated Recall nicht auf. Insgesamt zeigt sich eine intensivere und breiter verteilte Nutzung digitaler Kompetenzen in den verschiedenen Phasen der Erkenntnisgewinnung im zweiten Stimulated Recall.

Scaffolding

Die Analyse der Äußerungen (insgesamt 160) zu Unterstützungsmaßnahmen (Scaffolding) in den Erkenntnisgewinnungsphasen beim ersten Stimulated Recall zeigt, dass digitale Unterstützung (92 Nennungen) am häufigsten genannt wird (s. Abb. 5). Besonders häufig tritt sie in der Kategorie *Fachwissen* (44 Nennungen) und der Phase *Aufbau* (24 Nennungen) auf, während sie in den Phasen *Planung* und *Auswertung* nicht erwähnt wird. *Hilfestellungen* (48 Nennungen) werden überwiegend im Zusammenhang mit *Aufbau* (14 Nennungen), *Durchführung* (12 Nennungen) und *Hypothesen/Fragestellung* (10 Nennungen) genannt, während *Schwierigkeiten* (20 Nennungen) insgesamt seltener erwähnt werden. Falls doch, treten sie hauptsächlich in den Kategorien *Aufbau* und *Durchführung* auf (jeweils 6 Nennungen). Die *digitale Unterstützung* steht insbesondere in Verbindung mit den digitalen Kompetenzen *Simulation & Modellierung* sowie *Präsentation*, die in den jeweiligen Erkenntnisgewinnungsphasen eine zentrale Rolle spielen.

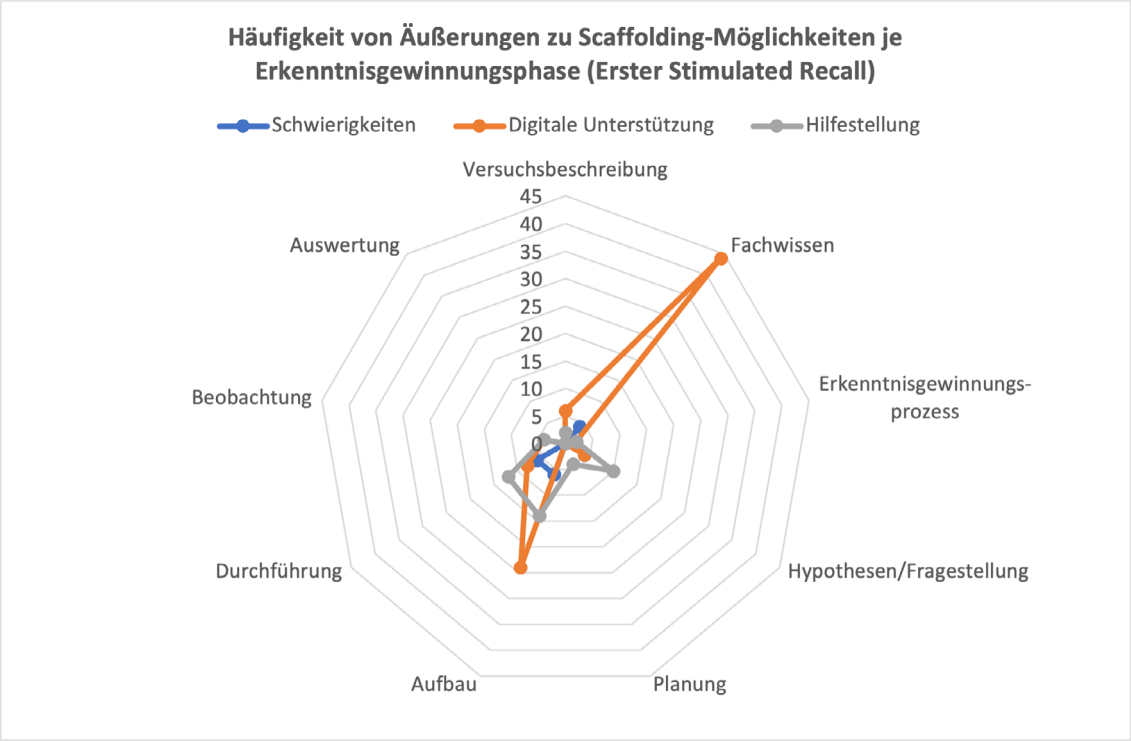


Abbildung 5: Häufigkeit von Äußerungen zu Scaffoling-Möglichkeiten und Schwierigkeiten je Erkenntnisgewinnungsphase (Erster Stimulated Recall)

Die Analyse des zweiten Stimulated Recalls hinsichtlich des Auftretens von Scaffolding innerhalb der Erkenntnisgewinnungsphasen (s. Abb. 6) zeigt insgesamt 236 Nennungen. Am häufigsten wurde *digitale Unterstützung* kodiert (160 Nennungen), wobei sie insbesondere in der Kategorie *Fachwissen* (58 Nennungen) eine Rolle spielt. Die Nennung der Phasen *Versuchsbeschreibung* und *Beobachtung* steht hingegen in keinem Zusammenhang mit der *digitalen Unterstützung*. *Hilfestellungen* (62 Nennungen) treten vorrangig in den Phasen *Hypothesen/Fragestellung* (20 Nennungen) und *Aufbau* (12 Nennungen) sowie in der Kategorie *Fachwissen* (12 Nennungen) auf, während sie bei *Versuchsbeschreibung*, *Planung*, *Durchführung* und *Beobachtung* nicht genannt werden. *Schwierigkeiten* wurden insgesamt in drei Kategorien thematisiert: *Fachwissen* (6 Nennungen), *Hypothesen/Fragestellung* (4 Nennungen) und *Durchführung* (4 Nennungen). Auffällig ist, dass die Phase *Beobachtung* insgesamt nicht mit Scaffolding-Möglichkeiten in Verbindung gebracht wird.

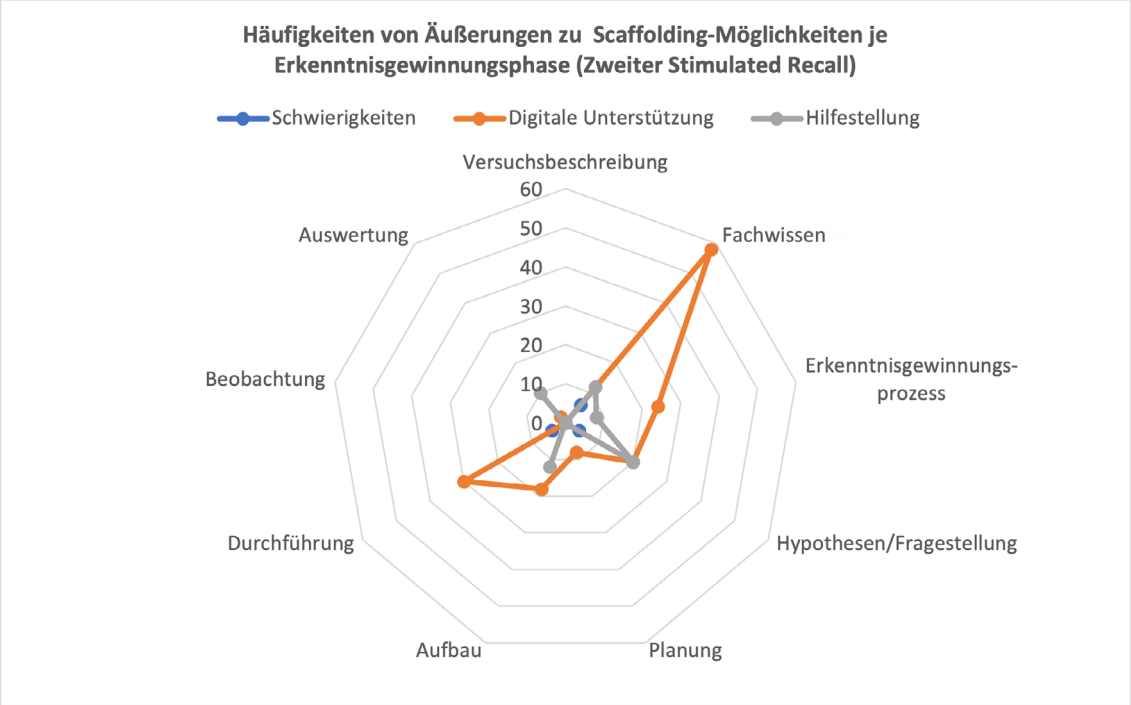


Abbildung 6: Häufigkeit von Äußerungen zu Scaffolding-Möglichkeiten und Schwierigkeiten je Erkenntnisgewinnungsphase (Zweiter Stimulated Recall)

Der Vergleich der beiden Stimulated Recalls zeigt eine Zunahme der Äußerungen zu Scaffolding-Maßnahmen in den Erkenntnisgewinnungsphasen, von 160 im ersten auf 236 Nennungen (+ 47,5 %) im zweiten Stimulated Recall. Besonders auffällig ist, dass *digitale Unterstützung* in beiden Messzeitpunkten am häufigsten genannt wird, wobei ihre Häufigkeit im zweiten Stimulated Recall weiter ansteigt (+ 73,9 %). Besonders häufig werden sie im Zusammenhang mit der Kategorie *Fachwissen* genannt. Auch bei den *Hilfestellungen* zeigt sich eine Veränderung: Während sie im ersten Stimulated Recall überwiegend mit der Phase *Aufbau* verbunden war, treten sie im zweiten Stimulated Recall vermehrt in der Phase *Hypothesen/Fragestellung* auf. Zudem werden sie in der zweiten Erhebung nicht mehr mit der Phase *Durchführung* in Verbindung gebracht. Schwierigkeiten werden in beiden Messzeitpunkten nur selten genannt. Sie beziehen sich auf die Kategorien *Fachwissen*, *Hypothesen/Fragestellung*, *Aufbau* und *Durchführung*, wobei im zweiten Stimulated Recall keine Nennungen in der Phase *Aufbau* auftreten. Auffällig ist, dass die Phasen *Planung*, *Beobachtung* und *Auswertung* in beiden Erhebungen kaum thematisiert werden, sowohl in Bezug auf *digitale Unterstützung* als auch auf andere Formen des Scaffoldings. Insgesamt zeigt sich über die beiden Messzeitpunkte hinweg eine verstärkte Reflexion über Unterstützungsmaßnahmen, insbesondere im Bereich der digitalen Unterstützung. Während die Nennungen von Hilfestellungen insgesamt leicht zunehmen, gehen die Angaben zu Schwierigkeiten leicht zurück.

Diskussion

Zur Klärung der Frage, inwiefern Studierende digitale Kompetenzen mit den Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses und Scaffolding-Möglichkeiten vernetzen, wurde eine vergleichende Analyse der beiden Stimulated Recalls durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen eine zunehmende Integration digitaler Kompetenzen und Scaffolding-Möglichkeiten in Bezug auf die Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses im Verlauf des Semesters, was sich in der Analyse der beiden Stimulated Recalls widerspiegelt. Die Interrater-Reliabilität zeigt insgesamt eine hohe bis sehr hohe Übereinstimmung der Kodierungen, was auf die gute Anwendbarkeit des Kategoriensystems hinweist. Lediglich drei Kategorien aus dem Bereich der digitalen Kompetenzen

wiesen eine moderate Übereinstimmung auf, was auf Interpretationsspielräume bei der Kodierung digitaler Aspekte hindeutet und weiteren Konkretisierungsbedarf nahelegt. Des Weiteren ist anzumerken, dass die Ergebnisse aufgrund der geringen Stichprobengröße ($N = 6$) einen rein qualitativen Charakter haben und nur eingeschränkt generalisierbar sind. Sie hängen zudem stark von den individuellen Vorerfahrungen der Teilnehmenden ab.

Digitale Kompetenzen

Im Vergleich der beiden Stimulated Recalls zeigt sich eine deutliche Zunahme der Thematisierung digitaler Kompetenzen im Verlauf des Seminars. Während im ersten Stimulated Recall digitale Kompetenzen lediglich punktuell in den Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses benannt wurden, ist im zweiten Stimulated Recall eine intensivere und differenziertere Auseinandersetzung erkennbar. Die Anzahl entsprechender Aussagen stieg um 37,8 %, was auf eine größere Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien zurückzuführen seien könnte. Diese Annahme wird durch die Gestaltung des Seminars gestützt, da in Phase 2 die theoretischen Inhalte explizit verzahnt mit praktischen Inhalten umgesetzt wurden (s. Tab. 2), um gezielt deren Potenziale und Einsatzmöglichkeiten herauszuarbeiten (Hillmayr et al. 2017; Hillmayr et al. 2020). Besonders auffällig ist die zunehmende Bedeutung der digitalen Kompetenz *Präsentation*, deren Nennung im zweiten Stimulated Recall um 140 % anstieg. Während diese Kompetenz im ersten Stimulated Recall vorwiegend mit *Fachwissen* und dem experimentellen *Aufbau* verknüpft war, zeigt sich zum Ende des Semesters eine breitere Integration – insbesondere in den Phasen der *Hypothesen/Fragestellung* und des *Erkenntnisgewinnungsprozesses*. Dies verdeutlicht die Aussage: „(Ähm) Die Folie ist in erster Linie für die Schüler*innen da, dass sie verstehen, dass eben der Experimentierkreislauf aus einem Grund Kreislauf heißt“ (2_SR_C&D_Pos. 97). Das deutet darauf hin, dass die Studierenden digitale Präsentationsmedien zunehmend gezielt einsetzen, um ihre fachlichen Überlegungen zu strukturieren und sichtbar zu machen. Im Sinne des DiKoLAN-Kompetenzbereichs *Präsentation* wird damit eine kompetente Auswahl und Nutzung passender Medien erkennbar, da die Studierenden digitale Werkzeuge nicht nur technisch bedienen, sondern deren Potenziale für die Visualisierung fachlicher Inhalte reflektiert verwenden (Becker et al. 2020). Im zweiten Stimulated Recall tritt die digitale Kompetenz *Simulation & Modellierung* deutlich häufiger auf (Anstieg um 240,0 %), während *Messwert- & Datenerfassung* seltener genannt wird (Abnahme um 90,0 %). Diese Verschiebung deutet auf ein zunehmend konzeptuelles Verständnis der Studierenden hin, das mit einer reflektierten Auswahl und Anwendung digitaler Werkzeuge im Verlauf des Seminars einhergeht. Im ersten Stimulated Recall wurde die Kompetenz *Simulation & Modellierung* kaum thematisiert, wie die folgende Aussage verdeutlicht: „Also Simulation hab ich auch noch gar nicht erstellt“ (1_SR_C&D_Pos. 670). Im zweiten Stimulated Recall hingegen zeigt sich eine deutlich intensivere Nutzung simulationsbasierter Tools, wie die Kommentare belegen: „Das können wir mit einer Animation besser als mit einem Buch“ (2_SR_A&B_Pos. 182) und „Ja dann haben wir GeoGebra für eine Simulation verwendet, weil man da einfach Dinge verschieben kann“ (2_SR_A&B_Pos. 355). Diese Aussagen unterstreichen, dass digitale Medien zunehmend nicht nur als technische Hilfsmittel, sondern auch als integrative Elemente kognitiver Lernprozesse eingesetzt werden – beispielsweise zur Veranschaulichung komplexer submikroskopischer Zusammenhänge. Dies deckt sich mit Befunden, wonach simulationsbasierte Lernumgebungen das konzeptuelle Verständnis signifikant fördern und Lernende in ihrer Fähigkeit unterstützen, Wissen mental zu modellieren (de Jong & van Joolingen 1998; Rutten et al. 2012). Die zunehmende Nutzung simulationsbasierter Tools weist wiederum darauf hin, dass Studierende Kompetenzen im DiKoLAN-Bereich *Simulation & Modellierung* aufbauen, indem sie digitale Simulationen zielgerichtet zur Erkenntnisgewinnung einsetzen und deren Potenziale wie auch Grenzen reflektiert berücksichtigen (Becker et al. 2020). Gleichzeitig bestätigen diese Ergebnisse bestehende Befunde, wonach Defizite im professionellen Umgang mit digitalen Medien häufig auf mangelndem Verständnis ihrer Anwendung zurückzuführen sind (Sieve & Schanze 2015). Möglicherweise hängt dies auch damit zusammen, dass die Studierenden im Verlauf des Semesters zunehmend reflektiertere Entscheidungen über den didaktisch sinnvollen Einsatz spezifischer digitaler Medien zur Entwicklung ihres digitalen Experimentierassistenten getroffen haben. Dennoch zeigt sich, dass die Phasen *Planung* und *Auswertung* des Erkenntnisgewinnungsprozesses in beiden Stimulated Recalls kaum mit digitalen Kompetenzen in Verbindung gebracht werden. Gerade in der Auswertungsphase könnte der gezielte Einsatz digitaler Werkzeuge – etwa zur Visualisierung oder Interpretation experimenteller Daten – einen Mehrwert bieten. Die fehlende

Thematisierung dieser Phasen (*Planung* und *Auswertung*) deutet auf eine Lücke im Unterstützungsangebot oder im Bewusstsein der Studierenden hin.

Scaffolding-Möglichkeiten

Die Reflexion über Scaffolding-Möglichkeiten nimmt im Verlauf des Seminars zu (Anstieg um 58,6 %). So wurde die Kategorie *digitale Unterstützung* im zweiten Stimulated Recall häufiger genannt, insbesondere in Kombination mit der Kategorie *Fachwissen*. Dies verdeutlichen die Aussagen der Studierenden, wie „Die Simulation und die Animation, dass man einfach noch mal n tieferes Verständnis für wie ich find schon n komplexes Thema auch entwickeln kann" (2_SR_C&D_Pos. 313) oder „Sondern man kann genau wo drauf tippen wo steht pH-Wert und das verstehe ich noch nicht" (2_SR_C&D_Pos. 291). Beide Kommentare zeigen, dass digitale Unterstützungssysteme nicht nur als Hilfsmittel wahrgenommen werden, sondern auch als Möglichkeit, komplexe Inhalte zu vertiefen und gezielt Verständnislücken zu schließen. Dies steht im Einklang mit Erkenntnissen zur lernförderlichen Wirkung digitaler Unterstützungssysteme, insbesondere beim Wissensaufbau (Seibert et al. 2021). Gleichzeitig zeigt sich, dass der Einsatz digitaler Unterstützung in den Phasen *Planung, Beobachtung* und *Auswertung* weiterhin gering bleibt. Diese Beobachtung deckt sich mit der insgesamt schwachen Vernetzung digitaler Kompetenzen in diesen Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses. Aus der Perspektive des Professionswissens nach Shulman (1986, 1987) könnte dies darauf hinweisen, dass den Studierenden insbesondere das fachdidaktische Wissen fehlt, um digitale Medien gezielt und sinnvoll in diesen Phasen einzusetzen (Große-Heilmann et al. 2022). Möglicherweise nehmen sie die Phasen *Planung, Beobachtung* und *Auswertung* des Erkenntnisgewinnungsprozesses nicht als besonders unterstützungsbedürftig wahr oder es mangelt ihnen an exemplarischen Anwendungsbeispielen, um geeignete digitale Werkzeuge in der Planung, Beobachtung und Auswertung effektiv einzubinden. Die geringe Integration digitaler Medien könnte somit weniger auf eine bewusste Entscheidung als vielmehr auf ein unzureichendes Professionswissen und mangelnde Vertrautheit mit digitalen Anwendungen zurückzuführen sein (Sieve & Schanze 2015). Betrachtet man die (analogen) *Hilfestellungen*, so zeigen die Ergebnisse, dass diese im ersten Stimulated Recall vorrangig mit den Phasen *Aufbau* und *Durchführung* verbunden waren. Im zweiten Stimulated Recall treten diese vermehrt in der Phase *Hypothesen/Fragestellung* auf. Dies lässt vermuten, dass die Studierenden sich im Verlauf zunehmend mit inhaltlichen und konzeptuellen Aspekten des Experimentierens beschäftigen, nachdem der Fokus zu Beginn eher auf praktischen Herausforderungen (Aufbau und Durchführung des Experiments) lag. In Übereinstimmung damit betont Helmke (2012), dass gerade in handlungsorientierten Lernphasen eine gezielte Unterstützung und Strukturierung erforderlich ist, damit Lernende komplexe Aufgaben erfolgreich bewältigen können. *Schwierigkeiten* wurden in beiden Stimulated Recalls selten geäußert, was entweder auf eine geringe Wahrnehmung von Problemen oder eine zurückhaltende Kommunikation hinweist (vgl. Neuweg 2002). Zudem hat sich übergreifend gezeigt, dass die Erkenntnisgewinnungsphase *Auswertung*, sowohl in Bezug auf digitale Kompetenzen als auch auf Scaffolding-Möglichkeiten, sehr selten genannt wurde. Die Auswertungsphase nimmt jedoch im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess eine zentrale Rolle ein, da hier die gewonnenen Daten analysiert, interpretiert und in Bezug zur ursprünglichen Fragestellung gesetzt werden (Emden & Sumfleth 2016). Diese Phase bietet somit ein hohes Potenzial für gezielte Unterstützungsmaßnahmen (Nerdel & von Kotzebue 2020), etwa durch digitale Werkzeuge zur Datenanalyse oder durch strukturierte Reflexionshilfen.

Fazit & Ausblick

Die vorliegende Studie untersuchte die vernetzte Kompetenzentwicklung digitaler Kompetenzen und Scaffolding-Möglichkeiten im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess bei Lehramtsstudierenden im Fach Chemie im Rahmen eines Seminarkonzepts zur Vermittlung digitaler Kompetenzen im Zusammenhang mit dem Experimentieren. Die Ergebnisse zeigen im Gesamten eine deutliche Zunahme der Integration digitaler Kompetenzen vom ersten zum zweiten Stimulated Recall, insbesondere in den digitalen Kompetenzen *Präsentation* und *Simulation & Modellierung*. Gleichzeitig blieb der Einsatz digitaler Unterstützung in den Phasen *Planung, Beobachtung* und *Auswertung* vergleichsweise gering. Auffällig war zudem die geringe Berücksichtigung der Auswertungsphase, sowohl hinsichtlich digitaler Kompetenzen

als auch hinsichtlich Scaffolding-Möglichkeiten. Zukünftige Studien sollten mit größeren Stichproben und mehreren Messzeitpunkten untersuchen, wie sich digitale Kompetenzen im Kontext des Erkenntnisgewinnungsprozesses weiterentwickeln, um fundierte Aussagen über Lernverläufe treffen zu können. Zudem wäre eine differenziertere Analyse der Einstellungen der Studierenden zu spezifischen digitalen Medien und Anwendungen sinnvoll, um zu verstehen, welche Tools in welchen Phasen als besonders hilfreich empfunden werden. Diese Erkenntnisse könnten Aufschluss darüber geben, wie sich die Studierenden im Rahmen ihrer Ausbildung im Hinblick auf den Aufbau von Professionswissen weiterentwickeln, insbesondere indem sie lernen, digitale Werkzeuge didaktisch sinnvoll in verschiedene Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses zu integrieren und dadurch digitale, fachliche und fachdidaktische Kompetenzen zunehmend miteinander zu vernetzen. Eine solche Analyse wäre somit sowohl theoriegeleitet als auch praxisrelevant für die Gestaltung zukünftiger Ausbildungsformate. Hier wäre es sinnvoll, noch gezielter die einzelnen Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses und mögliche Scaffolding-Möglichkeiten explizit im Seminar zu thematisieren. Die Ergebnisse der beiden Stimulated Recalls zeigen, dass sich die Nutzung digitaler Kompetenzen sowie die Einbindung von Scaffolding-Möglichkeiten im Verlauf des Semesters deutlich intensivieren und differenzieren. Während im ersten Messzeitpunkt digitale Kompetenzen noch vereinzelt und in begrenzten Phasen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses genannt wurden, ist im zweiten Stimulated Recall eine ausgeprägtere und über mehr Prozessphasen hinweg breitere Nutzung erkennbar. Parallel dazu steigen auch die Reflexion und die Anwendung von Unterstützungsmaßnahmen, insbesondere des digital gestützten Scaffoldings, was auf eine zunehmende Professionalisierung der Lehramtsstudierenden im Umgang mit digitalen Medien im experimentellen Kontext hinweist. Dies spricht für das Seminarkonzept zur Entwicklung digitaler Experimentierassistenten.

Danksagung

Das Konzept „DEAN – **D**igitaler **E**xperimentier**a**ssiste**n**t“ wurde im Rahmen des Programms Kolleg:Didaktik digital der Joachim Herz Stiftung entwickelt und gefördert (Projektnummer 850041). Wir danken zudem den Lehramtsstudierenden der TU München für ihre Teilnahme an der Studie.

Anmerkung

Die Forschungsdaten sind auf dem Server der Technischen Universität München anonymisiert gespeichert.

Literatur

Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlock-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D. & Tuan, H.-L. (2004): Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education, 88*(3), S. 397-419.

Altmeyer, K., Kapp, S., Thees, M., Malone, S., Kuhn, J. & Brünken, R. (2020): The use of augmented reality to foster conceptual knowledge acquisition in STEM laboratory courses – Theoretical background and empirical results. *British Journal of Educational Technology, 51*(3), S. 611-628. https://doi.org/10.1111/bjet.12900

Baumert, J. & Kunter, M. (2006): Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9*(4), S. 469-520.

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020): Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen. Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 14-43). Joachim Herz Stiftung. https://doi.org/10.60530/opus-3489

Belland, B. R. (2017): Instructional scaffolding: Foundations and evolving definition. In B. R. Belland (Hrsg.), *Instructional scaffolding in STEM education: Strategies and efficacy evidence (*S. 17-53). Heidelberg u. a.: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02565-0

Brennan, R. L. & Prediger, D. J. (1981): Coefficient Kappa: Some Uses, Misuses, and Alternatives. *Educational and Psychological Measurement, 41*(3), S. 687-699.

Bromme, R. (1992): *Der Lehrer als Experte: Zur Psychologie des professionellen Wissens*. Bern u.a.: Verlag Hans Huber.

Bybee, R. W. (2002): Scientific literacy – Mythos oder Realität? In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa & R. Evans (Hrsg.), *Scientific Literacy (*S. 21-43). Opladen: Leske + Budrich.

Calderhead, J. (1981): Stimulated-recall: A method for research on teaching. *British Journal of Educational Psychology, 51*(2), S. 211-217.

Carlson, J., Daehler, K. R., Alonzo, A. C., Barendsen, E., Berry, A., Borowski, A., Carpendale, J., Chan, K. K. H., Cooper, R., Friedrichsen, P., Gess-Newsome, J., Henze-Rietveld, I., Hume, A., Kirschner, S., Liepertz, S., Loughran, J., Mavhunga, E., Neumann, K., Nilsson, P., Park, S., Rollnick, M., Sickel, A., Schneider, R. M., Suh, J. K., van Driel, J. & Wilson, C. D. (2019): The refined consensus model of pedagogical content knowledge in science education. In A. Hume, R. Cooper & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science* (S. 3-20). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2

De Jong, T., Linn, M. C. & Zacharia, Z. C. (2013): Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science, 340*(6130), S. 305-308.

De Jong, T. & van Joolingen, W. (1998): Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research, 68(*2), S. 179-202.

Döring, N. & Bortz, J. (2016): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. 5. Auflage. Berlin und Heidelberg: Springer Verlag.

Eickelmann, B. (2010): Digitale Medien in Schule und Unterricht erfolgreich implementieren. Eine empirische Analyse aus Sicht der Schulentwicklungsforschung. (Empirische Erziehungswissenschaft, Band 19) (Dissertation). Dortmund: Technische Universität Dortmund.

Eickelmann, B. (2017): Konzepte und Entwicklungsperspektiven. Kompetenzen in der digitalen Welt. Berlin: Friedrich-Ebert-Stiftung.

Emden, M., Koenen, J. & Sumfleth, E. (2016): Fördern im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung – Experimentieren im Inquiry-Ansatz. In J. Koenen, M. Emden & E. Sumfleth (Hrsg.), *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (S. 9-18). Münster: Waxmann Verlag.

Emden, M. & Sumfleth, E. (2016): Assessing students' experimentation processes in guided inquiry. *International Journal of Science and Mathematics Education, 14*(1), S. 29-54.

Forster, K., Diermann, D. & Koenen, J. (2024): DEAN – Digital unterstützt Experimentieren, eine Seminarkonzeption. In H. van Vorst (Hrsg.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung 2023* (S. 806-809). Universität Duisburg-Essen.

Katharina Forster, Antonia Linsmeier, Dominik Diermann & Jenna Koenen (2026): **DEAN** – **D**igitale **E**xperimentier**a**ssisten**t**en in der Lehre: Konzeption, Umsetzung und Evaluation eines innovativen Seminarkonzeptes. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 28-54. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Förtsch, C., Werner, S., von Kotzebue, L. & Neuhaus, B. J. (2016): Effects of biology teachers' professional knowledge and cognitive activation on students' achievement. *International Journal of Science Education, 38*(14), S. 2642-2666.

Friedrich, J., Geuther, A., Habelitz-Tkotz, W., Klemeyer, H., Nickel, H., Proske, W., Pfrangert Becker, U. & Rossow, M. (2023): Lehrerbildung: Experimentieren können. *Nachrichten aus der Chemie, 71*(5), S. 20-24. https://doi.org/10.1002/nadc.20234126718

Große-Heilmann, R., Riese, J., Burde, J.-P., Schubatzky, T. & Weiler, D. (2022): Fostering Pre-Service Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge Regarding Digital Media. *Education Sciences, 12*(7), 440. https://doi.org/10.3390/educsci12070440

Gruber, H. & Harteis, C. (2018): *Individual and social influences on professional learning: Supporting the acquisition and maintenance of expertise.* Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97041-7

Gut-Glanzmann, C. & Mayer, J. (2018): Experimentelle Kompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121-140). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_8

Hartmann, W. & Hundertpfund, A. (2015): *Digitale Kompetenz. Was die Schule dazu beitragen kann.* Bern: hep Verlag.

Hattie, J. (2009): *Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement.* London: Routledge.

Helmke, A. (2012): *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität: Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. 1. Auflage. Weinheim: Beltz.

Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L. & Reiss, K. (2017): *Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit. Zentrum für internationale Vergleichsstudien (ZIB).* Münster: Waxmann Verlag. https://doi.org/10.25656/01:15482

Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I. & Reiss, K. M. (2020): The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers & Education, 153*, 103897. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103897

Holdener, A., Bellanger, S. & Mohr, S. (2016): „Digitale Kompetenz" als hochschulweiter Bezugsrahmen in einem Strategieentwicklungsprozess. In J. Wachtler, M. Ebner, O. Gröblinger, M. Kopp, E. Bratengeyer, H.-P. Steinbacher, C. Freisleben-Teutscher & C. Kapper (Hrsg.), *Hochschuldidaktik zwischen Bewahrung und Innovation* (S. 65-74). Münster u. a.: Waxmann Verlag. https://doi.org/10.25656/01:15780

Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019): Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung des Unterrichts erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU – Journal der Mathematik, Naturwissenschaften und Technik im Unterricht, 72*(5), S. 358-364.

Kerres, M. (2018): *Mediendidaktik – Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote.* 5. Auflage. Berlin/Boston: De Gruyter.

KMK = Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2016): *Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt".* https://www.bildungsserver.de/onlineressource.html?onlineressourcen_id=57731 (Abfrage: 10.04.2026).

KMK (2024): *Bildungsstandards Naturwissenschaften: Implementierungsbroschüre.* https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Bildung/Qualitaet/ImplBroschuere_BiSta_NATURWISSENSCHAFTEN_2024-06-06.pdf (Abfrage: 10.04.2026).

Koenen, J. (2016): Gestaltung von Experimentiersituationen – Wahl verschiedener Öffnungsgrade. In J. Koenen, M. Emden & E. Sumfleth (Hrsg.), *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (S. 19-24). Münster: Waxmann Verlag.

Koenen, J., Forster, K. & Diermann, D. (2026): Experimentieren digital begleiten. Experimentierprozesse wie die Durchführung der Knallgasprobe mit interaktiven E-Books unterstützen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 37*(2), S. 10-15.

Krauss, S. & Bruckmaier, G. (2014): Das Experten-Paradigma in der Forschung zum Lehrerberuf. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf (*S. 241-261). Münster: Waxmann Verlag.

Linsmeier, A. (2024): *Entwicklung Digitaler-, Medien- und Reflexionskompetenz bei Lehramtsstudierenden durch die begleitete Erstellung digitaler Experimentierassistenten* [Unveröffentlichte Masterarbeit]. Technische Universität München.

Lipowsky, F. (2006): Auf den Lehrer kommt es an. Empirische Evidenzen für Zusammenhänge zwischen Lehrerkompetenzen, Lehrerhandeln und dem Lernen der Schüler. In C. Allemann-Ghionda & E. Terhart (Hrsg.), *Kompetenzen und Kompetenzentwicklung von Lehrerinnen und Lehrern (*S. 47-70). Weinheim u. a.: Beltz. https://doi.org/10.25656/01:7367

Messmer, R. (2015): Stimulated Recall als fokussierter Zugang zu Handlungs- und Denkprozessen von Lehrpersonen. *Forum qualitative Sozialforschung, 16*(1), Art. 3. https://doi.org/10.17169/fqs-16.1.2051

Microsoft Corporation (2024): *Microsoft PowerPoint* [Computer-Software]. Microsoft.

Nerdel, C. & von Kotzebue, L. (2020): Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht: Aufgaben für die Lehrerbildung. *Zeitschrift für Pädagogik, 66*(2), S. 159-173. https://doi.org/10.25656/01:25789

Neuweg, G. H. (2002): Lehrerhandeln und Lehrerbildung im Lichte des Konzepts des impliziten Wissens. *Zeitschrift für Pädagogik, 48*(1), S. 10-29. https://doi.org/10.25656/01:3818

Pintrich, P. R., Smith, D. A. F., García, T. & McKeachie, W. J. (1991): *A manual for the use of the motivated strategies for learning questionnaire (MSLQ)*. University of Michigan, National Center for Research to Improve Postsecondary Teaching and Learning.

Prenzel, M. & Parchmann, I. (2003): Kompetenz entwickeln. Praxis der Naturwissenschaften. *Chemie in der Schule, 14*(76/77), S. 15-19.

Redecker, C. (2017): *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu.* Joint Research Centre.

Rutten, N., Van Joolingen, W. R. & Van Der Veen, J. T. (2012): The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education, 58*(1), S. 136-153. https://doi/10.1016/j.compedu.2011.07.017

Schlummer, P., Wichtrup, P., Meßinger-Koppelt, J., Heusler, S. & Laumann, D. (2021): Digitale Medien und Experimente – Perspektiven aus der Schulpraxis. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung 2020* (S. 661-664). Universität Duisburg-Essen.

Schneeweiß, N. & Sieve, B. (2020): Experimentieren mit digitalen Werkzeugen. *Unterricht Chemie, 177/178*, S. 24-27.

Seibert, J., Heuser, K., Lang, V., Perels, F., Huwer, J. & Kay, C. W. M. (2021): Multitouch Experiment Instructions to Promote Self-Regulation in Inquiry-Based Learning in School Laboratories. *Journal of Chemical Education, 98*(5), S. 1602-1609. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.oco1177

Shulman, L. S. (1986): Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher, 15*(2), S. 4-14.

Shulman, L. S. (1987): Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review, 57*(1), S. 1-22. https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411

Sieve, B. & Schanze, S. (2015): Lernen im digital organisierten Chemieraum. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 145*, S. 2-7.

Sonnenschein, I. (2019): *Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsprozesse Studierender im Labor.* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 289). Berlin: Logos Verlag.

Sonnenschein, I., Koenen, J. & Tiemann, R. (2019): Wissenschaftliches Denken von Lehramtskandidaten. Explorative Studie im Fach Chemie. In T. Leuders, E. Christophel, M. Hemmer, F. Korneck & P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktische Forschung in der Lehrerbildung* (S. 215-225). Münster: Waxmann Verlag.

Trilling, B. & Fadel, C. (2009): *21st century skills: Learning for life in our times*. Hoboken: John Wiley & Sons.

VERBI Software (2022): *MAXQDA* (Version 22) [Computer-Software]. VERBI Software. www.maxqda.com (Abfrage: 01.04.2025).

Vygotsky, L. S. (1978): Interaction between learning and development. In M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner & E. Souberman (Hrsg.), *Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes* (S. 79-91). Cambridge, MA: Harvard University Press.

Weinert, F. E. (2001): Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – Eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (S. 17-31). Weinheim: Beltz.

Wood, D., Bruner, J. S. & Ross, G. (1976): The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 17*(2), S. 89-100.

Wyss, C. (2013): *Unterricht und Reflexion: Eine mehrperspektivische Untersuchung der Unterrichts- und Reflexionskompetenz von Lehrkräften.* Empirische Erziehungswissenschaft: Band 44. Münster: Waxmann Verlag.

Zerouali, A., Brinkmann, J., Frömmel, M. & Koenen, J. (2024a): *Toolbox Lehrerbildung – ViFoNet Fortbildungsmodul: Digitaler interaktiver Assistent (DINA) zum problembasierten Lernen.* www.toolbox.edu.tum.de/pages/trainings/1/15.html (Abfrage: 01.04.2025).

Zerouali, A., Brinkmann, J., Frömmel, M. & Koenen, J. (2024b): *Toolbox Lehrerbildung – ViFoNet Fortbildungsmodul: Praxistipps – Methodenwerkzeuge in DINAs zur sprachsensiblen Unterrichtsgestaltung.* www.toolbox.edu.tum.de/pages/trainings/1/26.html *(Abfrage: 01.04.2025).*

Zerouali, A. & Koenen, J. (im Druck): Digitale Simulationen zur BNE im sprachsensiblen Chemieunterricht – Ein Überblick über die Fortbildung DigiPro-CH. In M. Holodynski & N. Meschede (Hrsg.), *Videobasierte Fortbildungen zum digital gestützten Unterrichten – Innovative Konzepte und Befunde für (Fremd-) Sprachen und Bildung für nachhaltige Entwicklung.* Münster: Waxmann Verlag.

Anhang

Tabelle A: Übersicht und Beschreibung der Kategorien sowie die Einteilung in Kodierschritte (Kodiermanual)

Kategorie	**Beschreibung**
1. Kodierschritt	
Versuchsbeschreibung	Versuchsbeschreibung erfolgt, wenn der Versuchsablauf in allgemeiner Form dargestellt wird, ohne auf konkrete Schritte des Erkenntnisgewinnungsprozesses einzugehen. Zentral ist somit die didaktische Zielsetzung des Experimentes, d. h. die Kategorie wird kodiert, wenn beschrieben wird, welches Ziel mit dem Experiment beabsichtigt wird bzw. welcher fachliche oder methodische Lernzuwachs bei den Schüler*innen angestrebt wird.
Fachwissen	Fachwissen wird kodiert, wenn fachliche Aspekte des chemischen Experiments thematisiert werden. Dazu zählen fachliche Erklärungen, Reaktionsgleichungen oder chemische Prinzipien, die dem Experiment zugrunde liegen.
Experiment	Experiment wird kodiert, wenn in einer Äußerung ein Experiment oder ein experimentelles Vorgehen thematisiert wird, indem konkrete Schritte des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses benannt oder beschrieben werden (Erkenntnisgewinnungsprozess im Allgemeinen, Hypothesen/Fragestellung, Planung, Aufbau, Durchführung, Beobachtung oder Auswertung).
Erkenntnisgewinnungsprozess – Allgemein	Erkenntnisgewinnungsprozess wird kodiert, wenn der naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnungsprozess als Ganzes thematisiert wird – etwa durch eine allgemeine Beschreibung oder Nennung des Prozesses. Es erfolgt dabei keine differenzierte Auseinandersetzung mit den einzelnen Phasen, sondern eine übergeordnete Bezugnahme auf den Erkenntnisgewinnungsprozess in seiner Gesamtheit.
Hypothesen/ Fragestellung	Hypothesen/Fragestellung wird kodiert, wenn sich die Aussagen auf die Entwicklung, Formulierung oder Reflexion von Hypothesen oder Fragestellungen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses beziehen. Dies umfasst nicht nur die Nennung von Hypothesen oder Fragestellungen, sondern auch die Thematisierung möglicher Schwierigkeiten bei der Hypothesengenerierung oder Unsicherheiten beim Formulieren.
Planung	Planung wird kodiert, wenn Aussagen die konkrete Planung des Experiments betreffen, z. B. die Auswahl der Materialien oder die Festlegung von Arbeitsschritten. Hierbei geht es um die Überlegungen und Entscheidungen, die vor der Durchführung getroffen werden, um den Experimentierprozess systematisch und zielgerichtet zu gestalten.
Aufbau	Aufbau wird kodiert, wenn Aussagen sich ausschließlich auf den konkreten Aufbau des Experiments beziehen, wie zum Beispiel die Anordnung der Geräte oder Materialien. Es umfasst den konkreten Aufbau ohne Einbezug von Planungsaspekten.

Kategorie	Beschreibung
1. Kodierschritt	
Durchführung	Durchführung wird kodiert, wenn Aussagen sich auf die konkrete Durchführung des Experiments beziehen, wie z. B. die Ausführung von Arbeitsschritten oder die Durchführung von Messungen. Dabei geht es um den praktischen Ablauf des Experiments, ohne dass der Planungs- oder Auswertungsprozess thematisiert wird.
Beobachtung	Beobachtung wird kodiert, wenn Aussagen sich auf die Wahrnehmung und Beschreibung von Ereignissen während des Experiments beziehen, die losgelöst von der Durchführung und ohne direkte Auswertung stattfinden. Dabei geht es um das gezielte Festhalten von sichtbaren oder messbaren Phänomenen während des Experimentierprozesses, ohne dass diese sofort interpretiert oder ausgewertet werden.
Auswertung	Auswertung wird kodiert, wenn Aussagen sich konkret mit der Analyse und Interpretation der Ergebnisse des Experiments befassen. Dies umfasst die Reflexion über die gewonnenen Daten, das Vergleichen von Ergebnissen mit Hypothesen, sowie die kritische Auseinandersetzung mit den Ergebnissen und ihrer Bedeutung im Bezug auf die Forschungsfrage.
2. Kodierschritt (Scaffolding sowie Schwierigkeiten im Zusammenhang mit dem Experiment werden nur kodiert, wenn bereits eine Kategorie aus der Überkategorie „Experiment“ (z. B. Planung, Durchführung, Auswertung) kodiert wurde)	
Schwierigkeit	Schwierigkeit wird kodiert, wenn explizit auf Schwierigkeiten von Schüler*innen im Zusammenhang mit den Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses eingegangen wird. Dabei kann es sich um Probleme bei der Formulierung von Hypothesen, der Planung und Durchführung von Experimenten oder der Auswertung und Interpretation von Ergebnissen handeln.
Scaffolding-Möglichkeiten	Hierbei wird explizit auf Möglichkeiten eingegangen, die den Experimentierprozess begleiten und unterstützen, wie z. B. Hilfestellungen während der Durchführung oder Unterstützung bei der Auswertung der Ergebnisse.
Scaffolding – Digitale Unterstützung	Digitale Unterstützungsmaßnahmen werden kodiert, wenn Aussagen sich konkret auf den Einsatz von digitalen Hilfsmitteln oder Tools zur Unterstützung des Experimentierprozesses beziehen. Dies umfasst die Nutzung von digitalen Medien oder anderen technologischen Hilfsmitteln, die die Schüler*innen in allen Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses unterstützen.
Scaffolding – Hilfestellung	Hilfestellungen ohne digitalen Bezug werden kodiert, wenn Aussagen sich auf unterstützende Maßnahmen beziehen, die nicht auf digitale Medien oder Tools angewiesen sind. Diese Hilfestellungen können allgemeiner Natur sein, wie z. B. didaktische Hinweise, direkte Erklärungen oder praktische Anweisungen, die die Schüler*innen bei der Durchführung und dem Verständnis des Experiments helfen, ohne den Einsatz von digitalen Hilfsmitteln.

Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Hildesheim: Universitätsverlag Hildesheim.

Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer
Sabrina Syskowski; Pädagogische Hochschule Karlsruhe, Institut für Allgemeine und Historische Erziehungswissenschaft, Bismarckstr. 10, 76133 Karlsruhe, sabrina.syskowski@ph-karlsruhe.de, +49 1627663578
Franziska Weich; ehemals Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften, Universitätsstraße 10, 78464 Konstanz
Johannes Huwer; Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften, Universitätsstraße 10, 78464 Konstanz, johannes.huwer@uni-konstanz.de, +49 7531-88-2533

Zusammenfassung

Das Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen ist für viele Lernende eine zentrale Herausforderung, da es die Verknüpfung der Stoff-, Teilchen- und mathematisch-symbolischen Ebene erfordert. Digitale Technologien wie Augmented Reality (AR) bieten vielversprechende Ansätze, um diese Schwierigkeiten zu überwinden. Die vorliegende Studie untersucht, wie AR-angereicherte Experimente die interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen fördern können. Im Rahmen einer videobasierten qualitativen Inhaltsanalyse wurden Daten von 22 Lernenden der 10. Klasse aus fünf Parallelklassen dreier Gymnasien in Baden-Württemberg erhoben. Die Interaktionen zwischen Lernenden, Lehrpersonen und einer AR-Lern-App wurden analysiert, um die Wirksamkeit digitaler Hilfen zu bewerten. Die Ergebnisse zeigen, dass grundlegende Schwierigkeiten wie das stöchiometrische Ausgleichen oder das Verständnis submikroskopischer und symbolischer Darstellungen weiterhin bestehen. Die in der App bereitgestellten Hilfen konnten spezifische Fehler reduzieren, jedoch bleibt das korrekte Ausgleichen eine Herausforderung. Die Untersuchung liefert wertvolle Erkenntnisse zur Optimierung von Lern-Apps und Unterrichtsmethoden im Chemieunterricht. Zukünftige Studien sollten größere Stichproben einbeziehen und untersuchen, wie kleinschrittige Hilfen, die AR-Einführung, die Wahl der Schreibweisen und die Selbsteinschätzung der Lernenden den Lernerfolg beeinflussen.

Schlüsselwörter:
Augmented Reality, Videostudie, Reaktionsgleichung, Chemieunterricht

Abstract

Setting up chemical reaction equations is a key challenge for many learners, as it requires linking the material, particle and mathematical-symbolic levels. Digital technologies such as augmented reality (AR) offer promising approaches to overcome these difficulties. This study investigates how AR-enriched experiments can promote interactive knowledge construction when setting up chemical reaction equations.
As part of a video-based qualitative content analysis, data was collected from 22 10th-grade students from five parallel classes at three high schools in Baden-Württemberg (Germany). The interactions among learners, teachers, and an AR learning app were analyzed to evaluate the effectiveness of digital aids.

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

The results show that basic difficulties, such as stoichiometric balancing or understanding submicroscopic and symbolic representations, still persist. The aids provided in the app reduced specific errors, but correctly balancing remains a challenge.
The study provides valuable insights for optimizing learning apps and teaching methods in chemistry lessons. Future studies should include larger samples and investigate how smaller-step aids, AR-introduction, spelling choices, and learner self-assessment influence learning success.

Keywords:
Augmented Reality, Video-based study, reaction equation, chemistry class

1. Einleitung

Das Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen stellt für viele Lernende eine zentrale Herausforderung dar (vgl. Taskin & Bernholt 2014, S. 165 ff.). Es erfordert nicht nur ein Verständnis der Teilchenebene und der Stoffebene, sondern auch die Fähigkeit, diese miteinander zu verknüpfen und mathematisch korrekt auszubalancieren (vgl. Taskin & Bernholt 2014, S. 166 ff.; vgl. Arasasingham et al. 2004, S. 1519). Dabei treten häufig Fehler auf, wie das Fehlen stöchiometrischer Faktoren oder alternative Konzepte zur Massenerhaltung, die den Lernerfolg erheblich beeinträchtigen können (vgl. Al-Kunifed et al. 1993, S. 19 ff.; vgl. Abraham et al. 1994; vgl. Yarroch 1985, S. 455 ff.). Zudem erfordert das Aufstellen von Reaktionsgleichungen ein hohes Maß an Abstraktionsvermögen, da die Lernenden zwischen der Stoff- und der Teilchenebene sowie mathematisch-symbolischen Ebene wechseln müssen, um die Gleichung korrekt zu formulieren (vgl. Johnstone 2000).

Digitale Technologien wie Augmented Reality (AR) bieten Ansätze, um solche Stolpersteine zu überwinden. AR ermöglicht es, abstrakte chemische Prozesse durch interaktive 3D-Visualisierungen anschaulich darzustellen und Lernende aktiv in den Wissenskonstruktionsprozess einzubinden. Erste Studien zeigen, dass AR nicht nur das Verständnis komplexer Konzepte fördern kann, sondern auch die Motivation der Lernenden steigert und individuelle Hilfestellungen ermöglicht (Cai et al. 2021, 2017).

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, Optimierungsvorschläge für digitale Lehrmethoden zu erarbeiten und aufzuzeigen, wie AR-basierte Experimente die interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen fördern können. Dadurch soll der effektive Einsatz von AR im Chemieunterricht unterstützt werden, um sowohl das fachliche Verständnis der Lernenden als auch die didaktischen Interaktionen zu verbessern.

Zu diesem Zweck werden die Interaktionen zwischen Lernenden und Lehrperson sowie die Nutzung der AR-gestützten Lern-App, die Experimente durch Visualisierungen der Teilchenebene ergänzt, mithilfe einer videobasierten qualitativen Inhaltsanalyse untersucht. Zudem werden Fehler beim Aufstellen von Reaktionsgleichungen identifiziert und analysiert. Durch die Auswertung von Video- und Audiomaterial aus Perspektive der Lernenden können deren Handlungen nachvollzogen und untersucht werden. Ziel ist es, herauszuarbeiten, wie die Lern-App angenommen und genutzt wird, welche Interaktionen und Fehler unter welchen Bedingungen auftreten und wie diese durch gezielte Optimierungen der Materialien und Hilfen minimiert werden können, um den Lernerfolg zu maximieren.

Die Forschung entstand im Rahmen des Projekts ARiELLE (Augmented Reality in Experimental Laboratory Learning Environments), in welchem Studien entworfen werden, die die Auswirkung verschiedener Gestaltungen der Augmented Reality (AR) in Lehr-Lern-Umgebungen untersuchen (Syskowski et al. 2023).

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Chemische Reaktionen: Von der Anschauung zur Symbolsprache

Der Chemieunterricht vermittelt eine wissenschaftliche Sichtweise und Vernetzung der Zusammensetzung, Struktur und Eigenschaften von Stoffen der Welt sowie deren Veränderungen, wie Phasenwechsel und Reaktionen (vgl. Demuth et al. 2005, S. 56; vgl. Talanquer & Sevian 2014, S. 25). Das Verständnis chemischen Reaktionen ist nicht nur zentral für die Naturwissenschaften (vgl. Neumann 1902), sondern auch ein wesentlicher Bestandteil der schulischen Allgemeinbildung (vgl. KMK 2020, S. 15 ff.; vgl. Bernholt et al. 2012, S. 171)“URL“:“https://www.kmk.org/themen/qualitaetssicherung-in-schulen/bildungsstandards.html#c5033“,“author“:[{„family“:“Kultusminister Konferenz“,“given“:“(KMK. Im naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe sowie bis zur Einführung des Chemieunterrichts, in der Regel in der 8. oder 9. Klasse, stehen phänomenologische Ansätze und das Arbeiten auf der Stoffebene im Vordergrund (Kultusministerium 2022). In den höheren Klassen wird das Verständnis durch die Einführung der Symbolschreibweise und den Einsatz von Modellen, wie dem Teilchenmodell, weiter vertieft (Kultusministerium 2022; vgl. Demuth et al. 2005, S. 56). Diese Symbolschreibweisen und Modelle sind wie eine neu zu lernende Sprache (vgl. Taber 2009, S. 19 ff.). Daher sollten die Lernenden nach Taber die zulässigen Symbole und ihre Bedeutung kennen, die Grammatik der Darstellungssprache verstehen und die Chemie ausreichend beherrschen,

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

um „wahre“ Aussagen in der Sprache zu formulieren, um tatsächliche oder mögliche Reaktionen darzustellen (eigene Übersetzung nach Taber 2009, S. 25).

2.2 Lernschwierigkeiten

Die zentrale Rolle chemischer Reaktionsgleichungen im naturwissenschaftlichen Verständnis macht es umso bedenklicher, dass sie so häufig falsch interpretiert oder nicht verstanden werden (vgl. Taskin & Bernholt 2014, S. 165 ff.). Probleme von Lernenden mit Reaktionsgleichungen lassen sich nach Taskin und Bernholt in vier Bereiche teilen: dem Verständnis der Funktion und Bedeutung (1), dem Aufstellen (2), der Interpretation (3) und dem Zusammenhang von der chemischen Reaktionsgleichung und der submikroskopischen Darstellung (4) (vgl. Taskin & Bernholt 2014, S. 165 ff.). Bezogen auf die Funktion und Bedeutung der Reaktionsgleichung empfinden Lernende die Schreibweise mit Symbolen zwar besser erklärend, bezogen auf die Mengenverteilung als Reaktionsschemata, interpretieren aber nur die Produkte oder die Edukte als chemische Reaktionsgleichung und sehen das Pluszeichen beispielsweise als Addition (vgl. Al-Kunifed et al. 1993, S. 15 ff.; vgl. Bernholt et al. 2012, S. 174; vgl. Reiners & Struve 2011, S. 39). Auch das Zeichen des Reaktionspfeils stellt ein Interpretationsproblem dar, da die Lernenden sich hier eher ein Gleichheitszeichen vorstellen und zeichnen oder den Pfeil als „der Pfeil zeigt auf“ ansehen und nicht „reagieren, um zu bilden“ (Al-Kunifed et al. 1993, S. 18; Marais & Jordaan 2000, S. 1357; vgl. Yarroch 1985, S. 465). Der Zusammenhang und die Unterschiede zwischen Koeffizienten, Anzahl der Atome, Ordnungszahl, Valenzladungen und Indizes stellen für Lernende eine Herausforderung dar. Diese Schwierigkeiten erschweren das Verständnis von Reaktionsgleichungen sowie deren korrekte Aufstellung und Interpretation (vgl. Al-Kunifed et al. 1993, S. 19 ff.; vgl. Abraham et al. 1994; vgl. Yarroch 1985, S. 455 ff.; vgl. Bernholt et al. 2012, S. 173). So scheitern Lernende häufig daran, geeignete Koeffizienten zu ergänzen, selbst wenn die chemischen Formeln der Edukte und Produkte vorgegeben sind (vgl. Yarroch 1985, S. 455 ff.). Diese mathematischen Probleme treten vor allem im Kontext der Chemie auf, während sie im Mathematikunterricht nach der Mittleren Reife bzw. Abitur meist problemlos gelöst werden können (vgl. Höner 1996, S. 67). Auch wenn Lernende dies schaffen, fehlt oft das Verständnis dafür, warum tiefgestellte Indizes nicht verändert werden dürfen; stattdessen werden diese häufig fälschlicherweise angepasst, um Gleichungen auszugleichen (vgl. Yarroch 1985; vgl. Abraham et al. 1994; vgl. Arasasingham et al. 2004, S. 1519). Diese Problematik bleibt über die Schuljahre hinweg bestehen, verbessert sich jedoch mit dem Übergang zum Studium (vgl. Bernholt et al. 2012, S. 174).

Bevor das Ausbalancieren chemischer Gleichungen aber folgen kann, also vor dem Hinzufügen geeigneter Koeffizienten, folgt eine weitere Problemstelle, das Angeben der richtigen Edukte und Produkte (vgl. Ben-Zvi et al. 1987, S. 117). Falsche Schlüsse der Lernenden können mittels einer additiven Sichtweise oder Konzentration auf einzelne (Einheiten von) Teilchen erklärt werden (vgl. Ben-Zvi et al. 1987, S. 117). Mit anderen Worten, die Lernenden sehen Verbindungen als eine einfache Kombination von Fragmenten und nicht als einen Prozess, in dem Bindungen gebrochen und neu gebildet werden (vgl. Arasasingham et al. 2004, S. 1519).

Lernende können laut Arasasingham et al. gut zwischen symbolischen Darstellungen und den entsprechenden Stofflichen wechseln, was bei grundlegenden Aufgaben oder bei der Identifikation von Formeln gut funktioniert (vgl. Arasasingham et al. 2004, S. 1519). Gabel sieht hier eher ein Problem, da nicht die submikroskopische Ebene neben den Experimentellen, Symbolischen eingebunden wird (vgl. Barke et al. 2018, S. 253 ff.). Oft können Lernende zwar eine Reaktionsgleichung aufstellen, verstehen aber nicht die dahinterliegenden molekularen Prozesse (vgl. Arasasingham et al. 2004, S. 1520). Dies kann daran liegen, dass sie noch einen anderen Denkprozess als Experten durchlaufen, nämlich von symbolischen Darstellungen zu numerischen Problemlösungen und dann zur Visualisierung (vgl. Arasasingham et al. 2004, S. 1522), oder das Verhältnis- bzw. Molekülformeln lediglich als Abkürzung von Stoffnamen ansehen und nicht mit Informationen zur Zusammensetzung der Stoffe verknüpfen. Daher ist es ein zentrales Anliegen für die Gestaltung von Lernprozessen alle drei Ebenen Stück für Stück einzuführen und miteinander zu verknüpfen, wie es im PIN- und START-Konzept beschrieben wird (Harsch & Heimann 1998; Harsch & Schmidkunz 2014; vgl. Barke et al. 2018, S. 254). Der Wechsel zwischen verschiedenen Repräsentationen fördert ein tieferes Verständnis, setzt jedoch voraus, dass diese intern miteinander verknüpft werden (vgl. Haas & Marohn 2022, S. 216 f.; vgl. Talanquer 2011, S. 192; vgl. Treagust et al. 2003, S. 1367). Vertrautheit mit dem Zweck ein-

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

zelner Repräsentationsebene erhöhen somit das Verständnis und die Fähigkeit der Lernenden (vgl. Treagust et al. 2003, S. 1367).

Die Erweiterung durch technologische Möglichkeiten, wie die Darstellung in 3D, eröffnet neue Wege für das Lernen. Obwohl viele Lernende Schwierigkeiten mit räumlichem Denken haben, zeigen Studien, dass verbesserte räumliche Fähigkeiten zu besseren akademischen Leistungen führen können (vgl. Toczkowski & Ralle 2015, S. 69; vgl. Sorby 2009, S. 476 ff.). Zudem berichten Lernende nach Selbsteinschätzungen ein besseres Verständnis molekularer Strukturen und chemischer Reaktionen wie der H_2-O_2-Reaktion durch den Einsatz von 3D-VR-Visualisierungen (Zhao et al. 2022). Die Plattform Manta nutzt modernste Technologien wie ReaxFF-Kraftfelder, um chemische Reaktionen auf atomarer Ebene in einer virtuellen Umgebung interaktiv erfahrbar zu machen (Zhao et al. 2022).

Während technologische Innovationen das Verständnis von Reaktionen erleichtern, bleibt die Bedeutung der Säure-Base-Reaktion als wesentlicher Baustein des Basiskonzepts „chemische Reaktionen" unbestritten(vgl. Demuth et al. 2005, S. 57). Chemische Reaktionen dienen dazu Prozesse der Natur zu beschreiben, daher ist es nicht weiter verwunderlich, dass das Säure-Base-Konzept sich über eine widerspruchsgeprägte historische Entwicklung erstreckt (vgl. Finston & Rychtman 1982, S. 1 ff.). Empirische Befunde zeigen, dass die historischen Inkonsistenzen im Säure-Base-Konzept im Lernprozess nachvollziehbar sind und zu erheblichen Schwierigkeiten beim Verständnis chemischer Reaktionen sowie beim Aufstellen korrekter Reaktionsgleichungen führen (vgl. Schmidt & Fachbereich Chemie 1995, S. 739; vgl. Barke 2006, S. 187). Lernende entwickeln häufig Vorstellungen, die mit dem fachwissenschaftlich fundierten Konzept kollidieren (vgl. Petermann et al. 2011, S. 10). Insbesondere die Neutralisation wird oft auf eine Lösung mit $pH = 7$ reduziert, wobei die Vorstellung von „neutralen Salz-Molekülen" verbreitet ist (Schmidt 1994, S. 191; Barke 2006, S. 196). Der Begriff der konjugierten Säure-Base-Paare bleibt häufig unklar, was auf Schwierigkeiten bei der didaktischen Anwendung der Brønsted-Lowry-Theorie zurückzuführen ist (Schmidt & Fachbereich Chemie 1995, S. 738 ff.). Zudem wird die Dissoziation von Säuren und Basen in Wasser oft nicht verstanden, da Wasser als kontinuierliches Medium auf der makroskopischen Ebene wahrgenommen wird, anstatt als dynamisches Medium für Ionenbildung (vgl. Barke et al. 2018, S. 258 f.).

2.3 Digitale Medien und Repräsentationen – Augmented Reality

Repräsentationen chemischer Sachverhalte können mittels haptischer Modelle oder digitaler Medien realisiert werden. Während haptische Modelle meist auf statische Darstellungen beschränkt bleiben, ermöglichen digitale Visualisierungen die Darstellung dynamischer Prozesse und struktureller Veränderungen auf submikroskopischer Ebene. Besonders Animationen bieten Lernenden einen Zugang zu Teilchenbewegungen, Stoßprozessen und Reaktionsverläufen, die sich mit haptischen Modellen nur schwer erfassen lassen (vgl. Mayer 2014; Seufert 2018).

Digitale Visualisierungen stellen somit bereits einen bedeutenden Fortschritt gegenüber statischen Modellen dar, Augmented Reality (AR) ermöglicht eine noch tiefere Immersion: AR hat sich insbesondere im Bereich der 3D-Visualisierung als leistungsstarkes Werkzeug etabliert, das die Grenze zwischen virtueller und realer Welt überwindet (Azuma et al. 2001; Milgram et al. 1995). Sie integriert virtuelle Objekte – sowohl in 2D als auch in 3D – nahtlos in die physische Realität und schafft dadurch dynamische, interaktive Wissenskonstruktionen. Im Chemieunterricht entwickelt sich AR zunehmend zu einem Instrument, das innovative Interaktionsmöglichkeiten mit Lerninhalten bietet. Es ergänzt traditionelle Lernansätze um immersive Erfahrungen, die nachweislich Motivation, Selbstwirksamkeit, Einstellungen und Lernergebnisse positiv beeinflussen (Cai et al. 2021, 2017). Besonders hervorzuheben ist die Fähigkeit von AR, abstrakte Konzepte anschaulicher und leichter verständlicher zu machen, z. B. unsichtbare Prozesse und Strukturen auf submikroskopischer Ebene zu visualisieren (Ovens et al. 2020; Barth et al. 2021). Zusätzlich kann AR die Sicherheit bei Experimenten erhöhen und durch virtuelle Simulationen auch Materialkosten reduzieren (Alfaro et al. 2022).

Gleichzeitig wird diskutiert, ob die Vielzahl visueller und auditiver Informationen in AR-Anwendungen zu einer erhöhten kognitiven Belastung führt. Empirische Untersuchungen belegen jedoch, dass diese Belastung je nach Art der Anwendung nicht höher ausfallen muss als bei herkömmlichen Methoden und in manchen Fällen sogar geringer ausfallen kann (Altmeyer et al. 2020; Huwer et al. 2018).

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Literaturübersichten verdeutlichen zudem die wachsende Bedeutung von AR im naturwissenschaftlichen Unterricht. Insbesondere in chemischen Experimenten hat die Forschung in den letzten zehn Jahren – und vor allem in den letzten drei Jahren – stark zugenommen (vgl. Syskowski et al. 2024; vgl. Mazzuco et al. 2022). AR unterstützt den Experimentierprozess durch die visuelle Unterstützung des Aufbaus (Midak et al. 2019), die sichere Simulation gefährlicher Reaktionen (Cai et al. 2017) sowie die interaktive Vorbereitung durch virtuelle Übungen (Alfaro et al. 2022). Ein weiterer zentraler Vorteil ist die Möglichkeit, mithilfe virtueller Modelle – starr oder animiert – die makroskopische mit der symbolischen und submikroskopischen Ebene zu verknüpfen (Ovens et al. 2020; Cai et al. 2017; Ripsam & Nerdel 2022). Diese multidimensionalen Darstellungsformen bieten gegenüber traditionellen Modellen zusätzliche Vorteile durch ihre Flexibilität und Interaktivität und eröffnen neue Perspektiven für den naturwissenschaftlichen Unterricht (Haupt & Moritz 2008).

2.4 Interaktionen in digitalen Lernumgebungen

Lernprozesse im Chemieunterricht sind wesentlich durch Interaktionen geprägt. In der Unterrichtsforschung wird dabei insbesondere die Interaktion zwischen Lernenden und Lehrperson als zentraler Mechanismus zur Unterstützung des Verständnisses, zur Fehlerkorrektur und zur Strukturierung von Lernprozessen beschrieben (vgl. Wood et al. 1976; van de Pol et al. 2010).

Mit dem Einsatz digitaler Lernumgebungen erweitern sich diese Interaktionsformen. Moore (1989) unterscheidet grundlegend zwischen der Interaktion zwischen Lernenden und Lehrperson, zwischen Lernenden und Lerninhalten sowie zwischen Lernenden und der technischen Schnittstelle. Insbesondere digitale Lernmedien können Funktionen der Lehrperson teilweise übernehmen, indem sie adaptive Hinweise, Rückmeldungen oder strukturierende Hilfen bereitstellen (vgl. Reiser 2004; Anderson 2003).

Für Augmented-Reality-Anwendungen bedeutet dies, dass Lernende nicht nur mit der Lehrperson, sondern zunehmend auch direkt mit den dargestellten Inhalten und dem digitalen System interagieren. Diese Interaktionen können erklärende, korrigierende oder strukturierende Funktionen übernehmen und damit die Interaktionsstruktur im Unterricht verändern (vgl. Radu 2014; Altmeyer et al. 2020).

3. Empirische Untersuchung

3.1 Fragestellung und Zielsetzung

In unserer Studie wird untersucht, ob das Aufstellen der Reaktionsgleichung von Säure-Base-Reaktionen durch die Einbindung zusätzlicher Repräsentationen auf Teilchenebene erleichtert werden kann. Diese Forschungsfrage basiert auf empirischen Befunden, dass Lernende Schwierigkeiten beim Aufstellen von Reaktionsgleichungen haben, weil sie z. B. Wasser häufig nicht als diskrete Teilchenansammlung, sondern als makroskopisches Kontinuum wahrnehmen, was das Verständnis von Protonenübertragungen und der Dissoziation von Säuren und Basen erschwert (vgl. Barke et al. 2018, S. 258 f.).

Um diese Lernschwierigkeiten zu adressieren, wird in der vorliegenden Studie eine Lernumgebung eingesetzt, die animierte Darstellungen von Säure-Base-Reaktionen auf der Teilchenebene bereitstellt. Diese Visualisierungen sollen submikroskopische Prozesse sichtbar machen und das korrekte Aufstellen von Reaktionsgleichungen (Reaktion 1 und Reaktion 2) unterstützen.

AR bietet hier das Potenzial, Lernprozesse beim Aufstellen von Reaktionsgleichungen gezielt zu unterstützen, indem abstrakte chemische Konzepte, insbesondere die Teilchenebene, visuell erfahrbar gemacht werden. Im Gegensatz zu klassischen digitalen Lernanwendungen, die meist zweidimensional arbeiten und wenig kontextsensitive Rückmeldungen liefern, ermöglicht AR eine immersive Darstellung von Teilchenmodellen sowie adaptive, didaktisch fundierte Hilfen. Dennoch bleibt unklar, ob die reine Visualisierung ausreicht oder ob zusätzliche interaktive Elemente – wie z. B. das Manipulieren von Ionen, das Testen von Reaktionsverläufen oder das Feedback zu stöchiometrischen Fehlern – notwendig sind, um Lernende effektiv beim Verständnis chemischer Gleichgewichte und Reaktionsmechanismen zu unterstützen.

Die Lernumgebung ist eine Augmented-Reality-Anwendung (AR-App), die auf mobilen Geräten (z. B. Tablets) läuft und interaktive 3D-Modelle von Säure-Base-Reaktionen in einer virtuellen Laborumgebung

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

darstellt. Die App ermöglicht die Darstellung chemischer Prozesse auf der submikroskopischen Ebene und soll die Verknüpfung der makroskopischen, symbolischen und submikroskopischen Ebenen fördern (vgl. Arasasingham et al. 2004, S. 1519). Die zentrale Funktion ist die animierte 3D-Visualisierung der Teilchenebene, die durch einen Play-Button gestartet und mit einem Reset-Button auf den Ausgangszustand zurückgesetzt werden kann. Die Teilchen (z. B. H^+, OH^-, Na^+, Cl^-, SO_4^{2-}) sind als dynamische, bewegliche Objekte dargestellt, die sich in Echtzeit auf der Basis von Reaktionsmechanismen verändern. Die App ermöglicht es, die Reaktion räumlich zu betrachten (Drehen und Wenden des Tablets). Die Darstellung von Wasser erfolgt als diskrete Teilchenansammlung, um die Vorstellung von einem kontinuierlichen Medium zu korrigieren (vgl. Barke et al. 2018, S. 258 f.). Weitere Funktionen, wie sie beispielsweise die App Manta bieten würde, sind für eine 10. Klasse zu umfangreich (Zhao et al. 2022).

Die App bietet zwei Darstellungsformen:

- Eine vereinfachte Version (für Reaktion 1), die nur die visuelle Darstellung der Teilchenbewegung und eine Legende mit symbolischer Schreibweise enthält.
- Eine erweiterte Version (für Reaktion 2), die zusätzlich informative Hilfen enthält (s. Abbildung 1):
  - Hilfe 1: Ionen- und Formelschreibweise der Edukte
  - Hilfe 2: Ionen- und Formelschreibweise der Produkte
  - Hilfe 3: Interaktives 3D-AR-Modell der Teilchen (durch Klicken auf „visuelle Darstellung der Teilchen“ aktivierbar)
  - Hilfe 4: Fast fertige Reaktionsgleichung mit fehlenden Stöchiometriefaktoren

Die Teilchen werden in der Lern-App bei Reaktion (2) in zwei räumlichen Positionen dargestellt: links (L) und rechts (R) des Versuchsaufbaus. Diese zweifache Anordnung wurde gewählt, um die Auswirkung der räumlichen Positionierung der AR-Visualisierung auf das Lernen mit zu untersuchen. Da laut Mayer (2014) noch nicht empirisch geklärt ist, welche Position (links oder rechts) für den höchsten Lernerfolg am günstigsten ist, wurden beide Positionen in der Studie berücksichtigt, um mögliche Effekte der räumlichen Anordnung zu erforschen.

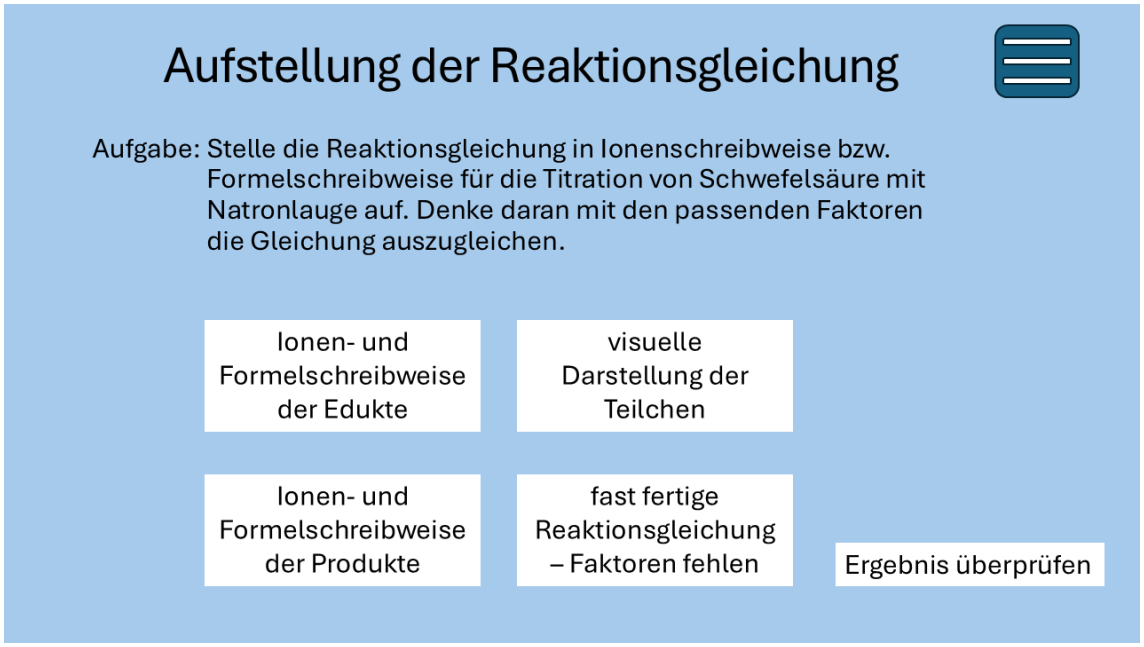


Abbildung 1: Aufgabenstellung mit Hinweis auf aufklappbare Hilfen in der Lern-App

Die vorliegende Arbeit verfolgt daher das Ziel, diese AR-Lernanwendungen so zu optimieren, dass sie Lernende bestmöglich beim Aufstellen von Reaktionsgleichungen unterstützt. Unter Optimierung wird kon-

kret die Erweiterung der App um adaptive Hilfen verstanden, die typischen Fehlvorstellungen entgegenwirken, wiederkehrende Interaktionen zwischen Lernenden und Lehrperson teilweise ersetzen und die kognitive Belastung reduzieren sollen.

Dadurch soll empirisch geprüft werden, welchen zusätzlichen Erkenntnisgewinn und welchen Mehrwert AR mit ergänzenden Hilfen und unterschiedlicher Positionen gegenüber einer reinen AR-Visualisierung der Teilchenebene bietet, insbesondere hinsichtlich der Reduktion schriftlicher Fehler, der Förderung fachrichtiger Konzepte und der Veränderung der Interaktionsstruktur im Unterricht.

Auf Grundlage konstruktivistischer Lerntheorien, der Cognitive-Load-Theorie sowie bestehender Forschung zu AR im naturwissenschaftlichen Unterricht werden die folgenden Forschungsfragen formuliert:

- Wie verändert sich die Interaktionsstruktur zwischen Lernenden und Lehrperson bzw. zwischen Lernenden und der AR-App durch den Einsatz unterschiedlicher Unterstützungsniveaus? (FF1)
  - Welche Interaktionen treten auf, wenn ausschließlich ein 3D-AR-Modell der Teilchenebene ohne weitere Hilfen bereitgestellt wird? (FF1.1)
  - Wie verändern sich diese Interaktionen, wenn ergänzende App-Funktionen (z. B. Erklärhinweise, Hilfen) zusätzlich verfügbar sind? (FF1.2)
- Welche schriftlichen Fehler treten beim Aufstellen von Reaktionsgleichungen (Reakton 1 und Reaktion 2) auf und inwiefern lassen sich diese durch erweiterte AR-Hilfen reduzieren? (FF2)

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen einen Beitrag zur Optimierung digitaler Lehrmethoden leisten und aufzeigen, wie AR-Technologien, im Zusammenspiel mit Teilchenvisualisierung und adaptiven Hilfen, effektiv im Chemieunterricht eingesetzt werden können.

3.2 Stichprobe

Die Daten der Studie (schriftlich und Video) wurde im Juni und Juli 2023 aufgenommen. Lernende der 10. Klasse aus fünf verschiedenen Parallelklassen dreier verschiedener Gymnasien in Baden-Württemberg nahmen an dem Experiment teil. Die Teilnehmenden wurden über die Schulen rekrutiert. Die Lernenden und deren Erziehungsberechtigten wurden über ihre Datenschutzrechte informiert und unterschrieben vor Beginn des Experiments eine schriftliche Einwilligungserklärung. Die Geschlechterverteilung lag bei 31,82 % männlich und 36,36 % weiblich. Für 31,82 % der Stichprobe fehlten demografischen Angaben. Das Durchschnittsalter lag bei 16,27 Jahre (SD = 0,7). Weiterhin wurde bei der Wahl der Stichprobe in Anbetracht der Auswertung darauf geachtet, dass es eine Gleichverteilung (50 %) der Daten von L-Gruppe und R-Gruppe der Lernenden gab (11 und 11, näher 3.1).

3.3 Forschungsdesign

Das Studiendesign basiert auf einer schriftlichen und videobasierten Einzelpersonenstudie mit zwei Gruppen, bei der einzelne Lernende unter kontrollierten Laborbedingungen untersucht wurden. Die Lehrperson leitete die Lernenden durch den Prozess, indem sie mündliche Anweisungen gab und schriftliche Arbeitsblätter bereitstellte. Lernende wurden einzeln ins Labor gebeten und mit Laborequipment sowie einer speziellen Kamerabrille ausgestattet. Diese Brille verfügt über eine integrierte Kamera, die sich vorne am Nasenbügel befindet. Die Kamera ermöglicht es, Aufnahmen aus der Perspektive des Trägers sowie Tonaufnahmen zu machen, wodurch alle Handlungen und Blickrichtungen während des Experiments dokumentiert werden konnten. Alle Lernenden erhielten eine identische inhaltliche Einführung. Sie bearbeiteten zwei unterschiedliche Reaktionsaufgaben (s. Abbildung 2), deren genaue Struktur im vorherigen Kapitel 3.1 detailliert beschrieben wird. Beide Aufgaben thematisieren zwar denselben Reaktionstyp (Neutralisation) und sind daher inhaltlich verwandt, sie unterscheiden sich jedoch hinsichtlich der eingesetzten Stoffsysteme (Kalilauge mit Salzsäure bzw. Natronlauge mit Schwefelsäure). Die Reaktionsaufgaben sind somit auf Stoffebene unabhängig voneinander. Arbeitsblätter und die Lern-App auf einem Tablet wurden einheitlich bereitgestellt, mit Ausnahme der Position der Teilchenebene bei Reaktion 2 (s. 3.1).

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

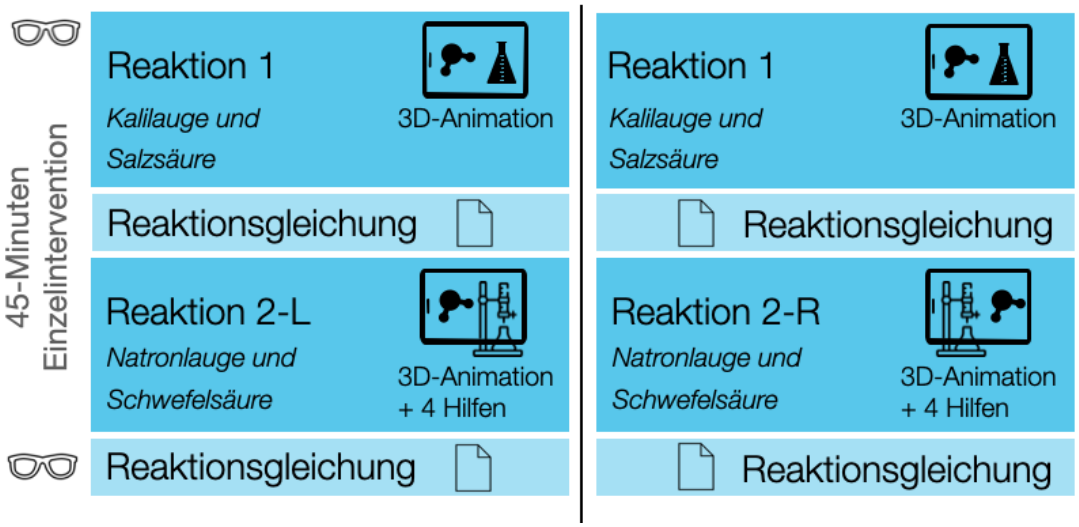


Abbildung 2: Forschungsdesign mit Ablauf und Unterschied bei Reaktion 2 (L: Links, R: Rechts)

3.4 Messinstrument und Auswertungsmethodik

Das Beobachten und Analysieren von Filmmaterial als Form der qualitativen Inhaltsanalyse gewinnt seit der TIMSS-Videostudie im Jahr 2000 durch die voranschreitende Digitalisierung aller Bereiche an Beliebtheit (vgl. Pauli & Reusser 2006, S. 775). Dies ermöglicht das Generieren audiovisueller Daten, Handlungen und Interaktionen von Akteuren in verschiedenen Situationen genauer beobachten und analysieren zu können (vgl. Tuma et al. 2013, S. 63 ff.).

Beobachtungen als Methode der wissenschaftlichen Analyse eignen sich insbesondere, um tatsächliche Vorgänge zu untersuchen, die sich wiederum nicht durch einfache Befragungen erfassen lassen. Videomitschnitte ermöglichen die detaillierte und wiederholte Betrachtung bestimmter Situationen. Bei Befragungen über eine bestimmte Situation, die erst im Nachhinein stattfinden, treten häufig Fehler in Daten und Inhalten auf, bedingt durch Selbsteinschätzung und Subjektivität der Teilnehmenden (Reichertz & Englert 2011; Thierbach & Petschick 2019). Für die videobasierte Inhaltsanalyse ist die Verschriftlichung mittels regelbasierter Transkription und Kodierung der Inhalte unumgänglich (Singh 2018; Dresing & Pehl 2020, S. 835; Kuckartz & Rädiker 2022). Wichtig ist dabei das Bewusstsein dafür, dass in Videoaufnahmen eine enorme Menge an Informationen steckt (Dresing & Pehl 2020; Kuckartz & Rädiker 2022; Singh 2018).

Die Art der Videos, die in der Studie verwendet wurden, sind Dokumentationsvideos, die aus der Perspektive der Lernenden aufgenommen wurden. Dabei werden die Handlungen der Lernenden und der Lehrperson aufgezeichnet. Die Videos wurden mittels paraphrasierender Transkription nach Kuckartz und Rädiker (2022) ausgewertet, auch wenn dies zur Reduktion des Datenmaterials führte (s. Zusatzmaterialien unter Syskowski et al. 2026). Für jeden Interaktionskontext wurden Zeitstempel und paraphrasierte Inhalte erfasst, wobei jede Interaktion in einer eigenen Spalte dokumentiert wurde. Als Interaktionen galten ausschließlich Handlungen, die im Zusammenhang mit dem Aufstellen der Reaktionsgleichung standen und direkt auf die Aufgabeninhalte sowie die damit verbundenen fachlichen oder technischen Probleme bezogen waren. Dabei wurde jede Interaktion zwischen der Lehrperson und den Lernenden oder mit den Hilfen in der AR-App erfasst, unabhängig davon, ob die Lernenden Fragen stellten und dadurch Unterstützung durch die Lehrperson initiierten oder ob die Lehrperson selbst ein Gespräch über einen Problemkontext begann. Fragen wie z. B. „Soll ich diesen Stift nehmen?“, „Kann ich hier unten weiterschreiben?“ oder „Kann ich das Tablet hier ablegen?“ wurden nicht als Interaktionen gewertet. Da diese Fragen nicht zielführend sind und als solche nichts mit dem Experiment an sich zu tun haben, fanden sie in der Auswertung keine Berücksichtigung. Ebenso wurde mit Selbstgesprächen, unbeantworteten Fragen und nonverbalen Äußerungen verfahren. Die Fehler bei Aufstellen der Reaktionsgleichungen wurden ohne Zeitstempel festgehalten, da diese nach Fertigstellung dieser ausgewertet wurden.

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Die Auswertung der Transkripte erfolgte mittels deduktiv-induktiven Kodierens. Das Kategoriensystem wurde zu Beginn deduktiv aus den Forschungsfragen, der Aufgabenstruktur (Reaktion 1 / Reaktion 2) sowie theoretischen Annahmen zur Bearbeitung von Reaktionsgleichungen und Unterrichtsinteraktionen abgeleitet. Diese deduktiven Kategorien bildeten die Hauptkategorien des Systems (z. B. Zeitmarker, Interaktionsarten, Richtigkeit der Reaktionsgleichungen). Im Verlauf der Analyse wurde das Kategoriensystem schrittweise erweitert, präzisiert und in Unterkategorien ausdifferenziert. Induktiv gewonnene Codes, etwa spezifische Interaktionen, wurden jeweils als Unterkategorien ergänzt und in die bestehende Struktur eingeordnet. Auf diese Weise wurde das Kategoriensystem kontinuierlich weiterentwickelt.

Zu den deduktiven Kategorien zählt die Bestimmung der Zeitmarker für Beginn und Ende der Bearbeitung der Reaktionsgleichung. Für Reaktion 1 wurde der Beginn durch den Moment festgelegt, in dem die Lehrperson die Aufgabe mit den Worten „Das Aufstellen der Reaktionsgleichung von Kalilauge mit Salzsäure“ ankündigte. Das Ende war erreicht, sobald die Lernenden den Stift weglegten oder eine Nachfrage der Art „Ist das richtig so?“ stellten. Das zu diesem Zeitpunkt aufgeschriebene Ergebnis wurde als finale Lösung gewertet[1]. Der Beginn der Reaktion 2 wurde zu dem Zeitpunkt festgehalten, in dem die Teilnehmenden in der Lern-App den Button „Weiter“ klickten und so auf die Startseite des neuen Aufgabenteils gelangten (s. Abbildung 1). Als zeitliches Ende wurde der Moment festgelegt, in dem die Teilnehmenden über den Button „Ergebnis überprüfen“ auf die Musterlösung zugriffen. Ausgewertet wurde das, was in der dafür vorgesehenen Lücke des Aufgabenblattes geschrieben worden war[2].

Die Interaktionen wurden deduktiv-induktiv codiert, basierend auf dem Codesystem in Tabelle 1 im Anhang (deduktive Kategorien gekennzeichnet) und einer zusätzlichen Zuordnung zur Art der Interaktion (Zwischenmenschlich und Inhaltlich-Technisch). Für die Art der Interaktionen wurden folgende deduktive Kategorien verwendet:

Zwischenmenschlich
- G: Die Interaktion zwischen Lernenden und Lehrperson entspricht einem *G*espräch; es entsteht ein Wortwechsel.
- JN: Auf die Anfangsfrage folgt eine Ein-Wort-Antwort, z. B. bei *J*a-*N*ein-Fragen oder Entweder-Oder-Fragen.
- R: *R*ückfragen oder *R*ückversicherungen zum vorher Besprochenen.
- H: *H*inweise der Lehrperson.

Inhaltlich-Technisch
- I: Die Interaktion bezog sich auf den *I*nhalt, z. B. Fragen zur Reaktionsgleichung oder deren chemischen Grundlagen.
- T: Die Interaktion thematisierte *t*echnische Fragen zur AR-Anwendung.
- IT: *I*nhaltliche Fragen, die durch *t*echnische Aspekte (AR) beantwortet werden konnten.
- TI: *T*echnische Fragen, die durch *i*nhaltliche Erklärungen beantwortet werden konnten.

Die Richtigkeit der abgegebenen Reaktionsgleichungen wurde deduktiv erfasst, wobei vermerkt wurde, ob diese mit oder ohne Hilfe erstellt wurden. Dabei bezog sich „Hilfe“ sowohl auf Interaktionen der Lernenden mit der Lehrperson als auch auf die optionalen Unterstützungsfunktionen der Lern-App. Die Fehler in den abgegebenen Reaktionsgleichungen wurden induktiv erfasst. Sobald ein Fehlermuster erkannt wurde, wurde es als Code in das System aufgenommen (s. Tabelle 2 im Anhang). War die Reaktionsgleichung nicht eindeutig zuweisbar und somit in einer Mischform aufgeschrieben worden, wurde zwecks Einheitlichkeit stets von der Ionenschreibweise ausgegangen. Davon abweichend geschriebene Teilchen wurden somit als Fehler aufgenommen.

---

1 Als Ausnahme muss das Video der Probandin A10 genannt werden. Hier gab es den beschriebenen „Fertigmoment“ nicht. Das Aufgeschriebene wurde zu dem Zeitpunkt ausgewertet, in dem die Lehrperson zur Hilfe kam und mit der Probandin gemeinsam die Reaktionsgleichung aufstellte und verbesserte.

2 Ausgenommen sind hier die Teilnehmenden A22 und D15. Hier wurde von der Lehrperson explizit gesagt, dass die in einer anderen Lücke des Arbeitsblatts vermerkte Reaktionsgleichung nicht nochmal übertragen werden müsse. Die Reaktionsgleichung wurde in diesen Fällen jeweils aus dem vorangehenden Aufgabenteil entnommen und in die Datenerhebung eingespeist.

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

4. Ergebnisse

Für die Ergebnisdarstellung wird im Folgenden auf Tabelle 1 (FF1) und Tabelle 2 (FF2) im Anhang Bezug genommen. Zur Einordnung der Daten wird die Geschwindigkeitsverteilung der Lerngruppen im zeitlichen Vergleich analysiert. Im Mittel benötigten die Lernenden zur Aufstellung der Reaktionsgleichung von Salzsäure mit Kalilauge (Reaktion 1) im Mittel 4 Minuten und 12 Sekunden (Standardabweichung: SD = 1 Minute 29 Sekunden). Bei der Reaktionsgleichung von Schwefelsäure mit Natronlauge (Reaktion 2) ergab sich eine Reduktion des Zeitaufwands auf durchschnittlich 2 Minuten und 21 Sekunden (SD = 1 Minute 32 Sekunden). In beiden Aufgaben zeigte sich ein geringfügiger zeitlicher Vorteil der L-Gruppe mit einem durchschnittlichen Unterschied von 4 Sekunden (Reaktion 1) und von 9 Sekunden (Reaktion 2). Aufgrund der geringen Größenordnung der Unterschiede und der hohen Standardabweichungen lässt sich kein signifikanter zeitlicher Leistungsunterschied in Bezug auf die Geschwindigkeitsverteilung zwischen den Gruppen feststellen.

4.1 Einfluss unterschiedlicher Unterstützungsniveaus auf Interaktionsstrukturen (FF1)

Während die Lernenden die beiden betrachteten Reaktionsgleichungen aufstellten, wurden ihre Interaktionen mit der Lehrperson dokumentiert. Bei der Bearbeitung der zweiten Reaktionsgleichung hatten die Teilnehmenden zusätzlich die Möglichkeit, die in der Lern-App verfügbaren Hilfestellungen zu nutzen.

Der Fokus der Analyse liegt darauf, welche Art von Interaktionen mit der Lehrperson oder welche digitalen Hilfsmittel die Lernenden nutzen, um die Aufgaben erfolgreich zu bearbeiten. Um diese Fragestellung umfassend zu untersuchen, wird sie in zwei Teilaspekte untergliedert.

4.1.1 Interaktionsstrukturen bei fehlender zusätzlicher Unterstützung (3D-AR-Modell allein, Reaktion 1) (FF1.1)

Insgesamt wurden bei Reaktion 1 122 Interaktionen erfasst, davon 43 % (n = 52) von der Lehrperson initiiert und 57 % (n = 70) durch Lernende. Die Spannweite der Interaktionshäufigkeit pro Person lag zwischen 0 und 19 Interaktionen. Während die R-Gruppe den gesamten Wertebereich abdeckte, zeigten Lernende der L-Gruppe maximal 11 Interaktionen. Bezogen auf alle Interaktionen entfielen 60 % auf die R-Gruppe und 40 % auf die L-Gruppe. Die meisten Interaktionen fanden zu „AR Inhalt“ (17,2 %, n = 21 / nL = 8 / nR = 13), „Ionen Zuordnung“ (13,9 % n = 17 / nL = 11 / nR = 6) und „AR“(10,7 %, n = 13 / nL = 4 / nR = 9) statt (s. Abbildung 3). Einige Kategorien traten ausschließlich durch die Interaktion ausgehend von der Lehrperson auf, „3D-Handhabung“, „Hinweis AR“, „Bestärkung Vorgehen“ und „Erklärung Vorgehen“. Dies deutet darauf hin, dass bestimmte Unterstützungsformen ausschließlich durch pädagogische Intervention eingebracht wurden.

Bezüglich der Interaktionsart entfielen über 50 % der Interaktionen auf Gespräch („G“). 34 % der Interaktionen zählen zu einer Ein-Wort-Antwort („JN“). Rückfragen („R“) wurden zu 14 % kategorisiert. Damit dominieren in Reaktion 1 überwiegend dialogische, von der Lehrperson strukturierte Interaktionen.

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

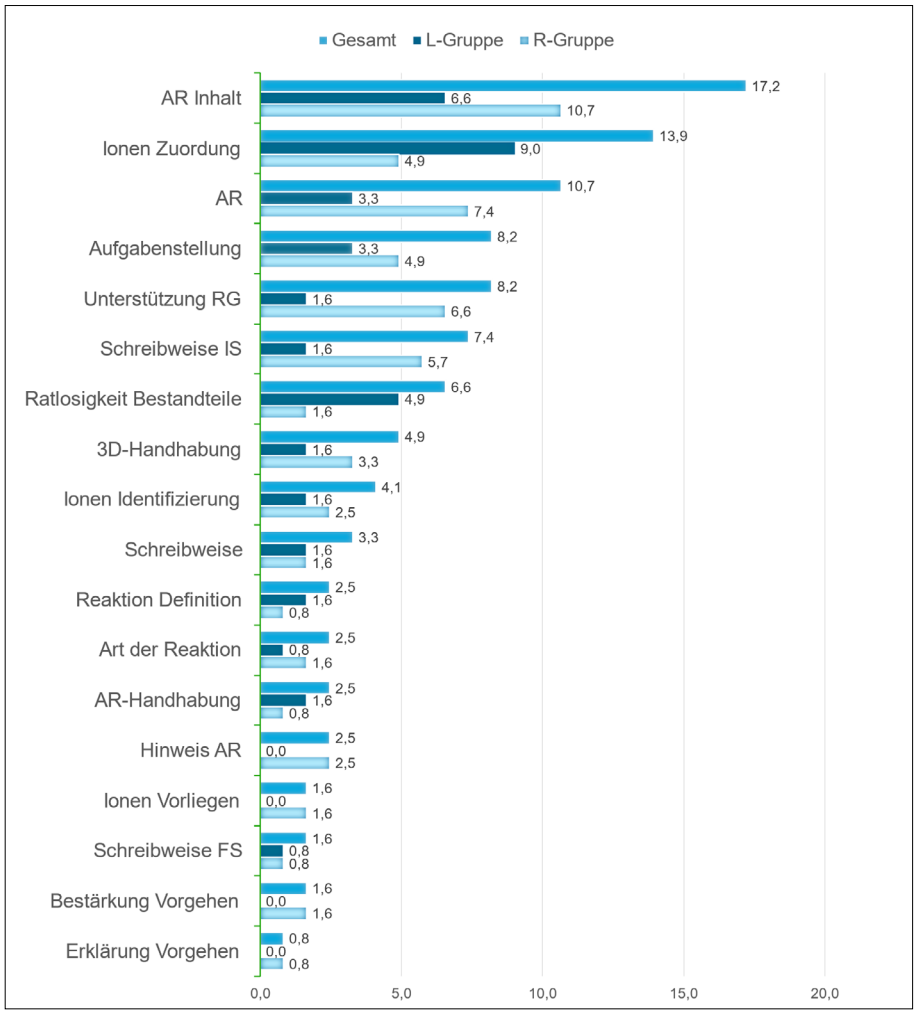


Abbildung 3: Verteilung der Interaktionen zwischen Lernenden und Lehrperson bei Reaktion 1 in Prozent in Bezug auf 122 Interaktionen gleich 100 %

4.1.2 Interaktionsstrukturen bei hohem Unterstützungsangebot (3D-AR-Modell mit Erklärhinweisen und Hilfen, Reaktion 2) (FF1.2)

Insgesamt wurden bei Reaktion 2 126 Interaktionen erfasst. 41,3 % (n = 52) Interaktionen gingen von der Lehrperson aus und 21,4 % (n = 27) richteten sich von den 22 Lernenden an die Lehrperson. Die restlichen 37,3 % (n = 47) Interaktionen fanden zwischen Lernenden und den App-Hilfen statt. Die individuelle Interaktionshäufigkeit reichte von 1 bis 17 Interaktionen pro Person (R-Gruppe: gesamte Bandbreite; L-Gruppe: 1-9). Insgesamt entfielen 55 % der Lernendeninteraktionen auf die R-Gruppe und 45 % auf die L-Gruppe. Die häufigsten Interaktionen fanden zu den Codes „H1“ (15,1 % n = 19 / nL = 9 / nR= 10), „Ergebnis überprüfen“ (12,7 %, n = 16 / nL = 7 / nR = 9), „Hilfen Tablet“ (11,1 %, n = 14 / n = L6 / n = R8), „H2“ (8,7 %, n = 11 / nL = 4 / nR = 7) und „Bereits ausgefüllt“ (n = 11/ nL = 8 / nR = 3) statt (s. Abbildung 4). Hervorzuheben sind die Codes „zu H3“, „zu H4“, „Ergebnisreflexion“, „Bestärkung Vorgehen“ und „Korrektur RG + Erklärung“, die ausschließlich durch die intervenierende Interaktion der Lehrperson entstanden sind. Nach dem Exkludieren der Interaktionen, die von der Lehrperson ausgingen, ist die Kategorie „Aufgabenstellung“ (n = 7 / nL = 2 / nR = 5) die am häufigsten vorkommende vor „Ergebnis überprüfen“ (n = 5 / nL = 3 / nR = 2).

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

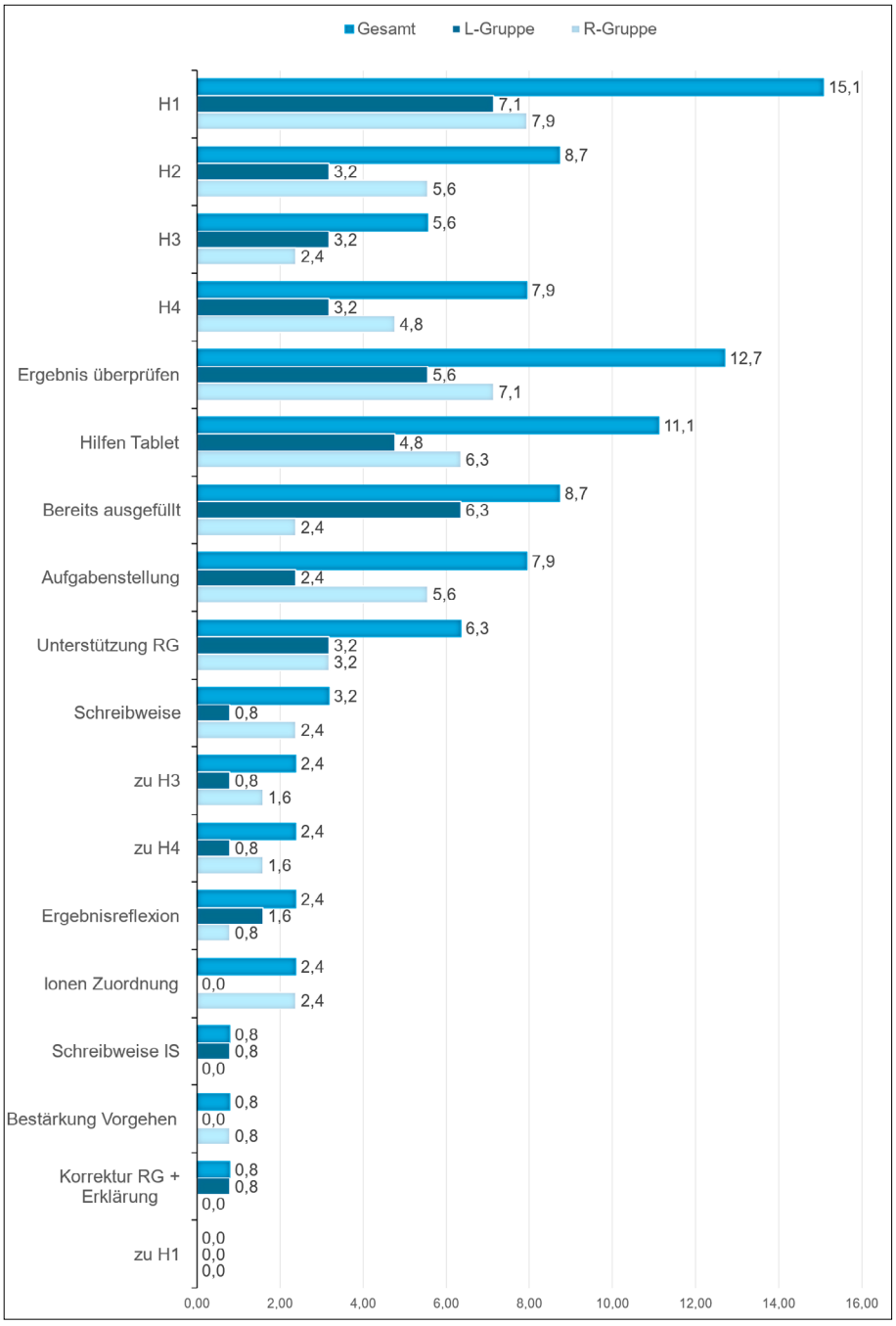


Abbildung 4: Verteilung der Interaktionen zwischen Lernenden und Lehrperson bzw. Hilfen der Lern-App bei Reaktion 2 in Prozent in Bezug auf 126 Interaktionen gleich 100 %

Bezüglich der Interaktionsart wurden insgesamt 55,56 % der Interaktionen mit der Lehrperson mit „I“ kategorisiert, 25,93 % mit „T“. Inhaltliche Fragen, die durch digitale Inhalte geklärt oder zumindest auf sie verwiesen wurden, kamen in 18,52 % der Interaktionen vor; keine der Interaktionen wurde mit „TI“ versehen. Die Interaktionen waren zu 81,48 % Interaktionsdialoge („G“). 11,11 % der Interaktionen wurden als Ein-Wort-Antworten kodiert („JN“), 7,41 % als Rückfragen zu vorhergehenden Interaktionen („R“).

Bei Start des Aufgabenteils zum Erstellen der Reaktionsgleichung des Hauptteils hatten 63,64 % der Teilnehmenden diese zumindest in Teilen bereits erstellt. Bei den Lernenden, die die Reaktionsgleichung bereits

teilweise ausgefüllt hatten, kamen dennoch alle Interaktionskategorien vor. Die Kategorie zur Interaktion „Bereits ausgefüllt“ ist ausschließlich dieser Situation vorbehalten vorgekommen.

Bezüglich der Verwendung der Hilfe (H1-H4) zeigt sich, dass keine der Hilfen von mehr als der Hälfte der Teilnehmenden wenigstens ausgewählt wurde (s. Abbildung 5). Hilfe 1 wurde nur von 10 Lernenden ausgewählt und von 8 intensiv verwendet. Hilfe 2 wurde gleich intensiv wie Hilfe 1 verwendet (N = 8) und Hilfe 4 nur von einer Person weniger (N = 7).

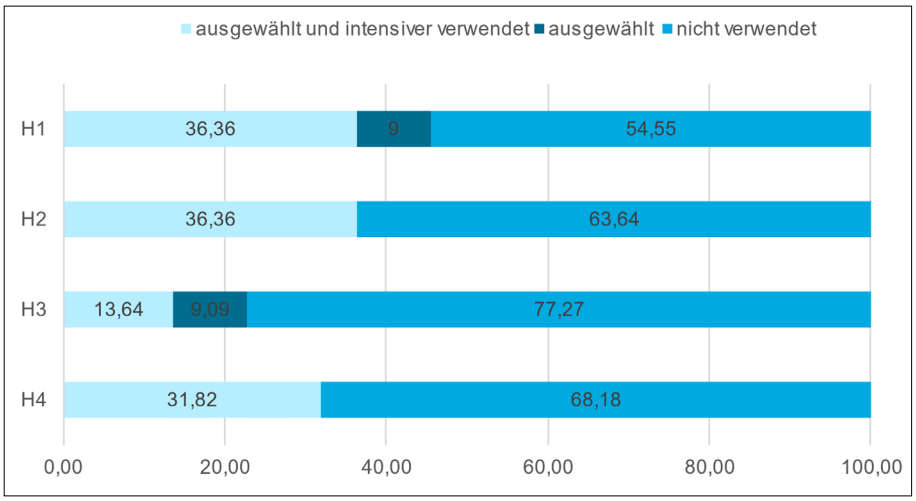


Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der Lernenden in Bezug auf die Verwendung der Hilfen (H1-H4)

4.2 Fehler im Aufstellen von Reaktionsgleichungen (Reaktion 1 und 2) (FF2)

Die schriftlichen Fehler in den Reaktionsgleichungen der Lernenden wurden qualitativ ausgewertet. Dabei wurde dokumentiert, welche Art von Fehlern jede Probandin gemacht hat, ohne jedoch die Anzahl der jeweiligen Fehler zu berücksichtigen. Der Fokus der Analyse liegt darauf, welche Fehlerarten trotz der verfügbaren Hilfen und Interaktionen weiterhin bestehen.

Insgesamt wurden in den „fertigen“ Reaktionsgleichungen der Reaktion 1 33 Fehler identifiziert, die sich auf 10 unterschiedliche Fehlertypen verteilen ließen (s. Tabelle 2 oder Abbildung 7). 30 Fehler wurden in den „fertigen“ Reaktionsgleichungen zu Reaktion 2 gefunden, die sich nicht nur auf die 10 unterschiedliche Fehlertypen von Reaktion 1 verteilen, sondern noch 4 weitere Fehlertypen hervorriefen, die jeweils einmal vorkamen.

Die häufigsten Fehlertypen bei Reaktion 1 sind „Pluszeichen zwischen den Ionen und Molekülen - fehlt“ (N = 6) und mit jeweils fünf Vorkommen „Edukt - falsch“ und „Edukt - fehlt“. Bis auf zwei Fehlertypen „Stöchiometrische Faktor - fehlt“ (N = 14) und „Stöchiometrische Faktor - falsch (N = 7)“ gingen alle Fehlertypen in den „fertigen“ Reaktionsgleichungen Reaktion 2 zurück und traten zum Teil nicht mehr auf. Diese zwei Fehlertypen traten bei Reaktion 2 am häufigsten auf.

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

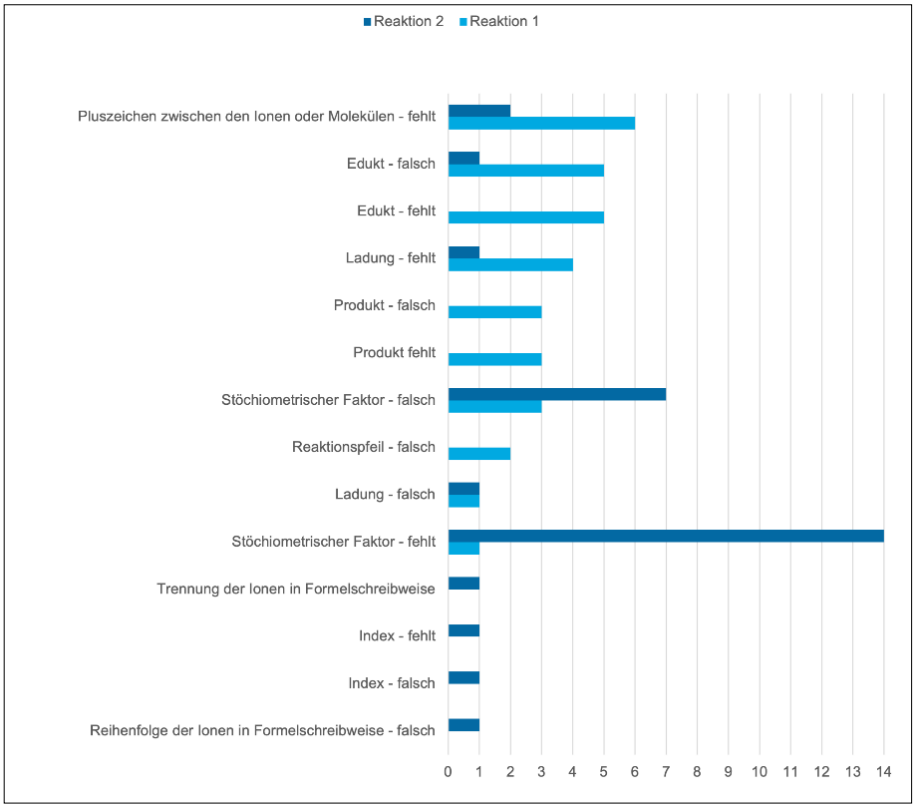


Abbildung 6: Fehlertypen mit der absoluten Anzahl des Vorkommens dieses Fehlers bei Reaktion 1 und 2

Die Anzahl der Fehler pro Lernenden variierte zwischen null und fünf (s. Abbildung 7). In Fällen, in denen ein Fehler gemacht wurde (N = 15 R1 und R2), blieb dies nur in drei Fällen bei Reaktion 1 und bei Reaktion 2 in 5 Fällen der einzige Fehler; in den übrigen Fällen traten weitere Fehler auf. Muster in den Kombinationen der Fehlertypen konnten festgestellt werden. So traten die Fehlertypen „Edukt - fehlt“ und „Produkt - fehlt“ dreimal gemeinsam bei Reaktion 1 auf, wobei „Edukt -fehlt“ zusätzlich zweimal isoliert vorkam. Die Kombination „Edukt - falsch“ und „Produkt - falsch“ wurde zweimal beobachtet, wobei „Edukt - falsch“ noch dreimal isoliert und „Produkt - falsch“ einmal ohne Kombination auftrat. Eine weitere wiederkehrende Kombination war „Ladung - fehlt“ zusammen mit „Pluszeichen zwischen den Ionen oder Molekülen - fehlt“, die ebenfalls dreimal beobachtet wurde. Der Fehlertyp „Pluszeichen zwischen den Ionen oder Molekülen - fehlt“ trat zudem zweimal in Kombination mit „Edukt - falsch“ auf. Muster in den Kombinationen der Fehlertypen bei Reaktion 2 gab es nur eines, welches sich siebenmal fand: „Stöchiometrische Faktor - fehlt“ und „Stöchiometrische Faktor - falsch“.

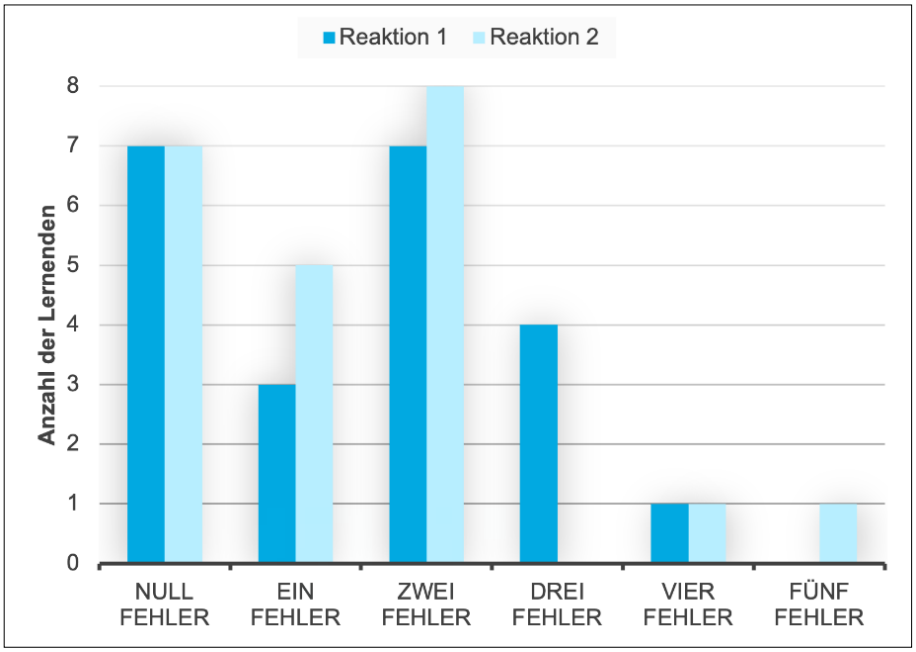


Abbildung 7: Verteilung der Anzahl der vorhanden Fehler nach dem „fertig“ der Lernenden

5. Diskussion

5.1 Interaktionen bei der Aufstellung von Reaktionsgleichungen zwischen Lernenden und Lehrperson bzw. App (FF1)

Die Forschungsfrage FF1 zielte darauf ab, zu untersuchen, wie sich die Interaktionen zwischen Lernenden, Lehrperson und App beim Aufstellen von Reaktionsgleichungen gestalten und ob sich Unterschiede in Abhängigkeit von der AR-Positionierung zeigen. Die Untersuchung der beiden Gruppen L und R (s. Abbildung 2) zeigte Folgendes: Die Interaktionsraten – also die Häufigkeit der Interaktionen zwischen den Lernenden, der Lehrperson und den App-Hilfen – lagen in Gruppe L bei Reaktion 1 bei 60 % und bei Reaktion 2 bei 45 %. In Gruppe R hingegen betrugen die Interaktionsraten bei Reaktion 1 40 % und bei Reaktion 2 55 %. Dies zeigt, dass die Interaktionsraten nicht exakt übereinstimmten, aber die Unterschiede in den Ergebnissen gering waren. Daraus lässt sich ableiten, dass die Positionierung der AR-Inhalte der Teilnehmenden einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Anzahl der Interaktionsraten hat, da die Gruppen in ihrem Verhalten weitgehend vergleichbar waren mit Reaktion 1.

Auffällig ist der große Anteil der Interaktionen bei Reaktion 2 (81,48 %) in Dialogform. Im Vergleich zu den Interaktionen bei Reaktion 1 (54,43 %) ist hier eine deutliche Steigerung zu erkennen. Dies spiegelt empirische Befunde zu positiven Lehrperson-Lernenden-Beziehungen wider, die mit höherem Schülerengagement und Interaktionsbereitschaft verbunden sind. So zeigen Martin und Collie (2019), dass eine Zunahme positiver Beziehungen mit einem signifikant gesteigertem schulischen Engagement einhergeht. Überdies legen Übersichtsarbeiten zum Scaffolding nahe, dass unterstützende Interaktionen zwischen Lehrperson und Lernenden Lernprozesse erleichtern und zu häufigeren, qualitativ gehaltvolleren Interaktionen beitragen (van de Pol et al. 2010).

Dies zeigt sich auch darin, dass die mit Ein-Wort-Antworten kategorisierten Interaktionen von Reaktion 1 zu Reaktion 2 deutlich abnahmen (von 34,29 % auf 11,11 %). Bei Reaktion 2 gab es weniger Rückfragen als bei Reaktion 1, sie sanken um 6,88 %-Punkte. Dies zeigt in Bezug zu FF1, dass die Lernenden besser mit den Hinweisen und Hilfestellungen durch die App umzugehen wussten.

Die Ergebnisse der Reaktion 1 und Reaktion 2 verdeutlichen, in welchen Bereichen Lernende beim Aufstellen von Reaktionsgleichungen trotz der Unterstützung durch die Lern-App und die Lehrperson weiter-

hin Klärungsbedarf aufweisen. In Bezug auf Forschungsfrage FF1 wird dabei deutlich, dass sich die Interaktionen der Lernenden weniger auf inhaltlich-fachliche Aspekte der chemischen Reaktion konzentrierten, sondern in erheblichem Maße durch strukturelle, sprachliche und technische Faktoren beeinflusst wurden.

Ein zentraler Interaktionsschwerpunkt in beiden Reaktionen lag auf der Aufgabenstellung. Die vergleichsweise hohe Anzahl an Rückfragen deutet darauf hin, dass die sprachliche Formulierung der Aufgabe von allen Lernenden nicht eindeutig verstanden wurde. Dies legt nahe, dass ein Teil der Interaktionen nicht durch fachliche Unsicherheiten, sondern durch Unklarheiten auf der Ebene der Aufgabeninstruktion ausgelöst wurde. Für FF1 bedeutet dies, dass die Qualität und Präzision der Aufgabenstellung einen maßgeblichen Einfluss auf Art und Häufigkeit der Interaktionen zwischen Lernenden, Lehrperson und App hatte.

Darüber hinaus zeigten sich wiederholt Interaktionen im Zusammenhang mit der Bedienung und Nutzung des 3D-AR-Modells. Diese Interaktionen betrafen weniger die inhaltliche Auseinandersetzung mit den dargestellten Teilchen als vielmehr die Funktionalität und Zielsetzung der AR-Darstellung. In Bezug auf FF1 lässt sich daraus schließen, dass eine eingeschränkte Usability der AR-Elemente zusätzliche Interaktionen hervorgerufen hat, die primär der Orientierung dienten und nicht unmittelbar dem fachlichen Lernprozess zuzuordnen sind.

Auch Interaktionen zu unterschiedlichen Schreibweisen (Ionen- und Formelschreibweise) traten bei beiden Reaktionen auf, nahmen jedoch bei Reaktion 2 deutlich ab. Dies kann als Hinweis darauf interpretiert werden, dass sich die Lernenden im Verlauf der Bearbeitung sicherer im Umgang mit den Anforderungen der Aufgabe und den bereitgestellten Hilfen fühlten. In Bezug zu FF1 zeigt sich eine qualitative Veränderung der Interaktionen: Während zu Beginn vermehrt klärende Rückfragen gestellt wurden, verschob sich der Fokus im Verlauf der Studie stärker auf dialogische Interaktionen und Ergebnisüberprüfungen.

Die Rolle der Lehrperson erwies sich in diesem Zusammenhang als zentral für die Strukturierung der Interaktionen. Lehrpersoneninitiierte Hinweise und Bestärkungen trugen dazu bei, Unsicherheiten zu reduzieren und den Lernprozess zu steuern. Gleichzeitig verdeutlichen diese Interaktionen, dass bestimmte Unterstützungsimpulse ohne aktives Nachfragen der Lernenden erfolgten und somit das Interaktionsgeschehen maßgeblich mitprägten. Für die Beantwortung von FF1 ist daher festzuhalten, dass das Interaktionsverhalten nicht ausschließlich von den Lernenden ausging, sondern wesentlich durch das Handeln der Lehrperson beeinflusst wurde.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse zu FF1, dass die Interaktionen beim Aufstellen von Reaktionsgleichungen, wie bereits anhand der Interaktionsraten deutlich wurde, weniger durch die Positionierung der AR-Inhalte bestimmt wurden als vielmehr durch die Gestaltung der Aufgabenstellung, die Usability der App sowie die unterstützende Rolle der Lehrperson. Didaktische Verbesserungsvorschläge, die sich aus diesen Befunden ergeben, betreffen insbesondere eine klarere Aufgabenformulierung, eine nutzerfreundlichere Gestaltung der AR-Elemente sowie eine gezielte Strukturierung der Hilfestellungen und werden im folgenden Abschnitt gesondert aufgegriffen (s. 5.2).

Da Interaktionen beim Einsatz digitaler Lernumgebungen maßgeblich durch die Gestaltung der Aufgabenstellung, die Nutzerfreundlichkeit der App sowie die Rolle der Lehrperson beeinflusst werden, lassen sich für die Unterrichtspraxis folgende Schlüsse ziehen. Eine klare Struktur der Aufgaben sowie eine explizite Einführung in digitale Hilfsmittel können unnötige Interaktionen reduzieren. Dadurch wird der Fokus der Lernenden stärker auf die fachliche Auseinandersetzung gelenkt.

5.2 Über das Aufstellen von Reaktionsgleichungen: Interaktionsmuster zwischen Lernenden und Lehrressourcen (FF2)

Die Forschungsfrage FF2 zielte darauf ab, zu untersuchen, in welchem Maß das in der Lern-App integrierte 3D-AR-Modell der Teilchenebene von Lernenden beim Aufstellen von Reaktionsgleichungen genutzt wird und inwiefern es zur Vermeidung typischer Fehler beitragen kann. Die Analyse der in Reaktion 1 und Reaktion 2 auftretenden Fehlerarten ermöglicht Rückschlüsse darauf, welche fachlichen Aspekte durch das AR-Modell unterstützt wurden und wo dessen Wirksamkeit begrenzt blieb.

Grundlegende Kenntnisse zum Aufbau von Reaktionsgleichungen sowie zum Säure-Base-Konzept und zur Dissoziation von Säuren und Basen in wässrigen Lösungen sollten Lernenden der 10. Jahrgangsstufe gemäß dem Lehrplan bereits vertraut sein (vgl. Kultusministerium 2022). Dennoch traten bei Re-

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

aktion 1 trotz visueller Unterstützung durch das 3D-AR-Modell wiederholt Fehler wie fehlende Edukte oder Produkte sowie falsche Schreibweisen auf. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit früheren Studien, die zeigen, dass Lernende selbst bei visueller Unterstützung Schwierigkeiten haben, chemische Reaktionen korrekt zu formulieren (vgl. Ben-Zvi et al. 1987, S. 117; vgl. Barke 2006, S. 196). In Bezug auf FF2 deutet dies darauf hin, dass das AR-Modell allein nicht ausreichte, um bestehende Fehlvorstellungen oder Unsicherheiten beim Aufstellen von Reaktionsgleichungen zuverlässig zu vermeiden. Ein besonderer Schwerpunkt der Fehler lag auf der Dissoziation in wässriger Lösung. Insbesondere die Bildung des Oxoniumions (H_3O^+) wurde bei Reaktion 1 häufig thematisiert und musste mehrfach erläutert werden (vgl. Barke et al. 2018, S. 258). Fehlende Edukte und Produkte traten dabei überwiegend gemeinsam auf, was darauf hindeutet, dass die zugrunde liegenden Gesetze der Erhaltung der Masse und der Ladung nicht sicher angewendet wurden. Vereinzelte Fälle, in denen ausschließlich Edukte fehlten, legen nahe, dass diese Prinzipien nicht durchgängig angewendet werden konnten. Dass diese Fehlertypen bei Reaktion 2 nicht mehr auftraten, spricht dafür, dass eine wiederholte Auseinandersetzung mit dem fachlichen Kontext sowie zusätzliche Unterstützungsangebote zur Reduktion dieser Fehler beitrugen. Diese Beobachtungen lassen sich im Sinne der Theorie des trägen Wissens interpretieren (vgl. Renkl 1996). Obwohl die Lernenden das entsprechende Wissen gemäß Lehrplan und Rückmeldung der Lehrpersonen bereits erworben hatten, gelang es ihnen nicht, dieses im neuen Kontext des Experimentierens und der AR-gestützten Aufgabenbearbeitung anzuwenden. Für FF2 bedeutet dies, dass das 3D-AR-Modell zwar eine visuelle Repräsentation der Teilchenebene bereitstellte, jedoch nicht automatisch den Transfer von deklarativem Wissen in anwendungsbezogenes Wissen unterstützte. Erst durch Wiederholung, Kontextualisierung und zusätzliche Erklärungen konnte eine Verbesserung erzielt werden. Ein möglicher Einflussfaktor für die Verringerung bestimmter Fehlertypen bei Reaktion 2 liegt in den digitalen Hilfestellungen der Lern-App, die korrekte Schreibweisen für Edukte und Produkte bereitstellten. In Bezug auf FF2 lässt sich daraus ableiten, dass das AR-Modell insbesondere in Kombination mit ergänzenden Hilfen wirksam wurde. Der genaue Anteil, den das AR-Modell selbst im Vergleich zu den textbasierten Hilfen an der Fehlerreduktion hatte, kann jedoch auf Grundlage der vorliegenden Daten nicht eindeutig bestimmt werden. Weiterführende Studien könnten untersuchen, inwiefern sich das Nutzungsverhalten der Hilfen verändert, wenn zentrale Inhalte wie die Dissoziation in Wasser vorab explizit wiederholt werden.

Deutlich persistenter zeigten sich Schwierigkeiten im Bereich der Stöchiometrie. Bereits bei Reaktion 1 traten bei mehreren Lernenden Fehler in Bezug auf fehlende oder falsche stöchiometrische Faktoren auf, die auch bei Reaktion 2 teilweise bestehen blieben, obwohl die Aufgabenstellung explizit auf das Ausgleichen der Gleichung hinwies. Dieses Ergebnis bestätigt frühere Befunde, die auf anhaltende Probleme beim Verständnis stöchiometrischer Zusammenhänge hinweisen (vgl. Yarroch 1985, S. 455 ff.; Abraham et al. 1994). Gleichzeitig steht es im Gegensatz zu Studien, die eine stärkere Wirksamkeit expliziter Hinweise berichten (vgl. Arasasingham et al. 2004, S. 1519). In Bezug auf FF2 wird hier deutlich, dass das 3D-AR-Modell der Teilchenebene nur begrenzt zur Klärung stöchiometrischer Probleme beitrug, da diese neben konzeptuellem Verständnis auch mathematische Kompetenzen erfordern (vgl. Höner 1996, S. 67).

Die bei Reaktion 2 neu auftretenden Fehlerarten (z. B. falsche Ionenreihenfolge oder fehlende Indizes) sind vor allem auf die höhere fachliche Komplexität der zweiten Reaktionsgleichung zurückzuführen. Diese Fehler konnten erst auftreten, da entsprechende Notationsanforderungen in Reaktion 1 noch nicht gegeben waren. Für FF2 zeigt sich damit, dass das AR-Modell zwar zur Visualisierung der Teilchenebene beiträgt, jedoch nicht automatisch die korrekte symbolische Darstellung chemischer Reaktionen unterstützt.

Zusammenfassend lässt sich in Bezug auf Forschungsfrage FF2 festhalten, dass das 3D-AR-Modell der Lern-App von den Lernenden genutzt wurde, jedoch insbesondere bei konzeptuellen und mathematisch geprägten Anforderungen nur begrenzt zur Fehlervermeidung beitrug. Die Ergebnisse zeigen, dass AR-Modelle im Chemieunterricht insbesondere die Visualisierung der Teilchenebene unterstützen, jedoch nicht automatisch zu korrekten symbolischen Darstellungen chemischer Reaktionen führen. Dies unterstreicht, dass die reine Visualisierung der Teilchenebene allein nicht ausreicht, um die Übersetzung in die symbolische Ebene zu ermöglichen, eine zentrale Herausforderung im Chemieunterricht. Für die Unterrichtspraxis bedeutet dies, dass AR-Anwendungen vor allem als ergänzendes Werkzeug zur Veranschaulichung abstrakter Konzepte eingesetzt werden sollten, nicht jedoch als Ersatz für die explizite Einführung und Übung grundlegender fachlicher Inhalte.

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Insbesondere bei inhaltlich anspruchsvollen Themen wie der Dissoziation in wässriger Lösung oder dem Ausgleich stöchiometrischer Faktoren erweist sich eine vorgelagerte Wiederholung zentraler Konzepte als notwendig. Der Einsatz von AR ist hier sinnvoll, wenn er in eine klar strukturierte Unterrichtssequenz eingebettet wird, die fachliche Erklärungen, gelenkte Übungsphasen und gezielte Hilfestellungen kombiniert.

Darüber hinaus verdeutlichen die Ergebnisse, dass AR-Modelle nur begrenzt zur Klärung mathematisch geprägter Anforderungen beitragen können. Für die Unterrichtspraxis folgt daraus, dass Kompetenzen wie das Anwenden der Erhaltungssätze oder das Bestimmen stöchiometrischer Faktoren weiterhin explizit und unabhängig von der AR-Darstellung geübt werden müssen. Digitale Visualisierungen können diese Prozesse unterstützen, jedoch nicht ersetzen.

Insgesamt legen die Befunde nahe, dass der didaktische Mehrwert von AR-Anwendungen weniger in der eigenständigen Nutzung durch Lernende liegt, sondern vielmehr in einer gezielten, lehrpersonengeleiteten Einbettung. Ein reflektierter Einsatz von AR erfordert daher eine bewusste didaktische Planung, die sowohl die Potenziale als auch die Grenzen dieser Technologie berücksichtigt.

6. Limitationen

Im Forschungsdesign wurden zwei Reaktionen (Reaktion 1 und Reaktion 2) eingesetzt, die auf Stoffebene unabhängig voneinander sind. Sie wurden jedoch nacheinander von denselben Lernenden bearbeitet. Daher kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass Erfahrungen aus der Bearbeitung von Reaktion 1, etwa in Form von Lerneffekten (z. B. strategisch oder metakognitiv), einer zunehmenden Vertrautheit mit der App oder einer veränderten Aufmerksamkeit, Einfluss auf die Bearbeitung von Reaktion 2 genommen haben. Der sequentielle Aufbau wurde dennoch gewählt, da er eine einheitliche Datenerhebung pro Person erlaubt, denselben Lernenden den Vergleich zwischen AR ohne Hilfen und AR mit Hilfen ermöglicht und zugleich einen realistischen Unterrichtsablauf abbildet, in dem Aufgaben ebenfalls aufeinanderfolgend bearbeitet werden.

Die qualitative Inhaltsanalyse der vorliegenden Daten war mit mehreren Einschränkungen verbunden, die im Folgenden dargestellt werden, um sie in zukünftigen Untersuchungen zu berücksichtigen und zu vermeiden:

Der Umfang und die Art der Lehrpersoneninteraktionen variierten zwischen den Durchführungen. Bei Reaktion 2 machten Lehrpersoneninteraktionen 65,82 % aller Interaktionen aus. Damit ist nicht auszuschließen, dass sowohl der individuelle Unterstützungsstil der Lehrkraft, welche die Studie durchgeführt hat, als auch das unterschiedliche Vorwissen der Lernenden, das sich auf den Lehrplan und die Rückmeldungen der Fachlehrperson stützt, die Ergebnisse beeinflusst haben können. Idealerweise wären keine von der Lehrperson initiierten Interaktionen für zuverlässige Ergebnisse notwendig gewesen und das Vorwissen sollte als Kontrollvariable erfasst werden. In der Analyse wurde angenommen, dass eine längere visuelle Fokussierung im Videoausschnitt auf einen Inhalt mit einer tatsächlichen inhaltlichen Auseinandersetzung einhergeht. Mittels Eyetracking-Daten ließe sich dies genauer auswerten, ob die Blicke auch wirklich auf dem Material oder auf anderen Dingen im Videoausschnitt lagen (Syskowski & Huwer 2023).

Darüber hinaus waren einige Video- und Tonaufnahmen qualitativ eingeschränkt, sodass bestimmte Interaktionen schwer verständlich waren.

Des Weiteren wäre eine größere Stichprobe notwendig, um statistisch robuste Aussagen abzuleiten.

Auch hinsichtlich des Codesystems lässt sich Verbesserungspotenzial ausmachen. So hätte die Kodierung der paraphrasierten Inhalte differenzierter erfolgen können; zugleich hätten einzelne Paraphrasen stärker zusammengefasst werden können. Wiederholte Nachfragen während der Rekodierung durch Intercoder deuten auf Unklarheiten im Kodiersystem hin.

Zudem führten Redundanzen in der Lern-App möglicherweise dazu, dass bestimmte Hilfen von den Lernenden nicht genutzt wurden. Insbesondere war die Reaktionsgleichung teils bereits vorbearbeitet, was die Bearbeitung und damit die Ergebnisse beeinflusst haben könnte.

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

7. Fazit

Die Analyse zeigt, dass sich die grundlegenden Schwierigkeiten der Lernenden beim Aufstellen von Reaktionsgleichungen seit 1993 kaum verändert haben. Trotz technologischer Fortschritte und der Integration von Lern-Apps bleiben insbesondere das stöchiometrische Ausgleichen und das Verständnis submikroskopischer sowie symbolischer Darstellungen zentrale Herausforderungen. Die bereitgestellten Hilfen der App, wie Schreibweisen für Edukte und Produkte, konnten zwar spezifische Fehler reduzieren, jedoch bleibt das Ausgleichen der Reaktionsgleichungen ein Problem. Die Interaktionen zwischen Lernenden und Lehrperson nahmen bei der zweiten Aufgabe deutlich ab, was auf die App-Hilfen und die Lerneffekte aus der ersten Aufgabe zurückzuführen sein könnte. Dennoch wurden die Hilfen genutzt, insbesondere zur Absicherung. Die Ergebnisse verdeutlichen jedoch, dass viele Lernende die angebotenen Hilfen nicht vollständig ausschöpften, was unter anderem auf Optimierungspotenziale in der App-Gestaltung hinweist. Zu den Verbesserungsvorschlägen zählen daher interaktive Hilfen innerhalb der App, die den Lernenden Schritt-für-Schritt-Tipps bieten, sowie eine benutzerfreundlichere Bedienung, beispielsweise durch die Integration einer Touch-Steuerung für 3D-Modelle. Darüber hinaus könnte eine automatische Fehlererkennung mit entsprechender Rückmeldung dazu beitragen, typische Fehler zu reduzieren. Ergänzend wäre eine stärkere Verknüpfung mathematischer Grundvorstellungen mit chemischen Kontexten sinnvoll, um das Verständnis der Lernenden weiter zu fördern.

Die Studie hebt hervor, dass Lehrpersonen offenbar noch nicht ausreichend auf die Vermittlung der verschiedenen Repräsentationsebenen vorbereitet sind. Eine intensivere fachdidaktische Aus- und Weiterbildung könnten hier Abhilfe schaffen. Zudem sollte die App klarer definieren und erklären, wie abstrakte Konzepte wie AR genutzt werden können.

Zusammenfassend liefert die Untersuchung wertvolle Erkenntnisse zur Optimierung von Lern-Apps und Unterrichtsmethoden im Chemieunterricht. Zukünftige Studien sollten größere Stichproben umfassen und untersuchen, wie sich kleinschrittige Hilfen, AR-Einführungen, die Wahl der Schreibweise und die Selbsteinschätzung der Lernenden auf Lernerfolge auswirken.

Literatur

Abraham, M. R., Williamson, V. M. & Westbrook, S. L. (1994): A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching, 31*(2), S. 147-165. https://doi.org/10.1002/tea.3660310206

Alfaro, D., Lizeth, L., Gantois, S., Blattgerste, J., Croon, R., Verbert, K., Pfeiffer, T. & van Puyvelde, P. (2022): Mobile Augmented Reality Laboratory for Learning Acid-Base Titration. *Journal of Chemical Education, 99*(2), S. 531-537. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00894?urlappend=%3Fref%3DPDF&jav=VoR&rel=cite-as

Al-Kunifed, A., Good, R. & Wandersee, J. (1993): Investigation of high school chemistry students' concepts of chemical symbol, formula, and equation: Students' prescientific conceptions. *Reports Research/Technical, 143*, S. 1-35.

Altmeyer, K., Kapp, S., Thees, M., Malone, S., Kuhn, J. & Brünken, R. (2020): The use of augmented reality to foster conceptual knowledge acquisition in STEM laboratory courses – Theoretical background and empirical results. *British Journal of Educational Technology, 51*(3), S. 611-628. https://doi.org/10.1111/bjet.12900

Anderson, T. (2003): Getting the mix right again: An updated and theoretical rationale for interaction. *International Review of Research in Open and Distance Learning, 4*(2), S. 1-14. https://doi.org/10.19173/irrodl.v4i2.149

Arasasingham, R. D., Taagepera, M., Potter, F. & Lonjers, S. (2004): Using Knowledge Space Theory To Assess Student Understanding of Stoichiometry. *Journal of Chemical Education, 81*(10), S. 1517.

Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. & MacIntyre, B. (2001): Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications, 21*(6), S. 34-47. https://doi.org/10.1109/38.963459

Barke, H.-D. (2006): *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S. & Marohn, A. (2018): *Chemiedidaktik kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis.* 3. Auflage. Berlin: Springer Spektrum.

Barth, C., Siol, A., Eilks, I. & Huwer, J. (2021): Nachhaltigkeitsbildung und Digitalisierung gemeinsam denken – Lernen mit und über den nachhaltigen Einsatz von Tablets am Beispiel einer Augmented-Reality-Lernumgebung. *CHEMKON*, 28(6), S. 235-40. https://doi.org/10.1002/ckon.202100004

Ben-Zvi, R., Eylon, B. S. & Silberstein, Y. (1987): Students' visualisation of a chemical reaction. *Education in chemistry, 24*(4), S. 117-120.

Bernholt, S., Fischer, I., Heuer, S., Taskin, V., Martens, J. & Parchmann, I. (2012): Die chemische Formelsprache – (un-)vermeidbare Hürden auf dem Weg zu einer Verständnisentwicklung? *CHEMKON*, 19(4), S. 171-178. https://doi.org/10.1002/ckon.201210183

Cai, S., Chiang, F. K., Sun, Y., Lin, C. & Lee, J. J. (2017): Applications of augmented reality-based natural interactive learning in magnetic field instruction. *Interactive Learning Environments, 6*, S. 778-791. https://doi.org/10.1080/10494820.2016.1181094

Cai, S., Liu, C., Wang, T., Liu, E. & Liang, J.-C. (2021): Effects of learning physics using Augmented Reality on students' self-efficacy and conceptions of learning. *British Journal Of Educational Technology*, 1, S. 235-251. https://doi.org/10.1111/bjet.13020

Demuth, R., Ralle, B. & Parchmann, I. (2005): Basiskonzepte – eine Herausforderung an den Chemieunterricht. *CHEMKON*, 12(2), S. 55-60. https://doi.org/10.1002/ckon.200510021

Dresing, T. & Pehl, T. (2020): *Praxisorientierte qualitative Interviews mit Leitfaden. Ausführliche Arbeitsanleitung für die Vorbereitung, Durchführung, Transkription und Auswertung.* 8. überarbeitete Auflage. Marburg: Eigenverlag.

Finston, H. L. & Rychtman, A. C. (1982): *A new view of current acid-base theories*. New York: Wiley.

Haas, J.-B. & Marohn, A. (2022): Das Unterrichtskonzept chem: LEVEL – Fachsprache fördern auf Basis des Johnstone-Dreiecks. *CHEMKON*, 29(S1), S. 213-217. https://doi.org/10.1002/ckon.202100092

Harsch, G. & Heimann R. (1998): Didaktik der Organischen Chemie nach dem PIN-Konzept. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-59022-1

Harsch, G. & Schmidkunz, H. (2014): Das START-Konzept: Teilchenmodelle und Formelsprache im Chemieanfangsunterricht. *Unterricht Sek. I Chemie*, Aulis Verlag.

Haupt, P. & Moritz, P. (2008): *Modelle chemischer Substanzen für den Anfangsunterricht*. Köln: Aulis Verlag Deubner.

Höner, K. (1996): Mathematisierungen im Chemieunterricht – ein Motivationshemmnis? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften: ZfDN, 2*(2), S. 51-70. https://doi.org/ 10.25656/01:31476

Huwer, J., Lauer, L., Seibert, J., Thyssen, C., Dorrenbacher-Ulrich, L. & Perels, F. (2018): Re-Experiencing Chemistry with Augmented Reality: New Possibilities for Individual Support. *World J. Chem. Educ., 6*, S. 212. https://doi.org/10.12691/wjce-6-5-2Johnstone, A. H. (2000): Teaching of Chemistry – Logical or Psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), S. 9-15. https://doi.org/10.1039/A9RP90001B

Kuckartz, U. & Rädiker. S. (2022): *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung: Grundlagentexte Methoden.* 5. Auflage. München: Beltz Juventa.

Kultusministerkonferenz (KMK) (2020): Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Chemie.pdf (Abfrage: 05.06.2026).

Kultusministerium (2022): Bildungsplan Gymnasium Chemie. Stuttgart: Ministerium für Kultus Jugend und Sport Baden-Württemberg.

Marais, P. & Jordaan, F. (2000): Are We Taking Symbolic Language for Granted? *Journal of Chemical Education, 77*(10), S. 1355-1357. https://doi.org/10.1021/ed077p1355

Martin, A. J. & Collie, R. J. (2019): Teacher-student relationships and students' engagement in high school: Does the number of negative and positive relationships with teachers matter? *Journal of Educational Psychology, 111*(5), S. 861-876. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/edu0000317

Mayer, R. E. (Hrsg.) (2014): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. 2. Auflage. Cambridge: Cambridge University Press. (= Cambridge Handbooks in Psychology).

Mazzuco, A., Krassmann, A. L., Reategui, E. & Gomes, R. S. (2022): A systematic review of augmented reality in chemistry education. *Review of Education, 10*(1). https://doi.org/10.1002/rev3.3325

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Midak, L. Y., Kravets, I. V., Kuzyshyn, O. V., Pahomov, J. D., Lutsyshyn, V. M. & Uchitel, A. D. (2019): *Augmented reality technology within studying natural subjects in primary school.* (= Proceedings Of The 2nd International Workshop On Augmented Reality In Education (Aredu 2019)).

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1995): *Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum* (S. 282-292). Boston, MA. http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=981543 (Abfrage: 19.10.2023).

Moore, M. G. (1989): Three types of interaction. *American Journal of Distance Education, 3*(2), S. 1-7. https://doi.org/10.1080/08923648909526659

Neumann, B. (1902): Die Reaktionsgleichung bei der Calciumcarbid-Reduktion. *Zeitschrift für Elektrochemie, 8*(40), S. 772-775. https://doi.org/10.1002/BBPC.19020084005

Ovens, M., Ellyard, M., Hawkins, J. & Spagnoli, D. (2020): Developing an Augmented Reality Application in an Undergraduate DNA Precipitation Experiment to Link Macroscopic and Submicroscopic Levels of Chemistry. *Journal Of Chemical Education, 97(10)*, S. 3882-3886.

Pauli, C. & Reusser, K. (2006): Von international vergleichenden Video Surveys zur videobasierten Unterrichtsforschung und -entwicklung. *Zeitschrift für Pädagogik, 52*(6), S. 774-798.

Petermann, K., Friedrich, J., Barke, H.-D. & Oetken, M. (2011): Säure-Base-Reaktion: Eine an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtseinheit. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie - Chemie in der Schule, 60*(3), S. 10-15.

Radu, I. (2014): Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing, 18*(6), S. 1533-1543. https://doi.org/10.1007/s00779-013-0747-y

Reichertz, J. & Englert, C. J. (2011): Einführung in die qualitative Videoanalyse. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92053-5

Reiners, C. S. & Struve, H. (2011): Gleichungen. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie - Chemie in der Schule, 60*(3), S. 35-40.

Renkl, A. (1996): Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau, 42*(2), S. 78-92.

Reiser, B. J. (2004): Scaffolding complex learning: The mechanisms of structuring and problematizing student work. J*ournal of the Learning Sciences, 13*(3), S. 273-304. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1303_2

Ripsam, M. & Nerdel, C. (2022): Augmented reality for chemistry education to promote the use of chemical terminology in teacher trainings. *Frontiers in psychology, 13*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1392529

Schmidt, H.-J. (1994): Stolpersteine beim Verstehen chemischer Grundlagen. *CHEMKON*, 1(4), S. 189-192. https://doi.org/10.1002/ckon.19940010405

Schmidt, H.-J. & Fachbereich Chemie (1995): Applying the concept of conjugation to the Br⊘nsted theory of acid-base reactions by senior high school students from Germany. *International Journal of Science Education, 17*(6), S. 733-741. https://doi.org/10.1080/0950069950170605

Seufert, T. (2018): The interplay between self-regulation in learning and cognitive load. *Educational Research Review, 24*, S. 116-129. https://10.1016/j.edurev.2018.03.004

Singh, J. (2018): Videobasierte Erhebungs- und Auswertungsverfahren. In B. Friebertshäuser, A. Prengel & S. Richter (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft* (S. 249-262). München: Beltz Juventa.

Sorby, S. A. (2009): Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students. *International Journal of Science Education, 31*(3), S. 459-480. https://doi.org/10.1080/09500690802595839

Syskowski, S. & Huwer, J. (2023): A Combination of Real-World Experiments and Augmented Reality When Learning about the States of Wax – An Eye-Tracking Study. *Education Sciences*, 13(2), 177. https://doi.org/10.3390/educsci13020177

Syskowski, S., Preuß, I. & Berber, S. (2023): Projekt ARiELLE – Augmented Reality in Experimental Laboratory Learning Environments. *Frühe naturwissenschaftliche Bildung, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Hamburg 2023*, S. 70-73. https://gdcp-ev.de/tagungsbaende/tagungsband-2024-band-44-2/.

Syskowski, S., Wilfinger, S. & Huwer, J. (2024): Impact and Classification of Augmented Reality in Science Experiments in Teaching – A Review. *Education Sciences, 14*(7). https://doi.org/10.3390/educsci14070760

Syskowski, S. M., Weich, F. & Huwer, J. (2026): „Zusatzmaterial: Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten“, https://doi.org/10.25625/ELGJRO, GRO.data

Taber, K. S. (2009): Learning at the Symbolic Level. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Hrsg.): *Multiple Representations in Chemical Education* (S. 75-105). Dordrecht: Springer Netherlands (= Models and Modeling in Science Education).

Talanquer, V. (2011): Macro, Submicro, and Symbolic: The Many Faces of the Chemistry "Triplet". *International Journal of Science Education,* 33(2), S. 179-195. https://doi.org/10.1080/09500690903386435

Talanquer, V. & Sevian, H. (2014): Chemistry in Past and New Science Frameworks and Standards: Gains, Losses, and Missed Opportunities. *Journal of Chemical Education, 91*(1), S. 24-29. https://doi.org/10.1021/ed400134c

Taskin, V. & Bernholt, S. (2014): Students' Understanding of Chemical Formulae: A review of empirical research. *International Journal of Science Education, 36*(1), S. 157-185. https://doi.org/10.1021/ed400134c

Thierbach, C. & Petschick, G. (2019): Beobachtung. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21308-4_84

Treagust, D., Chittleborough, G. & Mamiala T. (2003): The Role of Submicroscopic and Symbolic Representations in Chemical Explanations. *International Journal of Science Education,* 25(11), S. 1353-68. https://doi.org/10.1080/0950069032000070306

Toczkowski, T. & Ralle, B. (2015): Die Komplexität „einfacher "Experimente-Lernen und Verstehen im Chemieunterricht. *Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Berlin 2015*, S. 68-70.

Tuma, R., Schnettler, B. & Knoblauch, H. (2013): *Videographie: Einführung in die interpretative Videoanalyse sozialer Situationen.* Wiesbaden: Springer Fachmedien.

van de Pol, J., Volman, M. & Beishuizen, J. (2010): Scaffolding in Teacher–Student Interaction: A Decade of Research. *Educational Psychology Review, 22*(3), S. 271-296. https://doi.org/10.1007/s10648-010-9127-6

Wood, D., Bruner, J. S. & Ross, G. (1976): The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 17*(2), S. 89-100. https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x

Yarroch, W. L. (1985): Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching, 22*(5), S. 449-459. https://doi.org/10.1002/tea.3660220507

Zhao, R., Chu, Q. & Chen, D. (2022): Exploring Chemical Reactions in Virtual Reality. *Journal of Chemical Education, 99*(4), S. 1635-1641. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01040

Anhang

Tabelle 1: Deduktiv-induktive Codierung von Interaktionen: Grundlage des Codesystems und zusätzliche Kategorisierung nach der Interaktionsart (zwischenmenschlich vs. inhaltlich-technisch)

Name der Codes (Vorkommen)	**Beschreibung und Ankerbeispiel**
3D-Handhabung (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lehrperson auf 3D-Handhabung der AR, also die Möglichkeit der Betrachtung von allen Seiten, hinweist. Beispiel für Anwendung I weist darauf hin, dass AR von allen Seiten betrachtet werden könne. (00:04:57 A22 R1)
AR (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach Funktionsweisen der AR sowie Play- und Reset-Button fragen oder Lehrperson hierzu Hinweise gibt. Beispiel für Anwendung P fragt, ob er die AR abspielen soll. I sagt ja. (00:00:48 A12 R1) I gibt Hinweis, dass über Reset die AR nochmal gestartet werden könne. (00:03:10 C12L R1)
AR Inhalt (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach Inhalten der AR fragen oder Lehrperson hierzu Hinweise gibt. Beispiel für Anwendung P versichert sich, dass das Grüne Salzsäure sei. I sagt, das Grüne sei ein Teil der Salzsäure. (00:01:57 A10 R1)
Art der Reaktion (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach der Art der Reaktion (Protonenübertragung, Neutralisation, Säure-Base-Reaktion) fragen. Beispiel für Anwendung P sagt, dass das Oxoniumion ein Proton an das Hydroxidion abgibt, es ist also eine Protonenübertragung? I stimmt zu. (00:03:40 A5 R1)
AR-Handhabung (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach der Handhabung der AR fragen oder Lehrperson hierzu Hinweise gibt. Beispiel für Anwendung I weist P an, das Tablet weiter rechts (Richtung Triggerbild) zu halten. (00:02:59 A22 R1)
Aufgabenstellung (R1 & R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach Inhalten der Aufgabenstellung fragen oder Lehrperson hierzu Hinweise gibt. Beispiel für Anwendung P versichert sich, dass er die RG jetzt aufschreiben solle. (00:01:11 A12 R1) P fragt, ob die RG der Reaktion von gerade aufgeschrieben werden solle, I bestätigt. (00:30:54 A13 R2)

Name der Codes (Vorkommen)	Beschreibung und Ankerbeispiel
Bereits ausgefüllt (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende bereits in Ansätzen die Reaktionsgleichung geschrieben haben oder Lehrperson hierzu Hinweise gibt. Beispiel für Anwendung P fragt, wohin die RG geschrieben werden solle, I zeigt auf eigentlich Lücke und sagt, dass bereits Geschriebenes auch weiter genutzt werden könne. (00:30:45 C12L R2)
Bestärkung Vorgehen (R1 & R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn die Lehrperson die Lernenden in ihrem bisherigen Vorgehen bestärkt. Beispiel für Anwendung (P hängt) I bestätigt das was bisher aufgeschrieben wurde (Cl^-). P geht darauf ein und identifiziert H_2O als Edukt (falsch, meinte H_3O+) (00:02:33 A7 R1)
Ergebnis überprüfen (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn die Lehrperson die Lernenden dazu auffordert, ihre Ergebnisse zu überprüfen, indem die Lernenden auf den entsprechenden Button klicken. Beispiel für Anwendung P indiziert fertig, I verweist auf Überprüfen-Button. (00:34:38 A7 R2)
Ergebnisreflexion (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn die Lehrperson die Fertigstellung des Ergebnisses hinterfragt und so möglicherweise eine Reflexion bei den Lernenden anregt. Beispiel für Anwendung I fragt, ob P überhaupt noch ausgleichen müsse. (00:36:07 D11 R2)
Erklärung Vorgehen (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende ihr Vorgehen beim Erstellen der Reaktionsgleichung erklären. Beispiel für Anwendung I fragt, wie P vorgegangen sei. P zählt seine identifizierten reagierenden Teilchen auf. (00:03:33 A17 R1)
H1 (deduktiv) (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende Hilfestellung 1 geöffnet haben.
H2 (deduktiv) (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende Hilfestellung 2 geöffnet haben.
H3 (deduktiv) (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende Hilfestellung 2 geöffnet haben.
H4 (deduktiv) (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende Hilfestellung 2 geöffnet haben.
Hilfen Tablet (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende allgemein zu den Hilfen den der App Fragen haben oder die Lehrperson hierzu Hinweise gibt. Beispiel für Anwendung I weist auf optionale Hilfen auf Tablet hin. (00:33:11 D17 R2)

Sabrina Syskowski, Franziska Weich & Johannes Huwer (2026): Interaktive Wissenskonstruktion beim Aufstellen chemischer Reaktionsgleichungen: Eine videobasierte Analyse von Augmented Reality gestützten Experimenten. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 55-83. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Name der Codes (Vorkommen)	**Beschreibung und Ankerbeispiel**
Hinweis AR (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende Fragen haben, die mittels der AR beantwortet werden könnten und die Lehrperson daraufhinweist. Beispiel für Anwendung I weist darauf hin, dass AR nochmal angeschaut werden kann. (00:05:02 A17 R1)
Ionen Identifizierung (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach der Identifikation von Ionen fragen oder Lehrperson hierzu Hinweise gibt. Beispiel für Anwendung P versichert sich nochmal, dass H_3O^+ das Oxoniumion ist. (00:03:00 A5 R1)
Ionen Vorliegen (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach dem Vorliegen der Stoffe als Ionen fragen oder Lehrperson hierzu Hinweise gibt. Beispiel für Anwendung P fragt, wieso die Teilchen nur freischweben würden. I weist darauf hin, dass in Lösungen immer nur ungebundene Ionen vorkommen. (00:02:15 A13 R1)
Ionen Zuordnung (R1 & R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach der Zuordnung der Ionen fragen oder Lehrperson hierzu Hinweise gibt. Beispiel für Anwendung P fragt, ob Kalilauge dann aus K^+ und OH^- bestünde, I bejaht. (00:02:42 A6 R1)
Korrektur RG + Erklärung (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lehrperson Aufmerksam auf Fehler macht und oder Erklärungen diesbezüglich gibt. Beispiel für Anwendung I weist P darauf hin, dass der Faktor vor H_3O^+ nicht stimme und erklärt, wieso man hier ausgleichen müsse und wie. 00:35:21 A22 R2
Ratlosigkeit Bestandteile (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende Ratlosigkeit bezüglich der Bestandteile der Reaktion, der Stoffe, benennen. Beispiel für Anwendung P sagt, dass sie nicht mehr weiß, woraus Kalilauge und Salzsäure bestehen. I regt dazu an, die AR nochmal anzusehen. (00:01:52 A6 R1)
Reaktion Definition (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach der Definition der Reaktion fragen oder Lehrperson hierzu Hinweise gibt. Beispiel für Anwendung P sagt, dass ja alles reagiert. Daraufhin weist I darauf hin, dass sich bei einer Reaktion der Stoff verändert und fragt, ob das hier der Fall sei. P sagt, dass nun 2 Wasser vorliegen. (00:03:14 A5 R1)

Name der Codes (Vorkommen)	Beschreibung und Ankerbeispiel
Schreibweise (R1 & R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach Inhalten zur Schreibweise der RG allgemein fragen oder Lehrperson Hinweise gibt. Beispiel für Anwendung I sagt P, dass er das falsche streichen soll und dahinter das richtige schreiben soll. (00:04:41 A13 R1) P fragt, wie man die RG schreiben solle, Teilgleichungen oder einfach alles mit +, I bestätigt letzteres. (00:33:40 A7 R2)
Schreibweise FS (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach Inhalten zur Formelschreibweise (Verbindungen) fragen. Beispiel für Anwendung P fragt, ob KOH richtig aufgeschrieben sei, I bestätigt. (00:02:17 D24 R1)
Schreibweise IS (R1 & R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach Inhalten zur Ionenschreibweise (Ladungen der Ionen, Zeichen zwischen Ionen) fragen. Beispiel für Anwendung P fragt, ob die Ionen am Anfang alle einzeln vorliegen. I bestätigt (00:03:49 A7 R1) P fragt, ob die Reihenfolge der Ionen egal sei, I bestätigt. (00:25:42 D24 R2)
Unterstützung RG (R1 & R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lehrperson Suggestivfragen stellt oder Tipps bzw. Impulse gibt beim Erstellen der Reaktionsgleichung. Beispiel für Anwendung I fragt P (nachdem dieser verloren wirkt), was er gesehen habe. P sagt unsicher, die roten Teilchen (Sauerstoffe) haben sich verbunden, I bestätigt. (00:02:20 A22 R1)
Zu H1 (deduktiv) (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach Inhalten zu H1 fragen oder Lehrperson Hinweise gibt.
Zu H2 (deduktiv) (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach Inhalten zu H2 fragen oder Lehrperson Hinweise gibt.
Zu H3 (deduktiv) (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach Inhalten zu H3 fragen oder Lehrperson Hinweise gibt.
Zu H4 (deduktiv) (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn Lernende nach Inhalten zu H4 fragen oder Lehrperson Hinweise gibt.

Tabelle 2: Induktiv abgeleitete Codierkategorien für Reaktionsgleichungsfehler

Name der Codes	**Beschreibung und Ankerbeispiel**
Stöchiometrischer Faktor – falsch (R1 & R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn der stöchiometrische Faktor vor den Molekülen oder Ionen falsch ist. Beispiel für Anwendung $HCl + KOH \rightarrow \mathbf{2}\ H_2O + KCl$ (D24)
Stöchiometrischer Faktor – fehlt (R1 & R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn der stöchiometrische Faktor vor den Molekülen oder Ionen fehlt. Beispiel für Anwendung $SO_4^- + _H_3O^+ + _Na^+ + _OH^- \rightarrow _\ H_2O + _Na^+ + SO_4^-$ (A10)
Edukt – falsch (R1 & R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn ein oder mehrere Edukte falsch sind. Beispiel für Anwendung $Cl^-\ H_2O\ K^+\ OH^- \rightarrow K^+\ OH^-\ H_2O\ H_2O$ (A22)
Edukt – fehlt (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn ein oder mehrere Edukte fehlen. Beispiel für Anwendung $Cl^- + K^+ \rightarrow K^+ + Cl^-$ (A10)
Produkt – falsch (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn ein oder mehrere Produkte falsch sind. Beispiel für Anwendung $Cl^-\ H_2O\ K^+\ OH^- \rightarrow K^+\ OH^-\ H_2O\ H_2O$ (A22)
Produkt fehlt (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn ein oder mehrere Produkte fehlen. Beispiel für Anwendung $Cl^- + K^+ \rightarrow K^+ + Cl^-$ (A10)
Ladung - falsch (R1 & R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn eine oder mehrere Ladungen falsch sind. Beispiel für Anwendung $Cl^-\ H_3O^+\ OH^-\ K^+ \rightarrow 2\ H_2O^+ K^+\ Cl^-$ (A17)
Ladung – fehlt (R1 & R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn eine oder mehrere Ladungen fehlen. Beispiel für Anwendung $KOH + ClH_3O \rightarrow Cl + K + 2\ H_2O$ (L1)
Pluszeichen zwischen den Ionen oder Molekülen – fehlt (R1 & R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn ein oder mehrere Pluszeichen zwischen den Ionen oder Molekülen fehlen. Beispiel für Anwendung $Cl^-\ H_2O\ K^+\ OH^- \rightarrow K^+\ OH^-\ H_2O\ H_2O$ (A22)
Reaktionspfeil – falsch (R2)	In dieser Kategorie codieren, wenn der Reaktionspfeil falsch gezeichnet wurde. Beispiel für Anwendung $K^+ + Cl^- \Rightarrow K^+ + Cl^-$ (L6)

Name der Codes	**Beschreibung und Ankerbeispiel**
Reihenfolge der Ionen in Formelschreibweise – falsch (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn die Reihenfolge der Ionen in Formelschreibweise (FS) falsch ist. In FS wird erst das positive Ion, dann das negative Ion genannt. Beispiel für Anwendung $HSO_4 + HONa \rightarrow 2\ H_2O + SO_4 + Na$ (A8)
Index – falsch (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn die Indizes der Stoffe falsch angegeben sind. Beispiel für Anwendung $Na_2OH + H_2SO_4^{2-} \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O$ (D17)
Index – fehlt (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn die Indizes der Stoffe fehlen. Beispiel für Anwendung $HSO_4 + HONa \rightarrow 2\ H_2O + SO_4 + Na$ (A8)
Trennung der Ionen in Formelschreibweise (R1)	In dieser Kategorie codieren, wenn eine Trennung der Ionen in Formelschreibweise (FS) angegeben wurde. In FS werden Moleküle zusammen genannt. Beispiel für Anwendung $HSO_4 + HONa \rightarrow 2\ H_2O + SO_4 + Na$ (A8)

Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Hildesheim: Universitätsverlag Hildesheim.

Verknüpfung von Computational Thinking und Modellieren für den naturwissenschaftlichen Unterricht

Kevin Kärcher
Kevin Kärcher; Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Institut für Mathematik II und Institut für Biologie, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg

Zusammenfassung

Computational Thinking kann zu den bekannten 21st century skills gezählt werden. Es beinhaltet wichtige Problemlösestrategien, die im Umgang mit digitalen Tools realisiert werden können. Allerdings zeigen internationale Vergleichsstudien wie bspw. die ICILS, dass dringender Handlungsbedarf in diesem Bereich bei den Schüler*innen besteht. Neben diesem überfachlichen Bereich gibt es in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung immer wieder Hinweise darauf, dass Lernende und Lehrende über eher geringe Kompetenzen im Bereich Modelle und Modellieren verfügen. Dabei ist dies ein wichtiger Teil naturwissenschaftlicher Grundbildung. Aus diesen Gründen wurde ein Seminarkonzept an der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd entwickelt, das die Kompetenzen von angehenden Lehrkräften in den Bereichen Computational Thinking und Modellieren fördern soll. Die Studierenden sollen dazu befähigt werden, beide Konzepte integriert im naturwissenschaftlichen Unterricht umzusetzen. Im vorliegenden Artikel wird der theoretische Hintergrund des Ansatzes, die Seminarstruktur und eine qualitative Evaluation des Seminars vorgestellt.

Schlüsselwörter
Computational Thinking, Modellkompetenz, Digitale Kompetenzen, Lehramt Naturwissenschaften

Abstract

Computational Thinking can be seen as a part of the 21st century skills. It includes important problem-solving strategies that are realized using digital tools. However, international comparative studies such as the ICILS show that there is an urgent need for action in this area among high school students. In addition to this interdisciplinary topic Computational Thinking, research in science education indicates that learners and teachers have rather poor skills in the area of models and modeling. Yet this is an important part of basic scientific education. For these reasons, a seminar concept was developed at the University of Education Schwäbisch Gmünd to promote the skills of teacher students in the areas of Computational Thinking and modeling. The aim is to enable students to implement both concepts in an integrated way in science lessons. This article presents the theoretical background of the approach, the seminar structure and a qualitative evaluation of the seminar.

Keywords
Computational Thinking, Modeling Competence, Digital Competence, Science Education

Kevin Kärcher (2026): Verknüpfung von Computational Thinking und Modellieren für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 84-98. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

1 Einführung

Die Diskussion um Kompetenzen und Lehr-Lern-Inhalte in einer digitalen Welt ist sehr breit gestreut. Von medienpädagogischen Ansätzen, die wie in der jüngst veröffentlichten JIM-Studie „einen sicheren und kompetenten Umgang mit Medien" (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest 2024, S. 69) forcieren, über die Empfehlung zum deutlichen Ausbau des Informatikunterrichts (Gesellschaft für Informatik 2024) bis hin zu Konzepten einer integrierten Behandlung digitaler Themen in den Schulfächern (Kultusministerkonferenz 2016, 2021) finden sich viele Herangehensweisen an ein und dieselbe Thematik: Die Förderung von wichtigen Kompetenzen für ein Leben, Lernen und Lehren im 21. Jahrhundert.

Wie ‚digitale Kompetenzen' also definiert werden können, hängt von der Sichtweise auf sie ab. Als ein Teil von digitalen Kompetenzen wird in diesem Artikel aber die *informatische Grundkompetenz* gesehen. Diese, im internationalen Kontext auch als *ICT-literacy* bezeichnete Kompetenzsammlung sollte nicht nur im potenziellen Informatikunterricht, sondern auch in anderen Fächern, insbesondere der MINT-Disziplinen gefördert werden.

Dies wird durch die beiden bekannten Strategiepapiere der KMK nochmals deutlich. Während 2016 im Papier *Bildung in der digitalen Welt* noch eine Anpassung des bestehenden Fächerkanons ohne zusätzliches Unterrichtsfach skizziert wird, geht das Papier von 2021 (*Lehren und Lernen in der digitalen Welt*) zu einer strukturellen Öffnung von Schule hin zu einer „zukunftsorientierten Lernkultur" (Kultusministerkonferenz 2021, S. 11) über. Fokussiert auf die Kompetenzen von Lehrkräften, die für diese Lernkultur nötig sind, formuliert die KMK explizit, dass auch „informatische Grundkompetenzen […] über alle Phasen der Lehrerbildung hinweg" (ebd., S. 24) gefördert werden müssen.

Richtet man jedoch den Blick auf die informatischen Grundkompetenzen der Schüler*innen, die durch gut ausgebildete Lehrkräfte in diesem Bereich gefördert werden sollten, so zeichnet die ICILS Studie (International Computer and Information Literacy Study) ein Bild, das dringenden Handlungsbedarf erkennen lässt: Ca. 40 % der 8-Klässler*innen erreichen nur die ersten beiden von fünf Kompetenzstufen im Bereich ICT-literacy. Damit haben diese Schüler*innen große Unsicherheiten im Bereich digitale Medien und Informationsbeschaffung. Ein ähnliches Bild zeigt sich beim seit 2018 zusätzlich erhobenen Konstrukt *Computational Thinking*. Hier erreichen ungefähr ein Drittel der Schüler*innen nur die ersten beiden von fünf Kompetenzstufen und bewegen sich damit lediglich auf einer basalen Stufe dieses Konstrukts, das im theoretischen Hintergrund näher definiert wird (Eickelmann et al. 2024).

Festzuhalten bleibt also, dass aufgrund normativer Rahmenbedingungen sowie dringendem Handlungsbedarf seitens der Schüler*innen, Ansätze zur Förderung von informatischer Grundkompetenz und Computational Thinking bei (angehenden) Lehrkräften entwickelt werden müssen. Die Entwicklung eines beispielhaften Seminarkonzepts für das Lehramtsstudium in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe wird in diesem Beitrag vorgestellt.

2 Theoretischer Hintergrund

Wie anhand der neuesten Ergebnisse der ICILS-Studie skizziert, gilt es nun für den vorliegenden Beitrag die informatischen bzw. digitalen Grundkompetenzen und das Konstrukt des Computational Thinkings näher zu betrachten. Um einen Anknüpfungspunkt an naturwissenschaftlichen Unterricht zu ermöglichen, wird anschließend eine Verbindung zum bedeutenden Thema Modelle und Modellieren aufgezeigt. Dadurch soll der verbindende Charakter des Seminarkonzepts verdeutlicht werden.

2.1 Computational Thinking

Computational Thinking (kurz: CT) hat seine begrifflichen Ursprünge in der Mathematikdidaktik. Papert verwendete den Begriff 1980 bereits im Buch *Mindstorms*, bezog sich aber damals auf den Einsatz von neu aufkommenden Computern und deren Möglichkeiten für mathematische Repräsentationen. Pionierarbeit leistete dann Jeannette Wing, indem sie die grundlegenden Merkmale von CT definierte. Besonders hervorgehoben werden sollen hier zwei Aspekte aus ihrem damaligen Artikel (Wing 2006):

Kevin Kärcher (2026): Verknüpfung von Computational Thinking und Modellieren für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 84-98. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Erstens beschreibt sie, welche ‚Art' des Denkens mit CT in Verbindung gebracht werden kann. Dabei bezieht sie sich besonders auf rekursives, abstrahierendes und ‚zerlegendes' Denken, das dem Menschen helfen soll, große und komplexe Probleme zu verstehen und zu lösen.

Zweitens verdeutlichen aus einer Liste von charakterisierenden Stichpunkten insbesondere zwei Aspekte den Kern von CT, wie er für die Seminarentwicklung verstanden wurde. Erstens kann die Idee des „Konzeptualisierens und nicht nur des Programmierens" (engl. Original: „Conceptualizing, not programming", (Wing 2006, S. 35)) angeführt werden. Hiermit möchte Wing deutlich machen, dass Denken in CT-Weise nicht (ausschließlich) im Programmieren eines Computers münden muss, sondern es vielmehr darum geht, Probleme flexibel zu verstehen. Unterstützt wird diese Sichtweise vom zweiten Punkt, Ideen, und nicht nur Artefakte zu produzieren (engl. Original: „Ideas, not artifacts" (ebd.)). Sie hebt hervor, dass in CT vor allem die *Art* des Problemlösens und der Austausch mit anderen Menschen darüber im Vordergrund stehen sollte, nicht ein ‚perfektes' Produkt.

In den darauffolgenden Jahren entwickelte sich eine große Anzahl von Definitionen und Konzeptualisierungen von CT. Zusammenfassend stellt Lodi (2020) dar, dass die bis dato erarbeiteten Definitionen sehr häufig CT als Denkprozesse zur Problemlösung beschreiben. Sie münden darin, dass die Lösungsidee extern realisiert werden kann, zumeist durch einen Computer. Deshalb gilt für das hier vorgestellte Seminarkonzept CT als Art und Weise des Nachdenkens über ein Problem, des Planens einer Problemlösung, des *digitalen* Durchführens und Dokumentierens der Arbeitsschritte und der Reflexion über den gegangenen Weg.

Wichtig ist, dass CT im naturwissenschaftlichen Kontext auch die Aspekte der CSTA (Computer Science Teachers Association) und ISTE (International Society for Technology in Education) aus dem Jahr 2011 beinhalten sollte, die besonders auf den Umgang mit Daten rekurrieren. Die Gesellschaften zählen zu CT das Sammeln von Daten, sowie deren Aufbereitung und Auswertung. Der obigen Definition entsprechend, sollten die Daten zur Bearbeitung des Problems dienen.

Wie nun herausgearbeitet wurde, ist vor allem das Problemlösen ein zentraler Bestandteil von CT. Digitales Arbeiten, auch mit Daten, ist dabei eine wichtige Komponente. Um nun diese ‚Arbeits- und Denkweise' in den naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren, benötigt es passende Anknüpfungspunkte an bestehende Konzepte für (angehende) Lehrkräfte. Als ein solcher wurde das Modellieren im naturwissenschaftlichen Unterricht identifiziert, da auch hierbei Problemlösestrategien von zentraler Bedeutung sind.

2.2 Modelle und Modellieren im naturwissenschaftlichen Unterricht

Die Bedeutung von Modellen als erkenntnistheoretisches Instrument in den Naturwissenschaften und damit auch als Lerninhalt für den naturwissenschaftlichen Unterricht ist immens. Neben dem Experiment ist das Modell eigentlich zentral für den Erkenntnisgewinn im naturwissenschaftlichen Unterricht (Upmeier zu Belzen et al. 2019; Reiners 2017; Upmeier zu Belzen & Krüger 2010). Allerdings wird häufig die Medienfunktion von Modellen fokussiert und der erkenntnistheoretische Kern übergangen. Dies kann unter anderem dazu führen, dass das Modellobjekt und seine Eigenschaften mit der Realität gleichgesetzt werden (Reiners 2017).

Sowohl um der wissenschaftstheoretischen Rolle von Modellen als Mittel zur Erkenntnisgewinnung gerecht zu werden, als auch um bei Lernenden eine adäquate Vorstellung über Modelle aufbauen zu können, bietet es sich an, aktiv mit Modellen zu arbeiten (Upmeier zu Belzen et al. 2019). Diese Arbeit mit Modellen bezieht sich, nach einer Definition von Gilbert und Justi (2016), auf „den dynamischen Prozess aus Herstellen, Nutzen, Modifizieren und Verwerfen von Modellen" (ebd. S. viii; Übers. d. Verf.), also das *Modellieren*.

Immer wieder zeigen Studien jedoch, dass (angehende) Lehrkräfte über nur sehr geringe Kompetenzen im Bereich Modelle und Modellieren verfügen, insbesondere dann, wenn Modelle als Werkzeug zur Erkenntnisgewinnung verstanden werden sollen (Gilbert & Justi 2016; Göhner & Krell 2021). Um also Modellierkompetenz bei Schüler*innen aufzubauen, müssen angehende Lehrkräfte die benötigten Kompetenzen ihrerseits ausbauen und festigen.

Um den Prozess des Modellierens greifbarer zu machen, kann der Modellierungskreislauf nach Blum und Leiß (2005) zugrunde gelegt werden (s. Abb. 1). Dieser wurde zum Teil auch bereits auf Naturwissenschaftsdidaktiken übertragen (Goldhausen 2015). Außerdem gibt es eigene didaktische Modelle der Modellarbeit (vgl. bspw. Nerdel 2017). Bei all diesen Adaptionen kann allerdings ein iterativer oder zirkulärer

Kevin Kärcher (2026): Verknüpfung von Computational Thinking und Modellieren für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 84-98. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Charakter erkannt werden. Außerdem bietet der Kreislauf nach Blum und Leiß nochmals mehr Anschlussmöglichkeiten in weitere Disziplinen wie die Mathematik, weshalb dieser als Grundlage für das hier vorgestellte Seminar genutzt wird.

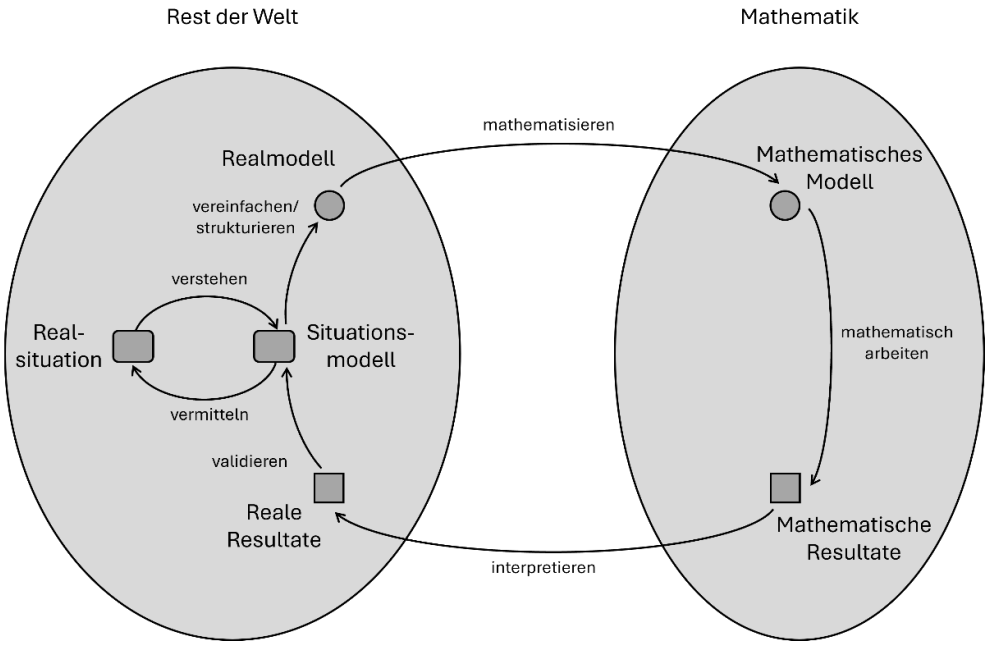


Abbildung 1: Modellierungskreislauf der Mathematikdidaktik (Eigene Abbildung nach Blum und Leiß 2005, S.19)

Um den Kreislauf grob zu strukturieren zeigt die linke Seite, wie beim Erfassen des realen Problems und der Umsetzung eines Situationsmodells insbesondere die Fähigkeit gefordert ist, das Realweltliche zu durchdringen und in einem ersten Situationsmodell strukturieren zu können. Bei der Übersetzung in die Mathematik auf der rechten Seite gilt es dann, die Struktur der Situation möglicherweise zu vereinfachen bzw. passende (mathematische) Repräsentanten dafür zu finden. Im anschließenden mathematischen Arbeiten gilt es Resultate zu erlangen bzw. im naturwissenschaftlichen Kontext mit dem Modell Daten erheben zu können. Bei der Rückübertragung auf die realweltlichen Zusammenhänge ist es dann wiederum wichtig, die erlangten Erkenntnisse kritisch zu hinterfragen und einzuordnen. Die hier vorgenommene Zusammenfassung der nötigen Fähigkeiten in den jeweiligen Schritten wird durch die Übersicht von Kaiser et al. (2015) gestützt, wobei diese ausschließlich auf die Mathematik bezogen ist.

Wie beschrieben, ist auch beim Modellieren sehr wichtig, dass Lernende Probleme erfassen und strukturieren können und diese mit einem angemessenen Plan bearbeiten. Die gefundene Lösung sollte kritisch eingeordnet und ggf. in einer weiteren Iteration verbessert werden. Ebendiese Schritte lassen sich auf die ursprüngliche Definition des Problemlösens nach Polya (1957) zurückführen. Problemlösen ist also wichtiger Bestandteil von Modellieren. Modellieren jedoch benötigt noch weitere Kompetenzen und Wissenselemente, die für das jeweilige Fachgebiet von Bedeutung sind.

Nun fällt auf, dass sowohl für Computational Thinking als auch für Modellieren Problemlösestrategien zentral sind. Deshalb liegt nahe, diese beiden Konzepte zusammenzuführen. Einerseits könnten dadurch dringend benötigte Modellierkompetenzen bei Lernenden aufgebaut werden. Andererseits findet das ‚neuartige' Konzept CT damit eine Integrationsmöglichkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht und erscheint möglicherweise nicht als zusätzliche Belastung.

2.3 Verbindung zwischen Computational Thinking und Modellierkompetenz

Senkbeil et al. (2019) legen in der ICILS 2018 das folgende Kompetenzmodell (s. Abb. 2) für die Untersuchung der Fähigkeiten im Bereich Computational Thinking zugrunde. Anhand der Strukturierung in zwei

Teilbereiche *Probleme konzeptualisieren* und *Lösungen operationalisieren* werden fünf zentrale Aspekte von CT beschrieben. Hierbei lassen sich explizit Parallelen zum Modellieren herstellen.

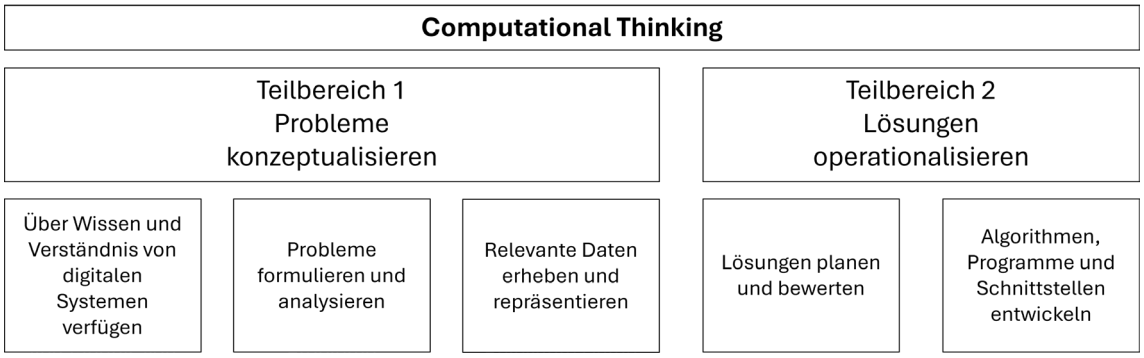


Abbildung 2: Kompetenzmodell CT in der ICILS 2018 (eigene Abbildung nach Senkbeil et al. 2019, S. 101)

Die im ersten Aspekt beschriebene Kenntnis über digitale Systeme enthält die Fähigkeit, „Komponenten sowie ihr Zusammenspiel zu kennen und beschreiben zu können" (Senkbeil et al. 2019, S. 102). Diese Komponenten beinhalten bspw. Schleifen und Verzweigungen, also grundlegende Steuerelemente der Systeme. Dabei heben Senkbeil et al. aber explizit hervor, dass sie den Lernenden einen Zugriff auf die digitale *und* reale Welt ermöglichen, indem Realweltliches abstrahiert und mithilfe der digitalen Systeme beschrieben wird. Im hier vorgestellten Seminarkonzept wird diese Kenntnis im Umgang mit den behandelten digitalen Tools und deren Anwendung zur Modellierung realweltlicher Phänomene bzw. Probleme aufgebaut, wie es auch die Autor*innen des Kompetenzmodells vorsehen: „Ein solches Verständnis ermöglicht auch erst eine Modellbildung und Konzeptualisierung realweltlicher Probleme im Kontext digitaler Systeme" (Senkbeil et al. 2019, S. 102).

Mit Blick auf den Modellierungskreislauf in Abbildung 1 zeigt sich sowohl eine Parallele zur linken Seite, durch die Abstraktion realweltlicher Zusammenhänge, als auch die Verbindung zur rechten Seite, in der mit dem erstellten Modell gearbeitet wird. Auch das zyklische Vorgehen des Kreislaufs verdeutlicht die angedachten Kompetenzen von Senkbeil et al. (2019), die Reflexion und Veränderung des Modells bzw. Systems in diesen Aspekt miteinbeziehen. Beide Tätigkeiten sind ebenfalls zentral für das naturwissenschaftliche Modellieren (vgl. Krüger et al. 2018).

Aus Sicht der Modellkompetenz eng mit diesem ersten Aspekt verbunden, ist auch der zweite Aspekt des CT-Kompetenzmodells *Probleme formulieren und analysieren*. Er beschreibt unter anderem die Fähigkeit, größere Probleme in kleinere Teile zu strukturieren, die wiederum im Modellierungskreislauf als Bestandteile des benötigten Situationsmodells bearbeitet werden können. Hieran wird auch nochmals die zentrale Bedeutung der Problemlösekompetenzen deutlich, die sowohl für das Modellieren, als auch CT benötigt werden.

Relevante Daten zu erheben und zu repräsentieren stellt den letzten Aspekt des ersten Teilbereichs von CT dar. Senkbeil et al. (2019) beschrieben ihn mit der Fähigkeit, die benötigten Daten aus dem System zu erfassen und angemessen darzustellen. Für naturwissenschaftliches Modellieren hat diese Arbeit mit Daten ebenfalls eine wichtige Bedeutung: Mit ihnen können Hypothesen geprüft und Voraussagen getroffen werden (vgl. Krüger et al. 2018).

Die beiden Aspekte unter Teilbereich II erscheinen in ihrer ursprünglichen Definition sehr ‚technologiebezogen'. So sollen Lernende im Aspekt *Lösungen planen und bewerten* Fähigkeiten in der Erstellung von ‚Systemen' erwerben und diese v. a. im Hinblick auf die Bedürfnisse und Kriterien von Benutzer*innen bewerten können. Im Sinne des Modellierens ist eine solche Auswahl in der Erstellung des Modells bei den zu berücksichtigenden Größen bzw. Objekten und deren Repräsentanten vorzunehmen. Wird ein existierendes oder erstelltes Modell erprobt, so muss dessen Angemessenheit reflektiert und ggf. Anpassungen vorgenommen werden (vgl. Modellierungskreislauf und Krüger et al. 2018).

Der letzte Aspekt umfasst mit *Algorithmen, Programme und Schnittstellen entwickeln* die ‚Herstellungsperspektive', um das zugrundeliegende Problem mithilfe von (digitalen) Algorithmen zu lösen. Auch wenn Modelle keinen direkten algorithmischen Charakter aufweisen, können Algorithmen dennoch innerhalb eines Modells (bspw. einer Computersimulation) oder zur digitalen Datenerfassung eingesetzt werden.

Zuletzt sollte noch der Blick auf die *Unterschiede* zwischen CT und Modellieren gerichtet werden. Werden Modelle im Unterricht als Medium eingesetzt (nach Krüger et al. 2018, das Modell *von* etwas), so greifen die hier skizzierten Parallelen nicht. Anhand der Modelle von etwas sollen in erster Linie nicht direkt erfahrbare Phänomene und Zusammenhänge repräsentiert werden. Dabei kann der Entwicklungscharakter zunächst im Hintergrund stehen. Und auch wenn Lernende Modelle selbst entwickeln, kann dies ebenso abseits von digitalen Systemen geschehen und somit keine direkte Verbindung zu CT hergestellt werden.

Für das hier vorgestellte Konzept gilt also das *Erstellen* von Modellen mit digitalen Tools als zentraler Aspekte in der Sicht auf das Modellieren, in der sich die CT-Kompetenz-Aspekte integrieren lassen.

2.4 Ähnliche konzeptionelle Ansätze

Studien zeigen, dass eine Passung zwischen intendierten Lernzielen und der *erlebten* Aktivität (sowie dem anschließenden Prüfungsformat) einen positiven Einfluss auf den Lernerfolg von Studierenden haben kann (Zhang et al. 2022). Dieser, als *Constructive Alignment* (Biggs & Tang 2007) bekannte Ansatz, wurde auch in der Planung dieses Seminars berücksichtigt. Um die Kompetenzen in den Bereichen CT, Modellieren und Problemlösen aufzubauen, sollten die Studierende also selbst Lernaktivitäten in diesen Bereichen durchführen und erleben.

Parallelen lassen sich hierbei zu den bekannten Ansätzen des problem- und modellorientierten Lernens ziehen. Sie werden in den Naturwissenschaften und anderen Fachbereichen schon lange genutzt um die Anwendung von Wissen über Disziplingrenzen hinweg zu fördern (Biggs & Tang 2007). Beim problembasierten Lernen (kurz: PBL) erarbeiten sich die Lernenden anhand offener, möglichst realweltlicher Probleme die gewünschten Inhalte und reflektieren über den Prozess (Wilhelm & Brovelli 2009; Lim 2023).

Eng mit dem PBL-Ansatz verbunden ist das modellbasierte Lernen (MBL). Hier steht zwar der modellbasierte Zugang im Vordergrund, allerdings bilden, wie bereits herausgearbeitet, Problemlösekompetenzen einen wichtigen Teil der Modellierkompetenz. Beim MBL steht das Lernen anhand der Produktion von Modellen im Vordergrund. Gefördert werden sollen hierdurch nicht nur inhaltsbezogene Kompetenzen, da (naturwissenschaftliche) Phänomene im Modell dargestellt werden sollen, sondern auch das Wissen über die Naturwissenschaften und metakognitive sowie soziale Kompetenzen (Louca & Zacharia 2012).

Zur Förderung von CT und Modellkompetenz scheinen also die Kernelemente dieser erprobten Ansätze als sehr passend. Zudem ermöglichen sie es den Studierenden selbst die intendierte theoretische Verbindung von CT und Modellieren im Sinne des Constructive Alignment zu erproben.

3 Konzept der Lehrveranstaltung

Das Konzept der Lehrveranstaltung *Computational Thinking und Modellieren im naturwissenschaftlichen Unterricht* wurde in der ersten Entwicklungsphase bzw. zu Beginn der ersten Durchführung bereits im Sammelband *Lehrkräftebildung von Morgen* (Graulich et al. 2024) vorgestellt. Das Ziel dieses Beitrags ist, die weiterentwickelte Struktur des Seminars ausführlicher vorzustellen und dann zusätzlich auf die Evaluationen der vergangenen zwei Durchführungen einzugehen.

3.1 Inhaltliche Zielsetzung

Ziel der Lehrveranstaltung ist es, Studierende dazu zu befähigen, in eigenen Projekten Ideen zu entwickeln, die Modellieren und CT verbinden. Wichtig ist, dass die Studierenden in jedem Abschnitt und in der eigenen Projektarbeit über die Verbindung explizit reflektieren und somit feststellen, dass die beiden Konzepte grundsätzliche Überschneidungspunkte haben. Sie sollen also erleben, dass die Förderung von CT-Kompetenzen ohnehin mit der Förderung von Modellierkompetenz gelingen kann.

Gleichzeitig gilt es, bei den Studierenden durch das problem- und modellbasierte Arbeiten sowohl Interesse an den beiden Themengebieten zu wecken als auch den Einstieg in informatische Grundkompetenzen selbstwirksam zu gestalten.

Kevin Kärcher (2026): Verknüpfung von Computational Thinking und Modellieren für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 84-98. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

3.2 Struktur und Inhalt der Lehrveranstaltung

Die ursprünglich geplante Grobstruktur des Seminars findet sich im Beitrag des erwähnten Sammelbandes (Kärcher et al. 2024). Ebenso findet sich dort ein strukturell noch immer passender Seminarplan. Allerdings wurden Begrifflichkeiten geschärft und Seminarwochen thematisch gekoppelt, sodass hier die aktuelle Struktur anhand der behandelten Themengebiete umrissen wird. Somit könnte das Konzept auf verschiedene, nicht ausschließlich synchron wöchentlich stattfindende, Formate angewandt werden bzw. auch nur einzelne Teile als Inspiration für die Lehrkräftebildung genutzt werden.

Zur Einführung erhalten die Studierenden einen Input zu den Themen digitale Bildung und 21st century skills. Dabei erarbeiten sie sich einen Überblick über ein Fach ihrer Wahl hinsichtlich Anknüpfungspunkte für die Kompetenzbereiche, die die KMK und andere Organisationen definieren. Darauffolgend findet eine Zuspitzung auf das Konzept CT statt. Anhand des Kompetenzmodells von Senkbeil et al. (2019) erhalten die Studierenden einen Einblick darin, wie CT strukturiert und operationalisiert werden kann, bevor sie anhand einfacher Übungen CT-Kompetenzen anwenden und darüber reflektieren. Abgeschlossen wird die Einführung zum theoretischen Hintergrund mit einem Input und Übungen zum Thema Modelle und Modellieren (bezogen auf den naturwissenschaftlichen Unterricht). Angeknüpft wird hier bereits theoretisch und in der Reflexion der Übung an das Kompetenzmodell zum Computational Thinking.

Nach der theoretischen Einführung sollen die Studierenden anhand eigener praktischer Tätigkeit zwei mögliche Anwendungsfelder für die Verbindung von CT und Modellieren kennenlernen. Zunächst wird auf die Funktion von Modellen fokussiert, Phänomene auf einer nicht sichtbaren Ebene zu erklären und zu untersuchen. Grundlage hierfür ist für alle Studierenden ein bekanntes Diffusionsphänomen zur Verteilungsgeschwindigkeit eines Farbstoffs in Abhängigkeit zur Wassertemperatur. Zur Erklärung dieses Phänomens auf Teilchenebene sollen die Studierenden eine Simulation mit der blockbasierten Programmiersprache Scratch erstellen. Die Produkte werden dann sowohl hinsichtlich ihrer Modellmerkmale (u. a. nach Stachowiak 1973) als auch der angewandten Modellier- und CT-Kompetenzen reflektiert.

Als zweite einführende praktische Tätigkeit erhalten die Studierenden den Auftrag, im Kontext des Vertical Farmings Aus- und Voraussagen über Zusammenhänge zwischen Faktoren wie Beleuchtung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und weiteren möglichen Umweltgrößen innerhalb dieses Ökosystems zu treffen. Ziel ist es, daran den Fokus auf den Umgang mit Daten zu legen, der vor allem für das Erstellen von (mathematischen) Modellen zur Voraussage von Phänomenen oder einer Skalierung kleinerer Beobachtungen auf größere Situationen nötig ist. Doch auch für CT ist der Umgang mit Daten und insbesondere das Erfassen von Daten wichtig, weshalb die Studierenden in diesem Themenblock mit einem Microcontroller und zugehörigen Sensoren arbeiten.

Zu erwähnen ist, dass im Vergleich zur ersten Planung und Durchführung des Seminarkonzepts die ‚Perspektive' auf die vorgestellten Tools (Scratch und Microcontroller) verändert wurde. Während in der ersten Konzeption noch die Tools als inhaltsleitendes Element verstanden wurden, ist nun der Fokus auf die Rolle und Aufgabe von Modellen gelegt worden. Die Tools sollen den Studierenden dabei als Mittel der Wahl zur Förderung von Modellier- *und* CT-Kompetenz dienen. Scratch dient zur Umsetzung von Animationen und Simulationen und der Microcontroller ist das notwendige Werkzeug, um Daten für ein mathematisches Modell zu generieren.

Die Studierenden nutzen ihre nun erworbenen grundlegenden Fähigkeiten, um sie in einem vorgegebenen Beispielprojektrahmen zu vertiefen. Dabei erarbeiten sie sich ein Modell ihrer Wahl (entweder Animation/Simulation mit Scratch oder datenbasiertes Modell zu Voraussage) im Kontext von Umwelteinflüssen auf den CO_2-Abbau von Pflanzen. Hierfür können die Studierenden ein ‚Mini-Ökosystem' in einer Kunststoffkiste nutzen, um relevante Daten zu erfassen. Oder sie fokussieren bspw. auf eine submikroskopische Erklärung des Gasaustausches an der Blattoberfläche mithilfe von Scratch. Ziel ist es, die Studierenden zunächst in einem vorgegebenen Rahmen den Modellierprozess erleben zu lassen. Ihre Ergebnisse und eine kurze Reflexion über das Modell sowie die Verbindung der theoretischen Konstrukte werden nach dieser Arbeitsphase im Seminar diskutiert, um die Studierenden auf die dann folgende eigene Projektphase vorzubereiten. In diesem Projekt wählen die Studierenden selbstständig ihr zu modellierendes Phänomen bzw. Problem, setzen eine Lösung mit dem Tool ihrer Wahl um und bereiten dies in einer Unterrichtsidee auf.

Kevin Kärcher (2026): Verknüpfung von Computational Thinking und Modellieren für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 84-98. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Ein beispielhafter Seminarplan und Vorschläge für Arbeitsaufträge in den einzelnen Seminarphasen finden sich im Zusatzmaterial[1].

Die Besonderheit an der abschließenden Projektphase ist, dass das ‚Produkt' der Phase auf einer kleinen Fachtagung in einem Workshop für interessierte Lehrkräfte, Studierende und Kolleg*innen vorgestellt und diskutiert werden soll. So erhalten die Studierenden die Möglichkeit ihre Ideen praktisch umzusetzen und gleichzeitig Feedback von Lehrkräften zu erhalten.

4 Evaluation

4.1 Fragestellung

Um einerseits einen Eindruck über die subjektiven Erfahrungen und Entwicklungen der Studierenden während des Semesters zu erhalten andererseits aber auch mögliche Verbesserungsbedarfe identifizieren zu können, wurde nach beiden Seminarzyklen ein reflexives Gruppeninterview durchgeführt.

Daraus ergeben sich zentral zwei Fragestellungen:

1. Welche Schwerpunkte des Seminars empfinden die Studierenden als belastend oder zu schwierig?
2. Identifizieren die Studierenden individuelle Entwicklungen, die durch das Seminar ausgelöst wurden?

4.2 Methodik

Beide Interviews wurden mit der gesamten Gruppe in der letzten Seminarsitzung durchgeführt. Nach dem Sommersemester 2023 nahmen alle neun angemeldeten Studierenden teil, nach dem Sommersemester 2024 alle fünf angemeldeten Studierenden. Vorbereitet wurden Impulsfragen, um die Gruppendiskussion zu strukturieren, wobei sich entwickelnde Diskussionen innerhalb der Gruppe nicht direkt unterbrochen werden sollten, um aufschlussreiche Kritikpunkte und Entwicklungen der Studierenden ebenfalls erkennen zu können. Das Abschlussinterview im Jahr 2023 dauerte ca. 60 Minuten, im Sommer 2024 ca. eine dreiviertel Stunde. Die aufgezeichnete Audiodatei wurde mittels noScribe (Dröge 2025) transkribiert und eigenhändig korrigiert sowie anonymisiert.

Die Auswertung erfolgt explorativ mittels strukturierender qualitativer Inhaltsanalyse nach (Kuckartz & Rädiker 2022) und der Software MAXQDA, wobei ein besonderer Augenmerk auf die Bildung von Kategorien anhand des Materials gelegt wurde, um die persönliche Wahrnehmung der Studierenden abbilden zu können.

4.3 Ergebnisse

Bevor anhand zentraler Interviewpassagen die persönlichen Einstellungen und wahrgenommenen Entwicklungen beschrieben werden, sollen die herausgearbeiteten Kernaussagen der Inhaltsanalyse in tabellarischer Form dargestellt werden.

1 Link zum Zusatzmaterial: https://doi.org/10.25625/H4NFIZ

Kevin Kärcher (2026): Verknüpfung von Computational Thinking und Modellieren für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 84-98. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Tabelle 1: Zentrale Erkenntnisse aus den Kategorien

Kategorie	**Zentrale Erkenntnis**
Stressempfinden durch Seminarinhalte und -struktur	Die Kombination aus neuen Inhalten und Anforderung im Seminar führte bei den Studierenden zunächst zu einen Stressempfinden und Unsicherheiten. Belastend empfand besonders die erste Gruppe die kurze Einarbeitungsphase in die digitalen Tools zu Modellierung. Durch verbesserte Einführungsvideos konnte dieses Empfinden für die zweite Durchführung verbessert werden.
Konfrontation des Modellverständnisses	Die intensive aktive Auseinandersetzung mit dem (naturwissenschaftlichen) Modellbegriff führte dazu, die meist mediale Sichtweise auf Modelle aufzubrechen. Im Modellierungsprozess erkannten die Studierenden, dass Modelle vor dem Hintergrund der getroffenen Annahmen und ihrem Nutzen gesehen werden müssen und kein perfektes Abbild der Realität darstellen.
Methode erleben	Problemorientiertes, praktisches Lernen ermöglichte den Studierenden ihre individuellen Lösungswege auszuprobieren und Unsicherheiten zuzulassen. Durch eine von den Studierenden selbst wahrgenommene positive Fehlerkultur erlebten sie zudem Selbstwirksamkeit trotz verschiedener Fehler und Unsicherheiten im Umgang mit den digitalen Tools.

Stressempfinden durch Seminarinhalte und -struktur

Zunächst wird auf die Aussagen der Studierenden in der ersten Durchführung fokussiert, da hieran diejenigen Stellen des Seminars identifiziert werden können, die grundsätzlich durch die Planung und die Struktur der Lehrveranstaltung Belastung bei den Studierenden ausgelöst haben.

Sehr eindeutig äußerten die Studierenden dabei die Bekanntgabe der Studienleistung, die Entwicklung eines Produkts (eine Unterrichtsidee, -Einheit oder Planung von Projekttagen), das die beiden zentralen Konstrukte des Seminars verbindet. Dieses Produkt sollte dann für interessierte Lehrkräfte in einem Workshop aufbereitet und an einem Fachtag vorgestellt werden. Die Studierenden des ersten Durchgangs äußerten in der Abschlussdiskussion, dass dieses Projekt zunächst sehr belastend wahrgenommen wurde:

> *„Ich glaube, das lag auch ein bisschen an diesem, wir machen dann noch ein Projekt, aber wir wussten nicht, was wird das Projekt und ich war mir nicht sicher, muss ich jetzt alle, ähm, Programme beherrschen, also, muss mein Projekt alles umfassen" (Student*in 08 Abschlussinterview SoSe23, Pos. 21)*

Hintergrund hiervon könnte der zum größten Teil erstmalige Kontakt der Studierenden mit Computational Thinking und den thematisierten Tools sein. Somit war zu Beginn des Seminars individuell noch nicht abzuschätzen, in welchem Umfang diese neuen Inhalte umgesetzt werden müssen. Die Studierenden wurden also zu Beginn des Seminars mit einer Studienleistung konfrontiert, für deren erreichen sie noch keinerlei Anknüpfungspunkte an Vorwissen oder Erwartungen an zu Lernendes hatten. Ebenjene Unsicherheit wird auch in der inhaltlichen bzw. praktischen Auseinandersetzung mit den Lerninhalten deutlich. Studierende äußerten hierzu, im weiteren Verlauf des Seminars die ‚Kennenlernphasen' zu den jeweiligen Tools als zu kurz empfunden zu haben:

> *„Wenn man sich gerade so gefühlt hat, jetzt hat man es so grob verstanden, und dann kam schon wieder das Nächste." (Student*in 03 Abschlussinterview SoSe23, Pos. 16)*

Dem hinzuzufügen ist, dass den Studierenden zur Vorbereitung auf die jeweiligen Tools einführende Videos zur Verfügung gestellt wurden. Mit deren Hilfe konnten sie sich mit den grundlegenden Funktionsweisen der Tools vertraut machen und sollten dann eine vorbereitende Aufgabe bearbeiten. Dies trug maßgeblich zu einer guten Vorbereitung der Seminarsitzungen bei. Zur inhaltlichen Unsicherheit mischte sich zeitweilig auch eine Unterschätzung der Komplexität, besonders im Bereich Scratch. Durch den blockbasierten Zugang vermittelt dieses Tool aus Sicht mancher Studierenden eine gewisse Einfachheit, die sicherlich im Verständnis der Programmierung gegeben ist, allerdings die zu erfüllende Aufgabe nicht weniger anspruchsvoll machen muss. Dieser Reflexionsprozess setzte bereits während der Seminarzeit ein und wurde an verschiedenen Stellen im Abschlussinterview genannt:

> *„Ich habe es einfach unterschätzt, tatsächlich, ich dachte so, ja, okay, Scratch, blockbasiert programmieren, das kann jetzt eigentlich jeder, also es ist ja ein Kinderprogramm" (Student*in 04 Abschlussinterview SoSe23, Pos. 12).*

Insofern lässt sich hinsichtlich einer besseren Strukturierung und damit zur Beantwortung der ersten Fragestellung festhalten, dass die Studierenden zu Beginn des Seminars explizit darauf hingewiesen werden sollten, die Entwicklung der Projektidee nicht zu überstürzen. Nötige Kompetenzen zu erwerben, steht im Mittelpunkt der anstehenden Seminarzeit. Deutlich wird in Äußerungen aus dem Reflexionsgespräch der zweiten Durchführung, dass die Ausweitung der Sitzungen zur Tool-Erprobung und die bessere Verfügbarkeit der einführenden Videos dieses Stressempfinden und auch die inhaltliche Unsicherheit reduziert hat.

Konfrontation des Modellverständnisses

Vor allem in der Beschäftigung mit Modellen und dem anschließenden aktiven Modellieren zeigte sich für einige Studierende eine Konfrontation mit ihrem bisherigen Modellbegriff. Wenn bisher eine eher ‚mediale' Sichtweise auf Modelle vertreten wurde (also Modelle als Unterrichtsmedium um nicht sichtbare oder schlecht verfügbare Objekte zu verdeutlichen), kam durch das Seminar eine ‚erklärende' bzw. ‚erforschende' Sichtweise hinzu. Ob sich die Studierenden von der bisherigen Einstellung, Modelle entsprächen der Realität, lösen konnten bzw. können, bleibt offen. Allerdings finden sich in den Interviewmaterialien Hinweise darauf, dass ein Denkprozess bei diesen Studierenden angestoßen wurde:

> *„Ich fand es auch interessant, gerade für Bio, dass man nochmal von diesem Anschauungsmodell ein bisschen gedanklich wegkommt und merkt, […] man kann relativ viele Themen doch mit Modellieren verknüpfen." (Student*in 08 Abschlussinterview SoSe23, Pos. 80)*

Hieran zeigt sich, die zumindest im Rahmen des Seminars ergänzend eingenommene Perspektive auf den Modellbegriff. Diese stand jedoch dann auch im Konflikt zur bisherigen medialen Betrachtungsweise von Modellen. Die ‚Realität' möglichst exakt abzubilden war zu Beginn der Auseinandersetzung mit dem Modellbegriff das oberste Ziel. Dass jedoch Modelle auch ‚unvollständig' sein können und oft auch *müssen,* eröffnete den Studierenden ebendiese neue Perspektive. Dies zeigte sich dann auch in den entstandenen Produkten, in welchen die Studierenden bewusste Entscheidungen trafen und diese auch begründen konnten.

Methode erleben

> *„Einen Lernraum geben. Also sowohl den Lernenden als auch den Lehrenden. Und einfach mal auszuprobieren. Ich fand das mit dem […] Problemorientierten, das habe ich einfach selber gemerkt, wie ich das einfach motivierend fand, und das […] als Ermutigung, das auch in der Schule später mal auszuprobieren einfach." (Student*in 05 Abschlussinterview SoSe24, Pos. 89)*

Bei der Gestaltung des Seminars stand das problemorientierte Lernen besonders deshalb im Mittelpunkt, da Computational Thinking genau dies bedeutet. Zu jeder theoretischen Sitzung wurden Problemlöseaufgaben gestellt, in jeder praktischen Seminarsitzung gab es eine Problemstellung, die mittels der beiden Tools bearbeitet werden musste.

In verschiedenen Gesprächen auch außerhalb der Abschlussreflexion wurde deutlich, wie die Studierenden selbst diesen Zugang durchlebten, um eine Vorstellung für die mögliche Umsetzung im Unterricht ge-

winnen zu können. Auch anhand der entwickelten Vorgehensweisen über die gesamte Seminarzeit hinweg zeigte sich dies: Während der Zugang zum Problem am Anfang des Seminars noch sehr eng und an einem Wunsch nach *einer* ‚richtigen' Lösung orientiert war, öffneten sich die Studierenden der Unsicherheit und der Möglichkeit, verschiedene Lösungsansätze zu verfolgen:

> *„Da passiert zumindest irgendwas. Und auch wenn irgendwas Falsches, was Falsches in Anführungszeichen passiert, kann man das ja eben noch ausdiskutieren. Woran ist das jetzt gescheitert? Was ist passiert? Was könnte man verbessern?" (Student*in 02 Abschlussinterview SoSe24, Pos. 87)*

Eng mit dem Erleben und Erlernen der Methode verknüpft ist das Empfinden von Selbstwirksamkeit. Vor allem implizit (selten explizit) wird von den Studierenden artikuliert, dass sie trotz der hohen Belastung durch neue Inhalte und Zugänge ihr Handeln als wirksam erleben konnten. Im Wechselspiel zwischen Frustration und Erfolg konnten die Studierenden auch anhand kleiner Fortschritte erkennen, wie ein Fehler nicht unbedingt zurückwirft oder an einer ‚fertigen' Lösung vertiefend weitergearbeitet werden kann:

> *„Ich glaube auch, diese Selbstwirksamkeitserfahrung war unheimlich groß hier. Immer dieses, man sitzt davor und denkt sich, um Gotteswillen wie soll denn das? Nein, keine Chance. Und dann fängt man mal an, so ein bisschen zu basteln und dann denke ich so, okay, das funktioniert ja irgendwie doch" (Student*in 04 Abschlussinterview SoSe23, Pos. 144)*

Diese Selbstwirksamkeitserfahrung könnte die Studierenden nochmal stärker dazu bewegen, jene Methoden und Konzepte im eigenen Unterricht umzusetzen, wie auch an einer Stelle expliziert wird:

> *„Je öfter man damit arbeitet, also zum Beispiel mit dem Microcontroller, […] desto selbstsicherer wird man damit. Und je selbstsicherer man damit wird, desto mehr kann man sich vorstellen das im Unterricht einzusetzen. Und dass man damit dann selber so die Furcht verliert und selber dann Erfolgserlebnisse hat und dann überzeugt davon ist." (Student*in 05 Abschlussinterview SoSe24, Pos. 62)*

Hieran zeigt sich neben der empfundenen Steigerung in der Sicherheit auch ein selbsteingeschätzter Kompetenzzuwachs im Umgang mit den vorgestellten digitalen Tools sowie den zugrundliegenden theoretischen Konstrukten. An verschiedenen Stellen wird dieser selbstempfundene Lernfortschritt auch von anderen Studierenden artikuliert.

Um auf die zweite Frage einzugehen, welche Entwicklungen individuell identifiziert werden, lässt sich abschließend folgendes festhalten:

1. Die Studierenden setzen sich aktiv mit theoretischen Konstrukten wie dem Modellbegriff auseinandersetzen. Sie können dabei in einen konstruktiven Konflikt mit bisherigen Vorstellungen über Modelle geraten und ihre Vorstellung über sie erweitern.
2. Im praktischen Arbeiten erleben sie Selbstwirksamkeit, was den Studierenden nicht nur den Kompetenzzuwachs deutlicher macht, sondern sie auch Anknüpfungspunkte für die Schule entwickeln lässt.

4.3 Limitationen

Die hier vorgestellten Evaluationsergebnisse beziehen sich sehr konkret auf die beiden Durchführungen mit kleinen Seminargruppen. Insofern ist die Aussagekraft der Ergebnisse zu einer generellen Wirksamkeit des Ansatzes als eingeschränkt zu bewerten. Auch wenn die Studierenden individuelle Wahrnehmungen beschreiben, die nützlich für die Weiterentwicklung des Konzepts sind, bleibt der Nachweis einer (langfristigen) Kompetenzsteigerung offen. Ob sich dieser verbindende Ansatz positiver auf die Fähigkeiten der Studierenden auswirkt als die ‚getrennte' Förderung von Modellieren und CT, bleibt ebenfalls offen.

Außerdem stellen beide Seminargruppen in gewisser Weise eine ‚Positiv-Auswahl' dar: Die Teilnahme war erstens freiwillig und zweitens standen mehrere alternative Seminare für die Verrechnung im entsprechenden Modul zur Verfügung. Auch wenn in den Ergebnissen persönlich empfundene Herausforderungen verdeutlicht werden konnten, brachen die Studierenden die Teilnahme nicht ab und zeigten somit eine generelle Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit der Thematik. Wie sich das Seminarkonzept auf Studierende auswirkt, die CT oder generell digitalen Ansätzen kritisch gegenüberstehen, kann also nicht beantwortet werden.

5 Implikationen

Das hier vorgestellte Seminarkonzept ist bisher eher in den Naturwissenschaften angesiedelt gewesen. Deshalb sollen zunächst naturwissenschaftsdidaktische Implikationen diskutiert werden. Insbesondere für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften kann dieses Konzept eine Möglichkeit bieten, das Modellverständnis und die Modellierkompetenz von Studierenden anzusprechen. Einzelne Bausteine könnten beispielsweise an konkrete Modellthemen wie Simulationen und Animationen angegliedert werden. Mithilfe von Scratch naturwissenschaftliche Phänomene so umzusetzen, dass einzelne Parameter aktiv verändert werden können, ermöglicht den Lernenden wichtige Kernaspekte von Modellen selbst zu realisieren. Außerdem könnte so eine implizite Auseinandersetzung mit CT-Ansätzen geschehen, die wie bereits beschrieben, durch verschiedene Rahmenkonzeptionen ‚vorgeschrieben' sind.

Aber auch Aspekte der *Maker Education* können durch die hier skizzierte Verbindung von Modellieren und CT in die naturwissenschaftliche Lehramtsausbildung Einzug erhalten. In der *Maker Education* geht es besonders um möglichst freies ‚Tüfteln' und Ausprobieren, das Schaffen von Lösungen und Produkten mit digitalen und analogen Werkzeugen, sowie das problemorientierte Handeln von Lernenden (Ingold & Maurer 2021). Im Kern ebenjene Grundgedanken des CT. Knüpft man nun das Erfassen von Daten, als wichtigen Teil des Modellierens, an die Fertigung von Messwerkzeugen, bspw. mit Microcontrollern, so kann die Integration von *Maker Education* in naturwissenschaftliche Lehr-Lern-Kontexte ebenfalls gelingen.

Abseits der naturwissenschaftsbezogenen Zugänge bietet sich das hier vorgestellte Konzept auch an, über weitere Fachgrenzen hinaus zu denken. Die ausgewählten Problematiken im Seminar bieten auch die Möglichkeit gesellschaftswissenschaftliche Diskurse anzuschließen. Besonders die skizzierten Fragestellungen zum CO_2-Einfluss und zum Vertical Farming könnten den Studierenden Anknüpfungspunkte an Bildung für nachhaltige Entwicklung bieten. So setzte beispielsweise eine Studierendengruppe ihr Projekt im Themengebiet Wärmeentwicklung bzw. Hitzeschutz in Städten um. Abseits der naturwissenschaftlich-technischen Umsetzung des Modells und der Messwerterfassung, bietet diese Idee den Anlass zur Auseinandersetzung mit Strategien des eigenen Wohnortes und damit Anlass für gesellschaftliche und politische Diskussionen.

6 Diskussion und Ausblick

Das hier vorgestellte Seminarkonzept zeigt eine bespielhafte Lehrveranstaltung im Hochschulkontext zur Verbindung von Computational Thinking, eine Sammlung von zukunftsorientierten, digitalisierungsbezogenen Kompetenzen, und Modellieren, einem wichtigen Lerninhalt für naturwissenschaftliche Grundbildung. Ob und in welcher Weise das Konzept an anderen Hochschulen realisiert werden kann, hängt selbstverständlich von den gegebene Rahmenbedingungen ab. Deshalb ist ein Weiterentwicklungsziel, einzelne Bausteine des Seminarkonzepts auszukoppeln. Wie oben bereits angerissen, soll es Lehrenden dadurch möglich gemacht werden bspw. nur anhand des Themas Simulationen die Verbindung von CT und Modellieren aufzugreifen. Ein solcher Ansatz könnte auch für schulische Lernumgebungen von Interesse sein, da eine 13- bis 14-wöchige Auseinandersetzung mit der Thematik dort nicht möglich ist.

Zentral für das Seminarkonzept ist der Aufbau von CT- und Modellier-Kompetenz(en). Da insbesondere für CT Problemlösekompetenzen wichtig sind, schien eine Verbindung mit dem Modellieren als gewinnbringend bzw. schlüssig. Grundsätzlich kann das Konzept auf Hochschulebene, aber dann auch die Implikationen in der Schule, mit (fach)didaktischen Ansätzen des problembasierten Lernens (PBL) und modell-

Kevin Kärcher (2026): Verknüpfung von Computational Thinking und Modellieren für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 84-98. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

basierten Lernens (MBL) verglichen werden, um eine mögliche Wirksamkeit des Konzepts abschätzen zu können.

Die Studierenden hatten in jeder Arbeitsphase den Auftrag an einer Problemstellung zu arbeiten. Während diese Probleme zu Beginn noch eher geschlossener bzw. mit Hilfestellungen formuliert wurden, war das abschließende Projekt von der Problemfindung bis zur Lösung gänzlich in der Hand der Studierenden. Einzig die Gruppengröße entspricht nicht dem Ansatz, wie sie ihn Wilhelm und Brovelli (2009) beschreiben: Die Studierenden arbeiten im Seminar eher mit Partner*in bzw. in Kleingruppen (max. drei Personen) und nicht in größeren Gruppen mit bis zu zehn Personen.

Verschiedene Studien zeigen prinzipiell eine Wirksamkeit von PBL (Hmelo-Silver et al. 2007; Gijbels et al. 2005). Allerdings gab es hierzu bereits vor dem Hintergrund der kognitiven Belastung kontroverse Sichtweisen. So wurde kritisiert, dass eine zu unstrukturierte Vorgehensweise eher lernhinderlich sein kann (Sweller et al. 2007). Anhand der Interviewmaterialien kann nachvollzogen werden, dass die Studierenden an manchen Stellen eine gewisse Überforderung verspürt haben. Allerdings hat sich diese mit der Gewöhnung an die andere Arbeitsweise gelegt und sie haben den Prozess des Problemlösens positiv erlebt.

Louca und Zacharia (2012) beschreiben in ihrem Review, dass MBL in den genannten Kompetenzbereichen einen positiven Einfluss auf den Lernprozess haben kann. Allerdings weißen sie auch auf die zentrale Rolle der Lehrkraft hin: MBL muss gut geplant und durchgeführt werden. Insbesondere die Unterstützung der Lernenden im Lernprozess ist eine wichtige Aufgabe. Daraus schließen sie, dass Lehrkräfte in diesem Bereich professionalisiert sein müssen.

Zu dieser Professionalisierung im modell- bzw. problembasierten Lernen versucht dieses Seminarkonzept einen Beitrag zu leisten. Ob ein messbarer Kompetenzzuwachs durch dieses Konzept stattfindet und vor allem ob die Studierenden diesen Ansatz in der Schule umsetzen, bleibt bisher offen. Allerdings deuten die genannten Studien zu den gut ausgearbeiteten Ansätzen PBL und MBL darauf hin, dass das vorgestellte Seminarkonzept einen positiven Einfluss haben könnte.

Neben diesen Kompetenzen war es ebenfalls ein Ziel, digitalisierungsbezogenen Kompetenzen und Computational Thinking zu fördern. Auch hier konnten bisher keine belastbaren Daten zu einem Wissenserwerb bzw. Kompetenzzuwachs erhoben werden. Allerdings lässt sich anhand der eigenständigen Projektentwicklung der Studierenden vermuten, dass zumindest im direkten Anschluss an das Seminar Kompetenzen im informatischen Bereich vorhanden sind/waren. Sie führten ein eigenes Projekt durch und konnten ihre Ideen strukturiert auf einem Fachtag präsentieren. Inwiefern auch diese Ansätze nachhaltig in der Schule umgesetzt werden, muss weiter untersucht werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das vorgestellte Konzept versucht einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Hochschullehre im naturwissenschaftlichen Lehramt zu leisten. Über die Wirksamkeit des Ansatzes lassen sich noch keine belastbaren Aussagen treffen. Ein Vergleich mit bestehender Literatur zu didaktisch ähnlichen Ansätzen legt dies allerdings nahe. Ebenso konnten reflexive Gruppeninterviews mit den Studierenden eine positive Auseinandersetzung mit der Thematik aufzeigen.

Förderhinweis

Die Entwicklung des Seminarkonzepts wurde von 2022 bis 2024 im Rahmen des Kollegs Didaktik:digital durch die Joachim Herz Stiftung gefördert.

Kevin Kärcher (2026): Verknüpfung von Computational Thinking und Modellieren für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 84-98. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Literatur

Biggs, J. B. & Tang, C. S.-k. (2007): *Teaching for quality learning at university. What the student does* (3. Aufl.). Maidenhead: McGraw-Hill Open Univ. Press (SRHE and Open University Press Imprint).

Blum, W. & Leiß, D. (2005): Modellieren im Unterricht mit der „Tanken"-Aufgabe. *Mathematik lehren, 128*, S. 18-21.

CSTA (Computer Science Teachers Association)/ISTE (International Society for Technology in Education) (2011): *"Computational Thinking. Leadership toolkit"*. cdn.iste.org/www-root/2020-10/ISTE_CT_Leadership_Toolkit_booklet.pdf (Abfrage 25.04.2022).

Dröge, K. (2025): *"noScribe. AI-powered Audio Transcription. Version 0.6"*. www.github.com/kaixxx/noScribe (Abfrage: 15.02.2025).

Eickelmann, B., Fröhlich, N., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M. & Vahrenhold, J. (2024): *ICILS 2023 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking von Schüler*innen im internationalen Vergleich.* Münster, New York: Waxmann. https://doi.org/10.31244/9783830999492

Gesellschaft für Informatik (2024): *„Lehrkräfte: Weiterbildung als Motor für Informatik. Ergebnisse zum Informatikunterricht im Informatik-Monitor 2024/25"*. informatik-monitor.de/2024-25 (Abfrage: 01.12.2025).

Gijbels, D., Dochy, F., van den Bossche, P. & Segers, M. (2005): Effects of Problem-Based Learning: A Meta-Analysis From the Angle of Assessment. *Review of Educational Research, 75*(1), S. 27-61. https://doi.org/10.3102/00346543075001027

Gilbert, J. K. & Justi, R. (2016): *Modelling-based Teaching in Science Education*. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3

Göhner, M. & Krell, M. (2021): Was ist schwierig am Modellieren? Identifikation und Beschreibung von Hindernissen in Modellierungsprozessen von Lehramtsstudierenden naturwissenschaftlicher Fächer. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 27*(1), S. 155-180. https://doi.org/10.1007/s40573-021-00131-4

Goldhausen, I. (2015): *Mathematische Modelle im Chemieunterricht.* Dissertation. Universität Kassel.

Graulich, N., Arnold, J., Sorge, S. & Kubsch, M. (Hrsg.) (2024): Lehrkräftebildung von morgen. Münster, New York: Waxmann. https://doi.org/10.31244/9783830997962.01

Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2007): Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist, 42*(2), S. 99-107. https://doi.org/10.1080/00461520701263368

Ingold, S. & Maurer, B. (2021): *Making im Schulalltag. Konzeptionelle Grundlagen und Entwicklungsschritte.* München: kopaed.

Kaiser, G., Blum, W., Borromeo Ferri, R. & Greefrath, G. (2015): Anwendungen und Modellieren. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 357-383). Berlin, Heidelberg. Springer.

Kärcher, K., Winkelmann, J., Kasper, L. & Körner, H.-D. (2024): Computational Thinking und Modellieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. In N. Graulich, J. Arnold, S. Sorge & M. Kubsch (Hrsg.), *Lehrkräftebildung von morgen* (S. 301-307). Waxmann.

Krüger, D., Kauertz, A. & Upmeier zu Belzen, A. (2018): Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.*), Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 141-157). Berlin, Heidelberg: Springer.

Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022): *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Grundlagentexte Methoden* (5. Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz Juventa.

Kultusministerkonferenz (2016): *„Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz"*. www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf (Abfrage: 26.04.2022).

Kultusministerkonferenz (2021): *„Lehren und Lernen in der digitalen Welt. Die ergänzende Empfehlung zur Strategie „Bildung in der digitalen Welt" "*. www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2021/2021_12_09-Lehren-und-Lernen-Digi.pdf (Abfrage: 12.05.2022).

Kevin Kärcher (2026): Verknüpfung von Computational Thinking und Modellieren für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 84-98. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Lim, T. (2023): Problem-Based Learning: Benefits, Challenges, and the Way Forward. In K. Heng, K. Sol, S. Kaing & S. Em (Hrsg.), *Innovations and challenges in Cambodian education: Youth's perspectives* (S. 21-36). https://doi.org/10.62037/cef.book.2023.09.05

Lodi, M. (2020): Informatical Thinking. *Olympiads in Informatics ,14*, S. 113-132. https://doi.org/10.15388/ioi.2020.09

Louca, L. T. & Zacharia, Z. C. (2012): Modeling-based learning in science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review, 64*(4), S. 471-492.

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2024): *„JIM-Studie 2024 – Jugend, Information, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-jähriger".* mpfs.de/studie/jim-studie-2024/ (Abfrage: 31.01.2025).

Nerdel, C. (2017): *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik. Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule.* Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

Papert, S. (1980): *Mindstorms. Children, computers, and powerful ideas.* New York: Basic Books.

Polya, G. (1957): *How to solve it* (2. Aufl.). Princeton: University Press.

Reiners, C. S. (2017): *Chemie vermitteln.* Berlin, Heidelberg: Springer.

Senkbeil, M., Eickelmann, B., Vahrenhold, J., Goldhammer, F., Gerick, J. & Labusch, A (2019): Das Konstrukt der computer- und informationsbezogenen Kompetenzen und das Konstrukt der Kompetenzen im Bereich ‚Computational Thinking´ in ICILS 2018. In B. Eickelmann, W. Bos, J. Gerick, F. Goldhammer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senkbeil & J. Varenhold (Hrsg.), *ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking.* Münster: Waxmann. https://doi.org/10.25656/01:18166

Stachowiak, H. (1973): *Allgemeine Modelltheorie.* Wien, New York: Springer.

Sweller, J., Kirschner, P. & Clark, R. (2007): Why Minimally Guided Teaching Techniques Do Not Work: A Reply to Commentaries. *Educational Psychologist, 42*(2), S. 115-121. https://doi.org/10.1080/00461520701263426

Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010): Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 16*, S. 41-57. https://doi.org/10.25656/01:31676.

Upmeier zu Belzen, A., van Driel, J. & Krüger, D. (2019): Introducing a Framework for Modeling Competence. In A. Upmeier zu Belzen, D. Krüger & J. van Driel (Hrsg.), *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (S. 3-19). Cham: Springer International Publishing.

Wilhelm, M. & Brovelli, D. (2009): Problembasiertes Lernen (PBL) in der Lehrpersonenbildung: Der Drei-Phasen-Ansatz der Naturwissenschaften. *Beiträge zur Lehrerbildung, 27*(2), S. 195-203. https://doi.org/10.25656/01:13720

Wing, J. (2006): Computational Thinking. *Communications of the ACM, 49*(3), S. 33-35. https://doi.org/10.1145/1118178.1118215

Zhang, H., Su, S., Zeng, Y. & Lam, J. F. I. (2022): An Experimental Study on the Effectiveness of Students' Learning in Scientific Courses through Constructive Alignment – A Case Study from an MIS Course. *Education Sciences, 12*(5), S. 337-352. https://doi.org/10.3390/educsci12050338



Kevin Kärcher (2026): Verknüpfung von Computational Thinking und Modellieren für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 84-98. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Hildesheim: Universitätsverlag Hildesheim.

Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein
Dr. Larissa Hahn; Universität Göttingen, Fakultät für Physik, Physik und ihre Didaktik, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen
Dr. Matthias Schweinberger; Gymnasium Tegernsee, Schlossplatz 1c, 83684 Tegernsee
Prof. Dr. Pascal Klein; Universität Göttingen, Fakultät für Physik, Physik und ihre Didaktik, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen

Zusammenfassung

Demonstrationsexperimente sind ein zentraler Bestandteil des Physik- und Naturwissenschaftsunterrichts, ihre Präsentation bereitet (angehenden) Lehrkräften jedoch häufig Schwierigkeiten. Das hier vorgestellte unterrichtsbezogene Experimentierpraktikum zielt daher auf die Förderung der Präsentations- und Moderationskompetenzen von Physiklehramtsstudierenden. Im Zentrum stehen stumme Experimentiervideos, d. h. Videos ohne Tonspur zu verschiedenen Schlüsselexperimenten der Sekundarstufe II, die zur Reflexion eines lernwirksamen, aufmerksamkeitsaktivierenden Versuchsaufbaus sowie der sprachlichen Moderation genutzt werden. Die Lehrveranstaltung folgt einer dreiphasigen Struktur, die eine separate Fokussierung einzelner Kompetenzen mit sukzessiver Hinführung zum schulischen Anwendungsszenario, d. h. der freien Demonstration des Experiments, ermöglicht. Zunächst vertonen Studierende vorgegebene „stumme Videos", dann erstellen sie diese selbst und vertonen sie anschließend und zuletzt nehmen sie eine individuelle Demonstration eines Experiments auf Video auf. Zur Steigerung des Praxisbezugs kommt Eye-Tracking-Feedback zum Einsatz: Die von Studierenden erstellten Videos werden Schulklassen präsentiert, das Blickverhalten der Lernenden wird erfasst und qualitativ ausgewertet. Dies ermöglicht eine evidenzbasierte Reflexion über Aufbau, Präsentation und Moderation.

Das Experimentierpraktikum wurde im Master of Education Physik an der Universität Göttingen über drei Wintersemester hinweg durchgeführt (WiSe 22/23 bis 24/25, $N = 30$). Eine forschungsgeleitete Evaluation zeigt eine signifikante Zunahme der Selbstwirksamkeitserwartungen von Semesterbeginn zu Semesterende. Außerdem indizierten die Studierenden eine hohe wahrgenommene Relevanz der Lehrveranstaltung sowie einen hohen wahrgenommenen Nutzen von stummen Videos und Eye-Tracking-Feedback für die (Physik-)Lehrkräftebildung. In diesem Beitrag werden diese sowie weitere Ergebnisse der Evaluation hinsichtlich Implikationen für die Physik- sowie Naturwissenschaftslehrkräftebildung diskutiert.

Schlüsselwörter:
Lehrkräftebildung, Demonstrationsexperiment, Eye-Tracking-Feedback, stumme Videos, Experimentierpraktikum

Abstract

Demonstration experiments are a central component of physics and science education; however, their effective presentation often poses challenges for (pre-service) teachers. The teaching-related experimental

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

lab course presented here aims to foster pre-service physics teachers' competencies in presenting and moderating demonstration experiments. At the core of the course are silent experiment videos – i.e., videos without audio – showing key experiments from upper secondary physics education. These videos are used to support reflection on effective, attention-guiding experimental setups as well as on the verbal moderation of demonstrations. The course follows a three-phase structure, enabling a focused development of individual competencies and a gradual progression toward the school-based application scenario, namely the free demonstration of an experiment. First, students add audio to provided silent videos; next, they create their own "silent videos" and add narration; and finally, they record an individual demonstration of an experiment on video.
To enhance practical relevance, the course integrates eye-tracking feedback: the experiment videos created by the students are presented to school classes, and the students' gaze behavior is recorded and qualitatively analyzed. This provides an evidence-based foundation for reflecting on experimental setup, presentation, and moderation.
The lab course was implemented within the Master of Education in Physics program at the University of Göttingen over three consecutive winter semesters (WiSe 22/23 to 24/25, $N = 30$). A research-based evaluation indicates a significant increase in students' self-efficacy from the beginning to the end of the semester. Furthermore, participants reported a high perceived relevance of the course for classroom practice, as well as a strong perceived benefit of using silent videos and eye-tracking feedback in teacher education. This article discusses these and additional evaluation results with respect to their implications for physics and science teacher education.

Key Words:
teacher education, demonstration experiment, eye-tracking feedback, silent videos, experimental lab course

1. Einleitung

Experimente gelten als unverzichtbarer Bestandteil eines anschaulichen und kompetenzorientierten Physik- und Naturwissenschaftsunterrichts. Experimentalpraktika im Studium, in denen angehende Lehrkräfte experimentelle Kompetenzen erwerben, sind daher obligatorisch. Allerdings erfolgen diese Praktika meist im Kontext fachwissenschaftlicher Ausbildung und adressieren nur selten die spezifischen Anforderungen schulischer Lehr-Lern-Prozesse. Die damit einhergehende strukturelle Trennung von Fachwissenschaft und Fachdidaktik wird seit Längerem kritisch diskutiert (Schecker & Ralle 2009). So ist ein zentraler Bedingungsfaktor für erfolgreiches Unterrichten nicht nur eine umfangreiche, sondern vor allem eine vernetzte Wissensbasis, die eine kumulative Integration von Fachwissen und fachdidaktischem Wissen beinhaltet (Baumert & Kunter 2011). Vor diesem Hintergrund rücken lehramtsspezifische Experimentierpraktika zunehmend in den Fokus der Naturwissenschaftsdidaktiken, da sie eine Brücke zwischen fachlichem Verständnis und didaktischer Umsetzung schlagen können (Andersen 2020; Sorge et al. 2024). Andersen (2020) zeigt exemplarisch im Rahmen eines Wirkmodells den positiven Einfluss des Einsatzes schultypischer Experimentiermaterialien, der Anbindung an das Fachcurriculum und der Integration fachdidaktischer Reflexionsimpulse auf die Lernwirksamkeit eines adressatenspezifischen Experimentierpraktikums.

Mit Blick auf die professionsbezogene Perspektive des Lehramtsstudiums spielen vor allem die Selbstwirksamkeitserwartungen und die wahrgenommene Relevanz in Bezug auf den späteren Lehrberuf eine zentrale Rolle bei der Analyse der Lernwirksamkeit derartiger Experimentierpraktika. So gilt die wahrgenommene Relevanz einer Lehrveranstaltung als zentraler Moderator für das situationale Interesse von Lernenden (Andersen 2020). In Anlehnung an die Bedeutungsebenen wahrgenommener Relevanz von Stuckey et al. (2013) kann diese im Kontext der experimentellen Lehramtsausbildung als wahrgenommene Relevanz in Bezug auf die spätere berufliche Tätigkeit, d. h. die Lehrpraxis, konkretisiert werden (Andersen 2020). In der universitären Lehramtsausbildung zeigt sich, dass Lehramtsstudierende häufig keinen klar ersichtlichen Bezug zu ihrer zukünftigen Lehrtätigkeit sehen, was die Lernmotivation und damit auch die Lernleistung negativ beeinflussen kann (Woitkowski 2017). Umso wichtiger ist demnach eine adressatenspezifische Gestaltung von Lehrveranstaltungen im Lehramtsstudium, die möglichst einen hohen Praxisbezug aufweist.

Neben der wahrgenommenen Relevanz stellen vor allem die Selbstwirksamkeitserwartungen bzgl. der Unterrichtspraxis eine einflussreiche motivationale Variable im Kontext des kompetenten Handelns von Lehrkräften dar (z. B. Baumert & Kunter 2006; Tschannen-Moran et al. 1998). Nach Schwarzer und Jerusalem (2002) beschreiben Selbstwirksamkeitserwartungen das persönliche Vertrauen darauf, herausfordernde oder neue Situationen aus eigener Kraft und mit den vorhandenen Fähigkeiten erfolgreich bewältigen zu können. In Bezug auf das Experimentieren können sie daher als ein spezifisches Maß für den Lernerfolg von Lehramtsstudierenden im Experimentierpraktikum dienen und so Hinweise auf ihre experimentellen Kompetenzen sowie motivationale Faktoren geben (Andersen 2020).

Für bestehende Experimentalpraktika zeigte sich, dass vor allem eine hohe wahrgenommene Praktikumsqualität die Selbstwirksamkeitserwartungen von Physiklehramtsstudierenden beim Planen und Durchführen von Experimenten im Physikunterricht positiv beeinflussen konnte ($N = 105$; Sorge et al. 2024). Die Implementation lehramtsspezifischer Praktikumsversuche, d. h. Versuche mit schultypischen Experimentiermaterialien und einer konkreten Anbindung an das Fachcurriculum sowie die Integration fachdidaktischer Reflexionsimpulse, sorgte für eine Erhöhung der Praktikumsqualität und erzielte so eine hohe wahrgenommene Relevanz der Lehrveranstaltung durch Physiklehramtsstudierende (Andersen 2020). Diese wirkte sich wiederum positiv auf die Selbstwirksamkeitserwartungen bezogen auf das Planen und Durchführen von Experimenten im schulischen Physikunterricht aus.

Eine zentrale experimentelle Komponente des naturwissenschaftlichen Schulunterrichts ist die Durchführung von Demonstrationsexperimenten, d. h. die Präsentation und Moderation von Experimenten vor der Schulklasse. Vorangegangene Studien verdeutlichten, dass hierbei zahlreiche Herausforderungen für die Schüler*innen bestehen (Nehring & Busch 2018; Pusch et al. 2024; Schweinberger et al. 2023). Beispielsweise zeigten sie Schwierigkeiten, in experimentellen Aufbauten wichtige Aspekte von unwichtigen zu unterscheiden (Nehring & Busch 2018, Pusch et al. 2024), und rhetorische Fragen behinderten sie darin, präzise Beobachtungen eigenständig vorzunehmen (Schweinberger et al. 2017). Um Demonstrationsexperimente möglichst lernwirksam für Schüler*innen zu gestalten, empfehlen Pusch et al. (2024) beim Aufbau

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

die Gestaltprinzipien nach Schmidkunz (1983) zu berücksichtigen und die visuelle Aufmerksamkeit bei der Durchführung durch gezielte Beobachtungsaufträge zu lenken. Im Sinne einer wahrnehmungsaktivierenden Präsentation und aufmerksamkeitslenkenden Moderation von Experimenten sollten beispielsweise zusammengehörige Elemente klar gekennzeichnet, störende Hintergründe vermieden und überflüssige Details reduziert werden, da diese die kognitive Belastung der Betrachtung unnötig erhöhen können (seductive details effect; Sundararajan & Adesope 2020). Die Entwicklung der dafür erforderlichen Kompetenzen zur effektiven Durchführung von Demonstrationsexperimenten bei (angehenden) Lehrkräften erfordert umfangreiche Übung und Routine (Pusch et al. 2024; Schweinberger et al. 2023).

Vor dem beschriebenen Hintergrund präsentiert dieser Beitrag ein Konzept eines lehramtsspezifischen Experimentierpraktikums mit dem besonderen Fokus auf der Präsentation und Moderation von Demonstrationsexperimenten. Zur Förderung dieser Kompetenzen bei Lehramtsstudierenden integriert das Experimentierpraktikum stumme Experimentiervideos, d. h. Experimentiervideos ohne Tonspur, und Eye-Tracking-Feedback. Im Folgenden werden zunächst die theoretischen Grundlagen für die Verwendung beider Methoden in der MINT-Lehramtsausbildung dargelegt (s. Kap. 2). Die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) beschreibt dabei die theoretische Basis für die kognitive Verarbeitung von Demonstrationsexperimenten aufseiten der Schüler*innen und so im nächsten Schritt für die Formulierung von Empfehlungen zur Moderation dieser (s. Kap. 2.1-2.1.3). Stumme Experimentiervideos greifen aufseiten angehender Lehrkräfte zentrale Prinzipien der CTML auf und bieten eine wertvolle Lerngelegenheit zur Demonstration von Experimenten, indem sie ermöglichen, die Moderation von Experimenten isoliert zu trainieren (s. Kap. 2.1.4). Eye-Tracking, d. h. Blickdaten von Schüler*innen bei der Demonstration, unterstützen eine fortlaufende Optimierung der Moderation durch individualisiertes Feedback auf prozeduraler Ebene (s. Kap. 2.2).

Im Anschluss an die theoretische Fundierung erfolgt eine Vorstellung der Veranstaltungsstruktur des unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums (s. Kap. 3) sowie die Präsentation einer Evaluationsstudie zu den Selbstwirksamkeitserwartungen der Studierenden bezüglich der Durchführung von Demonstrationsexperimenten und der wahrgenommenen Relevanz der Lehrveranstaltung (s. Kap. 4 und 5).

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Stumme Experimentiervideos als Lerngelegenheit zur Moderation von Demonstrationsexperimenten

2.1.1 Kognitive Prozesse bei der Betrachtung von Demonstrationsexperimenten

Die Präsentation eines Demonstrationsexperiments lässt sich im Allgemeinen als multimediale Lernumgebung für Schüler*innen verstehen. Für die Rezipierenden, also die Lernenden, bedeutet dies, dass visuelle und auditive Reize simultan wahrgenommen und im Rahmen aktiver Wissenskonstruktion miteinander verknüpft werden müssen. Die zugrunde liegenden kognitiven Verarbeitungsprozesse lassen sich dabei insbesondere mithilfe der Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML; Mayer 2021a) beschreiben. Diese Theorie beruht auf drei zentralen Prinzipien des multimedialen Lernens (Mayer 2021a):

1. Multimediales Lernen erfolgt über getrennte visuelle und auditive Kanäle (*dual channel principle*).
2. Die Kapazität beider Kanäle ist begrenzt, sodass jeweils nur eine begrenzte Informationsmenge gleichzeitig verarbeitet werden kann (*limited capacity principle*).
3. Lernen ist ein aktiver, kognitiver Prozess, bei dem relevante Informationen aufgenommen, ausgewählt, in kohärente mentale Repräsentationen überführt und mit bestehendem Wissen verknüpft werden (*active processing principle*).

Lernende müssen aus den wahrgenommenen Informationen sowohl ein verbales als auch ein visuelles Wissensmodell konstruieren bzw. auf entsprechende Repräsentationen zurückgreifen können. Die Annahme eines aktiven kognitiven Lernprozesses hat dabei unmittelbare Konsequenzen für die Gestaltung multimedialer Inhalte – und somit auch für die Moderation von Demonstrationsexperimenten: Das dargebotene

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Material sollte (a) in sich kohärent strukturiert sein und (b) den Lernenden gezielt darin unterstützen, ein mentales Modell des gezeigten Versuchs zu entwickeln (Mayer 2021a).

2.1.2 Modalitätsprinzip und Steuerung der Aufmerksamkeit durch Cueing

Vor dem Hintergrund der CTML formulierte Mayer (2021b) das Modalitätsprinzip, dem zufolge gesprochene Texte beim Lernen mit visuellen Materialien – wie etwa Graphiken, Animationen oder Videos – wirksamer sind als schriftlich präsentierte Texte. In diesem Sinne empfehlen Castro-Alonso & Sweller (2021), visuelle Lerninhalte bevorzugt mit auditiven anstelle visueller Texte zu kombinieren. Studien zeigen, dass eine solche Kombination den sogenannten Split-Attention-Effekt, also die Aufteilung der Aufmerksamkeit auf mehrere Informationsquellen, verringern kann (Schmidt-Weigand et al. 2010). Die Effektivität des Lernens steigt, wenn Informationen über getrennte visuelle und auditive Kanäle aufgenommen und von den Lernenden aktiv miteinander verknüpft werden. Auf diese Weise entstehen stärkere Verbindungen zwischen Bild und Sprache als bei rein sprachlich präsentierten Inhalten (Mutlu-Bayraktar et al. 2022; Zhang et al. 2023). Für die Moderation von Demonstrationsexperimenten bedeutet dies, dass eine klar strukturierte, auditiv präsentierte Begleitung die Verarbeitung visueller Beobachtungen gezielt unterstützen kann: Die sprachliche Steuerung lenkt die Aufmerksamkeit der Lernenden auf relevante Aspekte des Experiments und erleichtert zugleich die Verknüpfung von Beobachtung und fachlicher Erklärung.

Im Hinblick auf die kognitive Verarbeitung von Informationen unterscheiden Katsuki & Constantinidis (2014) zwischen Bottom-up- und Top-down-gesteuerter Aufmerksamkeit. Bottom-up-Prozesse sind durch externe Reize ausgelöste, automatische Mechanismen, bei denen äußere Merkmale die Aufmerksamkeitslenkung bestimmen und die Auswahl relevanter Informationen ohne bewusste Steuerung erfolgt. Top-down-Prozesse hingegen basieren auf Vorwissen, bewussten Zielen und willentlichen Handlungsplänen. Hier erfolgt die Informationsverarbeitung aktiv, gesteuert durch selbst gewählte Relevanzkriterien (Addleman & Jiang 2019; Katsuki & Constantinidis 2014; Lingzhu 2003; Lupyan 2017). Beide Formen der Aufmerksamkeit führen dazu, dass ausgewählte Reize bevorzugt verarbeitet werden, was mit verstärkten neuronalen Reaktionen einhergehen kann, die wiederum eine verbesserte Gedächtnisspeicherung begünstigen (Pinto et al. 2013). Bei der Betrachtung von Demonstrationsexperimenten entsteht Top-down-Aktivierung durch die didaktische Einbettung in den Unterrichtskontext, während Bottom-up-Prozesse insbesondere durch gezielte verbale Hinweise angeregt werden.

Cues (engl.: Hinweise, Stichwörter) sind inhaltsfreie Signale, die zur Lenkung der Aufmerksamkeit dienen und kognitive Prozesse unterstützen (Hu & Zhang 2021). Durch diese Aufmerksamkeitssteuerung fördern sie das Verständnis relevanter Inhalte und erleichtern den Transfer des Gelernten (Luo et al. 2016). Lernende profitieren besonders dann von multimedialen Lernangeboten, wenn diese durch Cues ergänzt werden (Van Gog 2021). Zudem tragen Cues zur Reduktion kognitiver Belastung bei und steigern die Effizienz des Lernprozesses (Hu & Zhang 2021). Metaanalysen aus unterschiedlichen Forschungsfeldern belegen den positiven Effekt des Cueing-Prinzips, insbesondere bei Lernenden mit geringen Vorkenntnissen (Alpizar et al. 2020; Richter et al. 2016; Schneider et al. 2018). So wurde etwa festgestellt, dass Cues zu einer längeren Auseinandersetzung mit relevanten Inhalten und einer erhöhten Betrachtungsdauer führten (Schneider et al. 2018).

Obwohl Cues gemäß Definition keinen inhaltlichen bzw. semantischen Gehalt aufweisen sollten (Watzka et al. 2021), ist ein solcher in vielen klassischen Beispielen – wie etwa Beschriftungen – dennoch vorhanden. Bei der Präsentation von Demonstrationsexperimenten greifen Lehrkräfte zudem häufig auf Cues in Form von Zeige- und Deutegesten zurück, die in der Regel durch verbale Erläuterungen ergänzt werden. Damit weisen im Unterricht eingesetzte Cues nahezu immer auch eine verbal-semantische Komponente auf.

2.1.3 Empfehlungen für die Moderation von Demonstrationsexperimenten

Basierend auf der CTML (Kap. 2.1.1 und 2.1.2) entwickelte Schweinberger (2025) Empfehlungen für die Moderation von Demonstrationsexperimenten. Ausgangspunkt war die Frage, wie die Blicke der Schüler*innen gezielt auf bestimmte Bereiche eines Demonstrationsexperiments gelenkt und die Aufmerksamkeit dort gehalten werden könne. Daraus ließen sich einfache Regeln ableiten, mit deren Hilfe sich die visuelle Aufmerksamkeit der Lernenden gezielt steuern lässt. Verschiedene Studien weisen auf eine hohe Lernwirksamkeit dieses Ansatzes hin (Schweinberger 2025). Zentrales Prinzip einer gelungenen Moderation von

Demonstrationsexperimenten ist dabei die kognitive Aktivierung der Schüler*innen. Damit der Wahrnehmungsprozess im Sinne von Mayer (2021a) aktiv durchlaufen werden kann, müssen Lernende dazu angeregt werden, die intendierten Beobachtungen tatsächlich auszuführen.

Mayer (2021c) formuliert auf Grundlage des Modalitätsprinzips evidenzbasierte Gestaltungsprinzipien für effektive Lehrvideos. Diese Prinzipien wurden auf die spezifischen Anforderungen der Moderation von Demonstrationsexperimenten übertragen. Ziel ist es, die visuellen und verbalen Kanäle der Lernenden so zu nutzen, dass eine aktive kognitive Verarbeitung des Experiments ermöglicht wird, ohne dabei die Verarbeitungskapazität zu überfordern (Mayer 2021c, S. 230). Für die Gestaltung der Moderation von Demonstrationsexperimenten ergeben sich daraus folgende Grundempfehlungen:

- *Signalizing/Cueing*: Hervorhebung zentraler Elemente, wie z. B. Versuchsgeräte,
- *Kohärenz*: Verzicht auf überflüssige oder ablenkende Informationen,
- *zeitliche Kontiguität*: gleichzeitige Darbietung visueller und zugehöriger verbaler Inhalte,
- *Segmentierung*: Aufteilung komplexer Handlungsabläufe in nacheinander präsentierte Einheiten,
- *Pre-Training*: Aktivierung relevanten Vorwissens zu Begriffen und Merkmalen zentraler Konzepte,
- *Personalisierung*: Einsatz einer adressatenbezogenen Unterrichtssprache und direkter Ansprache der Schüler*innen,
- *Generative Aktivität*: Integration von Aufgaben, die generatives Lernen fördern.

2.1.4 Stumme Experimentiervideos als Lerngelegenheit

Bei sogenannten „stummen Videos“ handelt es sich um etwa zweiminütige Videoaufnahmen von Demonstrationsexperimenten ohne Tonspur (Schweinberger et al. 2023). Während das Rezipieren eines Demonstrationsexperiments auf den Grundlagen der CTML beruht, weshalb sich daraus Prinzipien für die Moderation ableiten lassen (Kap. 2.1.2), stellen stumme Videos eine Lernumgebung für angehende Lehrkräfte dar, die ebenfalls an zentrale Annahmen der CTML anknüpft. Da visuelle Informationen über einen eigenen Kanal verarbeitet werden und die Verarbeitungskapazität begrenzt ist (Mayer 2021a), ermöglicht das Fehlen einer auditiven Spur zunächst eine entlastete, ausschließlich visuelle Auseinandersetzung mit dem Experiment. Gleichzeitig entsteht eine Situation, in der die verbale Aufbereitung bewusst den Lernenden übertragen wird. Angehende Lehrkräfte müssen entscheiden, wann und wie verbale Erläuterungen eingesetzt werden, um den Aufbau eines kohärenten mentalen Modells des Versuchsgeschehens bei den Schüler*innen zu unterstützen.

Die Videos zeigen den Aufbau und die Durchführung eines Demonstrationsexperiments und präsentieren – im Sinne von worked examples – einen für den Unterricht optimierten Versuchsaufbau und -ablauf (Kirschner et al. 2006; Renkl 2023). Die Experimente basieren auf realen Unterrichtspräsentationen und werden mit gängigen Schulmaterialien durchgeführt. Jede Präsentation gliedert sich in eine Hinführung zum Aufbau sowie die Durchführung des Experiments. Diese Struktur findet sich auch in den stummen Videos wieder. Der erste statische Teil bietet eine Übersicht über den vollständigen Aufbau; dabei werden – soweit möglich – grundlegende Prinzipien der aufmerksamkeitslenkenden Gestaltung berücksichtigt (Pusch et al. 2024; Schmidkunz 1983). Die Videos vermitteln daher neben der exemplarischen Umsetzung der Gestaltprinzipien beim Experimentaufbau zudem fachliche Informationen zu Geräten, Materialien und deren Anordnung, die aus Schemazeichnungen oder Versuchsskizzen nur eingeschränkt ableitbar sind. Die anschließende Durchführung erfolgt in Echtzeit, wobei bewusst Pausen gesetzt werden, um Raum für die aktive Verarbeitung der Beobachtungen zu schaffen.

Im Fokus der späteren Vertonung steht der Einsatz verbaler Cues, die – im Sinne des Cueing-Prinzips – die Aufmerksamkeitslenkung unterstützen und die Verarbeitung relevanter Inhalte erleichtern (Glaser & Schwan 2015; Hu & Zhang 2021; Schneider et al. 2018). Während Top-down-Prozesse durch Vorwissen und Unterrichtskontext angeregt werden, können verbal formulierte Hinweise Bottom-up-Prozesse auslösen (Addleman & Jiang 2019; Katsuki & Constantinidis 2014). Die Arbeit mit stummen Videos ermöglicht es angehenden Lehrkräften somit, verschiedene Prinzipien der Aufmerksamkeitssteuerung, d. h. vor allem Signalizing/Cueing, Kohärenz, Segmentierung, gezielt auszuprobieren und deren Wirkung auf das Verstehen des Experiments zu reflektieren.

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Stumme Videos bieten vielfältige Lerngelegenheiten für angehende Lehrkräfte. Als worked examples (Kirschner et al. 2006; Renkl 2023) unterstützen sie die Auseinandersetzung mit zentralen Aspekten experimenteller Praxis im Unterricht. Die Moderation eines Demonstrationsexperiments anhand definierter Kriterien ermöglicht es den Studierenden, sich auf die sprachliche Begleitung des Experiments und die Steuerung der Aufmerksamkeit zu konzentrieren. Eine besondere Lerngelegenheit entsteht durch die eigenständige Gestaltung stummer Videos: Angehende Lehrkräfte müssen entscheiden, welche visuellen Informationen notwendig sind, wie der Versuchsaufbau kohärent präsentiert wird und wie komplexe Abläufe sinnvoll segmentiert werden können. Damit setzen sie Prinzipien der CTML (Kap. 2.1.1 und 2.1.2), der Gestaltgesetze nach Schmidkunz (1983) sowie Erkenntnisse zur Aufmerksamkeitslenkung (Kap. 2.1.3) nicht nur rezipierend, sondern produktiv um. Die Produktion eines stummen Videos erfordert eine vertiefte Auseinandersetzung mit Aufbau, Materialauswahl, Abfolge und didaktischer Struktur des Experiments und fördert so ein fundiertes Verständnis zentraler Prinzipien gelungener Experimentdemonstration.

Mit Blick auf die von Wolf und Kulgemeyer (2016) differenzierten Möglichkeiten videobasierten Lernens bieten stumme Videos somit wertvolle Lerngelegenheiten mehrerlei Art. Durch Rezeption und Vertonung stummer Videos können angehende Lehrkräfte von der Expertise und den Ansätzen der Videoproduzierenden beim Aufbau und der Durchführung der Experimente lernen und didaktische Ideen sammeln. Produzieren sie eigene stumme Experimentiervideos vertiefen sie ihr Wissen über die Demonstration von Experimenten und verknüpfen Fachwissen und Kommunikationskompetenz auf produktive Weise. Hier bietet sich zudem die Möglichkeit zum reflektierenden Sichten der eigenen Demonstrationsfähigkeiten im Zuge des Videoschnitts (Wolf & Kulgemeyer 2016).

2.2 Eye-Tracking als Feedbackmethode

Eye-Tracking, d. h. die Aufnahme und systematische Analyse von Blickbewegungen bei der Betrachtung eines Stimulus, wird in der Bildungsforschung zunehmend zur Analyse mentaler Prozesse verwendet, z. B. in der Lehr-Lern-Forschung (Lai et al. 2013) oder in der Physikdidaktik (Hahn & Klein 2022). In jüngerer Zeit wird Eye-Tracking darüber hinaus auch als Feedback-Instrument eingesetzt. So werden Augenbewegungsaufzeichnungen verwendet, um die Wirksamkeit der Gestaltung schulischer Lernmaterialien zu analysieren und zu optimieren (Langner et al. 2022; Lenzer & Nehring 2022). Beispielsweise entwickelten Lehramtsstudierende multimediale Lernmaterialien und reflektierten ihr Design anhand der Blickdaten von Schüler*innen bei der Betrachtung dieser Materialien (Langner et al. 2022).

Mussgnug et al. (2014) beschreiben, wie Eye-Tracking-Aufzeichnungen als Lehrwerkzeug genutzt werden, um Erfahrungen mit neu gestalteten Objekten besser zu reflektieren. Xenos und Rigou (2019) setzen Eye-Tracking im Bereich Human-Computer Interaction zur Förderung von Designkompetenzen ein. Die Blicke von Lehrkräften im Klassenzimmer sind ebenfalls Gegenstand verschiedener Studien: So untersuchten Miller et al. (2024) sowie McIntyre et al. (2022) das Blickverhalten von Lehrkräften in Videosequenzen mittels eingeblendeter Blickdaten. Minarikova et al. (2021) verwendeten mobile Eye-Tracking-Systeme, um das Blickverhalten von Lehrkräften im realen Unterricht zu analysieren.

Hansen et al. (2019) zeigen, wie Blickdaten des eigenen Blicks als Feedback-Instrument fungieren können. Szulewski et al. (2019) berichteten, dass Eye-Tracking-Feedback bei Notfallmediziner*innen in simulierten Übungen Selbstreflexion auslöste, die zu einer Optimierung ihres Handelns führte. Keller et al. (2022) untersuchten Unterschiede in der Wahrnehmung und Bewertung alternativer Unterrichtsstrategien bei erfahrenen und unerfahrenen Lehrkräften. Stickler und Shi (2017) zeigten, dass Videos mit eingeblendetem Blick („Gaze Overlayed Videos“) die Reflexion über Videoinhalte fördern.

Eine besonders innovative Form des Eye-Tracking-Feedbacks wird von Schweinberger et al. (2023) beschrieben. In ihrem Ansatz betrachten Schüler*innen stumme Experimentiervideos von Demonstrationsexperimenten, die von angehenden Physiklehrkräften vertont wurden. Die angehenden Lehrkräfte analysierten anschließend die aufgezeichneten Blickdaten der Schüler*innen (Schweinberger 2025). Dadurch wird die Wirkung ihrer verbalen Moderation auf die Aufmerksamkeit der Lernenden sichtbar. Eye-Tracking wird so zu einem wirksamen Werkzeug professioneller Unterrichtsentwicklung: *„Rückmeldungen zur Wirksamkeit ihres Unterrichts können Lehrpersonen […] helfen, ihre didaktischen Entscheidungen zu überdenken, sodass Feedback ein Instrument zur Entwicklung von Unterricht wird“* (Zierer et. al. 2019, S. 29 f.).

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Eye-Tracking-Feedback greift zentrale Prinzipien etablierter Feedback-Rahmentheorien auf. Es bietet individualisierte Rückmeldungen, die kognitive wie auch metakognitive Prozesse (Selbstregulation) anregen, und wirkt damit insbesondere auf der Prozessebene sowie der Ebene der Selbstregulation (Hattie & Timperley 2007; Wisniewski et al. 2020). Gegenüber aufgezeichneten Blickdaten-Vignetten zeichnet sich das beschriebene Vorgehen besonders dadurch aus, dass die Rückmeldung direkt auf der individuellen Experimentdemonstration basiert und Studierende gezielt zur Reflexion ihrer eigenen Aufmerksamkeitslenkung anregt.

Im Gegensatz zu etablierten Feedbackmethoden bietet Eye-Tracking-Feedback eine stärker datenbasierte Perspektive auf Lernprozesse. In der Lehrkräftebildung erfolgt Feedback traditionell überwiegend in Form mündlicher oder schriftlicher Rückmeldungen durch Lehrende oder Peers (Okumu et al. 2025). Während schriftliches Feedback vor allem strukturierte und wiederholbare Reflexion ermöglicht, zeichnet sich mündliches Feedback durch Unmittelbarkeit und dialogische Interaktion aus. Obwohl digitale Technologien grundsätzlich neue Möglichkeiten für individualisierte Feedbackprozesse eröffnen, wird ihr Potenzial in der Lehrkräftebildung bislang nur begrenzt genutzt (Okumu et al. 2025). Die eingesetzten Technologien beschränken sich zudem meist auf vergleichsweise niedrigschwellige Werkzeuge wie E-Mail-basierte Rückmeldungen oder Video-Annotationstools zur zeitlich versetzten Kommentierung von Unterrichtsvideos (Lyon et al. 2023). Komplexere Systeme, etwa simulationsbasierte Lernumgebungen oder KI-gestützte Feedbackplattformen, werden bislang nur vereinzelt eingesetzt (Bondie & City 2024).

Ein besonderer Mehrwert von Eye-Tracking gegenüber bestehenden Methoden liegt darin, dass es eine direkte Visualisierung der Aufmerksamkeitsverteilung von Lernenden ermöglicht. Dadurch erhalten angehende Lehrkräfte evidenzbasierte Hinweise darauf, wie ihre Moderation tatsächlich auf die visuelle Aufmerksamkeit der Schüler*innen wirkt und welche Aspekte eines Demonstrationsexperiments wahrgenommen oder übersehen werden (Schweinberger et al. 2023). Diese Form der Rückmeldung macht damit auf empirischer Basis einen zentralen, im Unterricht sonst kaum zugänglichen Prozess sichtbar – die tatsächliche Aufmerksamkeitslenkung der Lernenden – und kann reflexive Lernprozesse über die eigene Moderations- und Präsentationspraxis gezielt unterstützen.

Mit Blick auf die dargelegten theoretischen Hintergründe bilden die Methoden der stummen Videos und des Eye-Tracking-Feedbacks den Kern eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums im Master of Education Physik an der Universität Göttingen. Dieses wird nachfolgend vorgestellt (s. Kap. 3) und anschließend werden Ergebnisse einer forschungsgeleiteten Evaluation berichtet (s. Kap. 4) und diskutiert (s. Kap. 5).

3. Konzept des unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums

Nachfolgend wird zunächst der curriculare Kontext des Experimentierpraktikums in der Lehramtsausbildung an der Universität Göttingen skizziert (Kap. 3.1) und die Lernziele der Lehrveranstaltung dargelegt (Kap. 3.2). Anschließend erfolgt eine Beschreibung der Veranstaltungsstruktur sowie der Integration von stummen Videos und Eye-Tracking-Feedback (Kap. 3.3).

3.1 Curricularer Kontext der fachdidaktischen Ausbildung

Fachdidaktische Lehrveranstaltungen im Bachelorstudium Lehramt Physik an der Universität Göttingen adressieren die fachdidaktischen Grundlagen, d. h. Konzepte, Fragestellungen und Forschungsmethoden, und bieten so eine Einführung in die Physikdidaktik. Im Master of Education erfolgt anschließend eine Vertiefung fachdidaktischer Inhalte im Rahmen zweier Lehrveranstaltungen. Eine Lehrveranstaltung adressiert die Planung und Gestaltung von Schulunterricht unter Berücksichtigung einer heterogenen Schüler*innenschaft. Zentraler Bestandteil dieser Lehrveranstaltung ist ein 5-wöchiges Schulpraktikum, in dem die angehenden Lehrkräfte ihr theoretisches Wissen in der Schulpraxis anwenden und vertiefen. Die zweite Lehrveranstaltung fokussiert die Ausbildung experimenteller Kompetenzen von Physiklehramtsstudierenden im Hinblick auf den Einsatz von Experimenten im Schulunterricht (unterrichtsbezogenes Experimentierpraktikum). Während erstere Lehrveranstaltung typischerweise in der Mitte des Master of Education

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Physik belegt wird, erfolgt der Besuch des unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums typischerweise in den ersten zwei Mastersemestern.

3.2 Lernziele des unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums

Das unterrichtsbezogene Experimentierpraktikum adressiert einen zentralen Aspekt der in den Bildungsstandards für die Kompetenzbereiche im Fach Physik definierten Sachkompetenz, das experimentelle Arbeiten (KMK 2020). Dies involviert sowohl den Einsatz von Experimenten als Schüler*innen-, Freihand- oder Demonstrationsexperiment im Schulunterricht sowie die Unterstützung von Experimenten durch digitale Medien, z. B. Simulationen oder Smartphones. Die Entwicklung digitaler Kompetenzen bei Lehrkräften (zusammengefasst im TPACK-Modell nach Koehler & Mishra 2009) als integrale Aufgabe der fachspezifischen Lehrkräftebildung ist dabei nicht zuletzt durch die Strategie der Kultusministerkonferenz aus Dezember 2016 verbindlich festgelegt (KMK 2016). Konkret werden die folgenden Lernziele (LZ) im Rahmen der Lehrveranstaltung zum unterrichtsbezogenen Experimentieren adressiert:

Die Studierenden können ...

(LZ1) selbstständig schulrelevante Versuche planen, durchführen und mit den schulrelevanten Apparaturen sicher umgehen.
(LZ2) Demonstrationsexperimente unter Berücksichtigung von Gestaltungsprinzipien wahrnehmungsaktivierend aufbauen.
(LZ3) Demonstrationsexperimente sprachlich führen, d. h. den Aufbau und die Durchführung der Versuche adressatengerecht verbal begleiten.
(LZ4) schulrelevante Versuche unter fachdidaktischen Aspekten und schulischen Gegebenheiten hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten und Grenzen bewerten.
(LZ5) die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes digitaler Medien zur Unterstützung des Physikunterrichts bewerten.

3.3 Konzept der Lehrveranstaltung: Integration von stummen Videos und Eye-Tracking-Feedback

Die Lehrveranstaltung zum unterrichtsbezogenen Experimentieren besteht aus einem Praktikum und einem Seminar. Vor dem Hintergrund bestehender Wirksamkeitsanalysen unterrichtsbezogener Experimentierpraktika (Anderson 2020; Sorge et al. 2024) führen die Lehramtsstudierenden neun Schlüsselexperimente der Sekundarstufe II in einer Schulsammlung mit den dort vorhandenen Experimentiermaterialien durch. Zudem diskutieren sie ihre fachdidaktische und fachcurriculare Einbettung und reflektieren über den Einsatz der Experimente im Schulunterricht (LZ1 und LZ4). Die entsprechenden Diskussionen werden dabei auch in das zugehörige Seminar hineingetragen. Dieses fokussiert den Einsatz digitaler Medien, z. B. Simulationen, im Hinblick auf ihren Einsatz bei Demonstrations- und Schüler*innenexperimenten im Physikunterricht (LZ4 und LZ5).

Kompetenzen zur Durchführung von Demonstrationsexperimenten (LZ2 und LZ3) werden durch die Einbindung von stummen Videos adressiert (s. Kap. 2.1.4). Dies erfolgt im Rahmen einer Drei-Phasen-Struktur mit sukzessiver Steigerung der Anforderungen (s. Abb. 1).

In der *ersten Phase* erhalten die Studierenden ein stummes Video der Experimente von den Dozierenden (s. Kap. 2.1.4), vergleichen den Versuchsaufbau im Mustervideo mit ihrem experimentellen Aufbau und vertonen das Video anschließend. Hierbei liegt der Fokus zunächst ausschließlich auf der Moderation des Experiments (LZ3). Die isolierte Auseinandersetzung mit der Moderation ohne Experimentdurchführung ermöglicht es den Studierenden, sich darauf zu konzentrieren, diese möglichst aufmerksamkeitslenkend zu formulieren, d. h. verschiedene Prinzipien zur Aufmerksamkeitslenkung zu erproben (s. Kap. 2.1.3). Gleich-

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

zeitig regt der Abgleich vom Versuchsaufbau im stummen Video und dem eignen Versuchsaufbau zur Reflexion über die Wirkung verschiedener Versuchsaufbauten und der Gestaltprinzipien nach Schmidkunz (1983) an. Nicht zuletzt können die Videos Anregungen für die didaktische Gestaltung des Versuchsaufbaus und der Versuchsdurchführung bieten.

In der *zweiten Phase* erstellen die Studierenden selbst ein stummes Video zu einem Experiment und vertonen dieses anschließend. Die Erstellung des stummen Videos adressiert dabei sowohl einen wahrnehmungsaktivierenden Aufbau als auch eine kohärente Präsentation des Experiments (LZ2). Indem die Moderation zunächst ausgelagert wird, können sich die Studierenden in dieser Phase im ersten Schritt ausschließlich auf die Materialauswahl und den didaktischen Aufbau fokussieren (s. Kap. 2.1.4). Die Vertonung des Experimentiervideos adressiert anschließend erneut eine aufmerksamkeitslenkende Moderation. Damit vertiefen und reflektieren sie ihr Wissen und ihre Fähigkeiten bezüglich der Präsentation und Moderation von Experimenten. Im Sinne des Kompetenzrahmens der Arbeitsgruppe „Digitale Basiskompetenzen" (Becker et al. 2020) adressiert die Videoerstellung insbesondere digitale Kompetenzen zur Videoaufnahme von Experimenten.

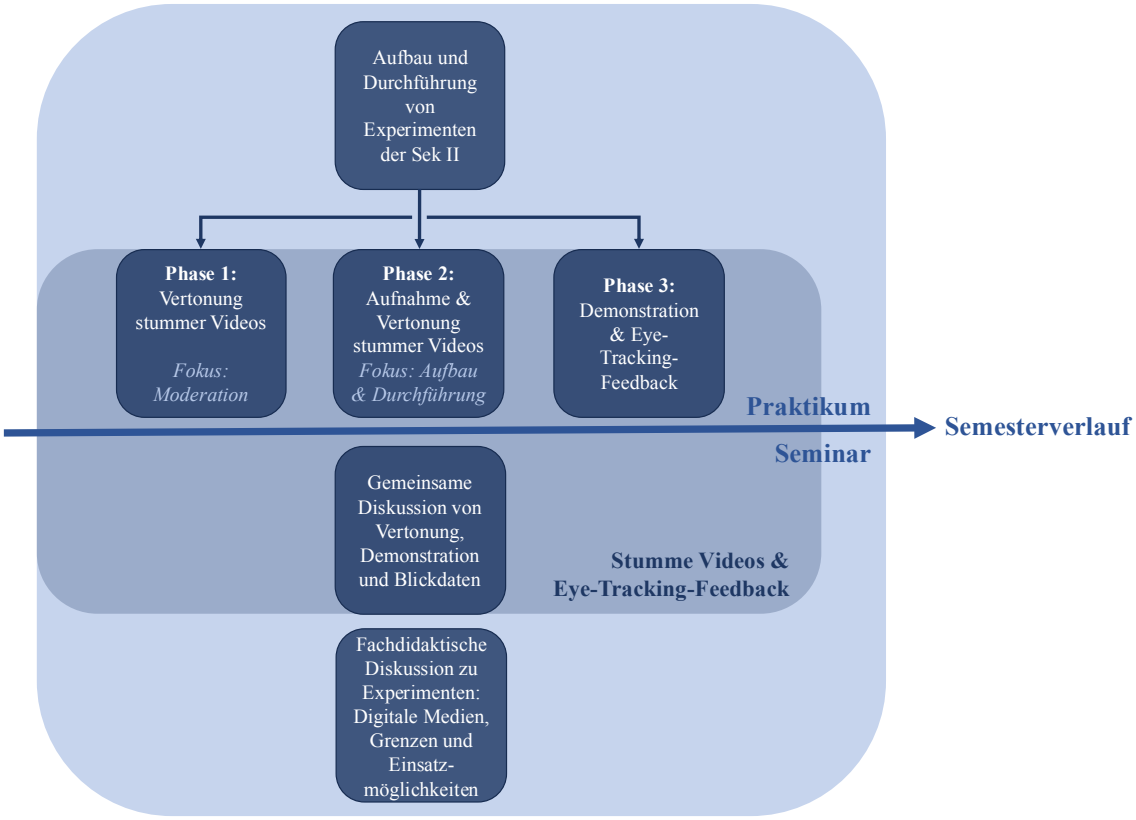


Abbildung 1: Konzept des unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums im Semesterverlauf. Die Lehrveranstaltung besteht aus einem Praktikum (oberhalb des Zeitstrahls) und einem Seminar (unterhalb des Zeitstrahls). Die Integration von stummen Videos und Eye-Tracking-Feedback (dunkel hinterlegt) erfolgt in drei Phasen im Rahmen des Praktikums sowie einer gemeinsamen Diskussion der Lernprodukte (Vertonungen, Videos, Blickdatenanalysen) im Seminar.

In der abschließenden *dritten Phase* nehmen die Studierenden eine individuelle Demonstration eines Experiments auf Video auf. Dieses Szenario kommt der Durchführung von Demonstrationsexperimenten in der schulischen Praxis am nächsten, da die Studierenden das Experiment gleichzeitig präsentieren und moderieren. Dabei fließen die Erfahrungen aus den vorangegangenen Phasen ein, die Anforderung liegt in der zeitlichen Kontiguität von Versuchspräsentation und -moderation (s. Kap. 2.1.3). Für eine Stärkung des Praxisbezugs integriert die dritte Phase zusätzlich Eye-Tracking-Feedback (s. Kap. 2.2). Dafür werden die Demonstrationsvideos einer Schulklasse präsentiert und das Blickverhalten einzelner Schüler*innen bei der Betrachtung der Videos aufgezeichnet. Durch die qualitative Auswertung der Blickdaten von Schü-

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

ler*innen mithilfe von Heatmaps (Aufmerksamkeitsverteilungen) und GazePlots (Blickpfaden; s. Abb. 2) wird Eye-Tracking als Diagnose- und Feedbackmethode im Schulkontext eingeführt. Dabei ermöglicht das Blickverhalten der Schüler*innen eine Reflexion des eignen experimentellen Aufbaus sowie der Versuchspräsentation und -moderation. Beispielsweise spiegeln sich Störfaktoren im Versuchsaufbau sowie unklare verbale Beschreibungen der Versuchskomponenten oder der Beobachtungsaufträge im Blickverhalten der Schüler*innen wider und dienen so einer Feedbackfunktion zur Versuchsdemonstration (s. Abb. 2). Der Einsatz von Eye-Tracking unterstützt zudem eine Verzahnung von fachdidaktischer Forschung und universitärer Lehramtsausbildung, indem fachdidaktische Forschungsmethoden Einzug in die Lehrveranstaltung finden und so Lehramtsstudierenden das Potential der Blickdatenanalyse für die Verbesserung schulischer Materialien sowie die Identifikation von Lernschwierigkeiten näherbringen. Hierbei werden erneut überfachliche – konkret: digitale und technologische – Kompetenzen adressiert (Becker et al. 2020).

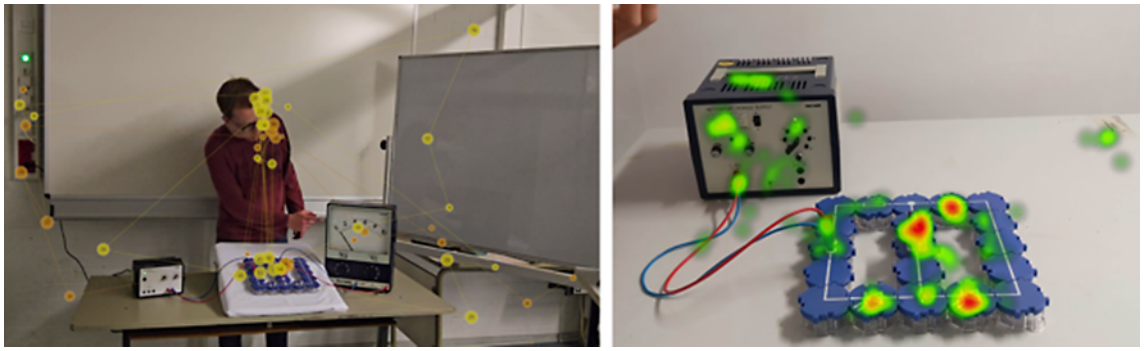


Abbildung 2: Blickdaten während der Beschreibung des Aufbaus eines Demonstrationsexperiments veranschaulichen den Einfluss von Störfaktoren auf die visuelle Aufmerksamkeit von Schüler*innen. *Links:* Blickpfade (GazePlots) zweier Schüler*innen (gelb und orange). Nummerierte Punkte beschreiben Orte mit Aufmerksamkeitsfokus (Fixationen), ihre Größe ist proportional zur Betrachtungsdauer. Linien zwischen den Punkten markieren Übergänge zwischen Fixationen. *Rechts:* Visuelle Aufmerksamkeitsverteilung eines*r Schülers*in (grün = geringe Aufmerksamkeit; rot = hohe Aufmerksamkeit).

Im begleitenden Seminar erhalten die Studierenden zu allen Anforderungen, d. h. Aufbau, Präsentation und Moderation, fach- sowie sprachdidaktischen Input. Zudem werden die Studierenden bei technologischen sowie (fach-)didaktischen Rückfragen eng betreut. Vertonte Experimentiervideos, Demonstrationsvideos sowie Blickdatenanalysen werden im begleitenden Seminar gemeinsam diskutiert und reflektiert. Die jeweilige Länge der ersten und zweiten Phase, d. h. die Anzahl der Experimente in diesen Phasen, bestimmt jede*r Studierende individuell (mindestens ein Versuch, maximal drei Versuche pro Phase). Alle übrigen Experimente absolvieren die Studierenden in der dritten Phase.

4. Evaluation des unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums

Das beschriebene Konzept des unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums wurde in drei aufeinanderfolgenden Wintersemestern (2022/23 bis 2024/25) im Master of Education Physik an der Universität Göttingen eingesetzt. In diesem Zuge erfolgte eine forschungsgeleitete Evaluation der Lehrveranstaltung, die zum einen das Lehrkonzept im Ganzen und zum anderen die Methoden der stummen Videos und des Eye-Tracking-Feedbacks im Speziellen adressiert.

4.1 Forschungsfragen

Mit Blick auf bisherige Wirksamkeitsuntersuchungen lehramtsspezifischer Experimentierpraktika (Andersen 2020; Sorge et al. 2024) zielt die Evaluation des Lehrkonzepts nicht auf die Messung experimenteller Kompetenzen ab, sondern adressiert die Wahrnehmung der eigenen Präsentations- und Moderationspraxis. Es werden folgende Forschungsfragen untersucht:

FF1a: Welchen Einfluss hat das unterrichtsbezogene Experimentierpraktikum auf die *Selbstwirksamkeitserwartungen der Studierenden bei der Durchführung von Demonstrationsexperimenten*?
FF1b: Wie beurteilen die Studierenden die *Relevanz des unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums* in Bezug auf ihren späteren Lehrberuf?

Die Evaluation von stummen Videos und Eye-Tracking als Feedback-Methode in der Lehrkräftebildung wird darüber hinaus in der folgenden Forschungsfrage adressiert:
FF2: Wie beurteilen die Studierenden den *wahrgenommenen Nutzen von stummen Videos und Eye-Tracking-Feedback* für das Lernen und für die Lehramtsausbildung?

Die zu diesem Zweck erfassten Daten beruhen auf Selbsteinschätzungen der Lernenden und bieten daher Anhaltspunkte für die (wahrgenommene) Praktikumsqualität.

4.2 Methodik

4.2.1 Stichprobe und Design

Insgesamt nahmen in den drei Wintersemestern $N = 30$ Physiklehramtsstudierende im Master of Education an der Lehrveranstaltung teil. Die Evaluation des Lehrkonzepts umfasste drei Messzeitpunkte: Zu Semesterbeginn, in der Mitte des Semesters und am Semesterende (s. Abb. 3). Zu Semesterbeginn wurden die Selbstwirksamkeitserwartungen der Studierenden für die Durchführung von Demonstrationsexperimenten erfasst (MZP1). Anschließend gaben die Studierenden nach Abschluss der zweiten Phase den wahrgenommenen Nutzen von stummen Videos an (MZP2). Abschließend wurden am Semesterende erneut die Selbstwirksamkeitserwartungen der Studierenden für die Durchführung von Demonstrationsexperimenten sowie zusätzlich der wahrgenommene Nutzen von Eye-Tracking als Feedback-Methode sowie die wahrgenommene Relevanz des Lehrkonzepts für den späteren Lehrberuf erfasst (MZP3). Während die Selbstwirksamkeitserwartungen und die Relevanz in allen drei Wintersemestern gemessen wurden, fand die Erhebung des wahrgenommenen Nutzens von stummen Videos und Eye-Tracking-Feedback nur in den Wintersemestern 2023/24 und 2024/25 statt.

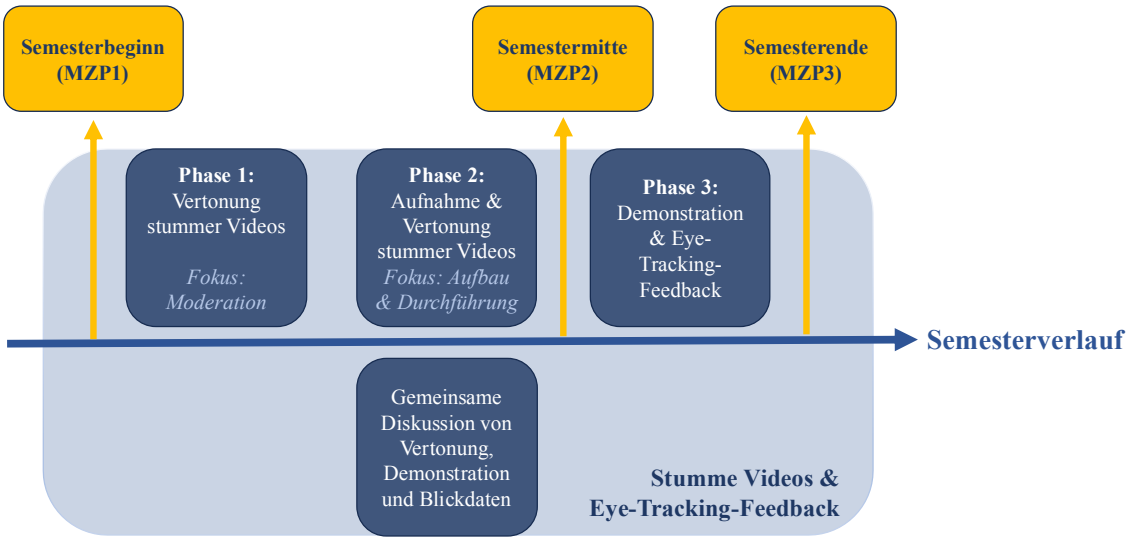


Abbildung 3: Design der Evaluationsstudie des unterrichtsbezogenem Experimentierpraktikums (Messzeitpunkte MZP, gelb).

4.2.2 Messinstrumente und Analyse

Die Erfassung aller Zielvariablen erfolgte anhand 6-stufiger Likert-Skalen (von 0 = keine Zustimmung bis 1 = volle Zustimmung).

Die Items zu den Selbstwirksamkeitserwartungen der Studierenden basieren auf dem Leitfaden zur Konstruktion von Selbstwirksamkeitsskalen von Bandura (2006) sowie dem Science Teaching Efficacy Belief Instrument-Preservice (STEBI-B; Bleicher 2004; Riggs & Enochs 1990) – ein weit verbreitetes, validiertes und zuverlässiges Messinstrument. Dieses enthält zwei Subskalen (Personal Science Teaching Efficacy Belief und Science Teaching Outcomes Expectancy), die zum einen das konzeptuelle Verständnis der eigenen Fähigkeiten und zum anderen deren Anwendung in zukünftigen Lehrpraktiken zur Beeinflussung des Lernens von Schüler*innen adressieren. Auf Basis dieser übergeordneten Konstrukte und mit Blick auf die validierten Testinstrumente von Meinhardt et al. (2016) zur Durchführung von Experimenten (SWE-EX-D) wurden neue Items, die sich auf die Selbstwirksamkeitserwartungen der Studierenden bei der Durchführung von Demonstrationsexperimenten bezogen, entwickelt (z. B. „*Ich fühle mich sicher, Demonstrationsexperimente in der Sek II vor einer Schulklasse zu präsentieren*“).

Die übrigen Instrumente zur Erfassung der wahrgenommenen Relevanz und des wahrgenommenen Nutzens von stummen Videos und Eye-Tracking-Feedback wurden neu entwickelt und gezielt auf die Lehrveranstaltung abgestimmt. Den Einsatz von stummen Videos und Eye-Tracking-Feedback kommentierten die Studierenden zudem in Freitextfeldern im Anschluss an den jeweiligen Fragebogen.

Alle Instrumente wurden einer explorativen Faktorenanalyse, Item- sowie Skalenanalysen unterzogen. Charakteristika der resultierenden Skalen, die in die Datenauswertung einbezogen werden, sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Skalen (Reliabilität Cronbach's alpha α_C).

Messzeitpunkt	Skala	#item	α_C
Semesterbeginn MZP1	Selbstwirksamkeitserwartungen für die Durchführung von Demonstrationsexperimenten (SW)	9	0.82
Semestermitte MZP2	Wahrgenommener Nutzen von stummen Videos (SV)	5	0.91
Semesterende MZP3	Selbstwirksamkeitserwartungen für die Durchführung von Demonstrationsexperimenten (SW)	9	0.82
	Wahrgenommener Nutzen von Eye-Tracking als Feedback-Methode (ET)	7	0.85
	Wahrgenommene Relevanz des Lehrkonzepts (R)	3	0.83

Innersubjekteffekte wurden mithilfe etablierter statistischer Verfahren analysiert, konkret mittels zweiseitiger t-Tests. Die Effektstärken werden entsprechend den Richtlinien von Cohen (1988) interpretiert.

Die Freitextfelder wurden deduktiv ausgewertet, orientiert an den verwendeten Skalen zum wahrgenommenen Nutzen stummer Videos und von Eye-Tracking-Feedback. Ziel hierbei ist keine systematische qualitative Analyse im engeren wissenschaftlichen Sinne, sondern eine punktuelle Illustration und Kontextualisierung der Skalenwerte und der Wahrnehmung der Methoden durch die Lernenden. Die Analyse präsentiert exemplarische Zitate, sodass die gesamte Breite der Freitextantworten erschöpfend abgebildet wird; eine systematische Kategorisierung findet nicht statt.

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

5. Evaluationsergebnisse des unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums

Im Folgenden werden die Ergebnisse entsprechend der Forschungsfragen FF1a/b (s. Kap. 5.1) und FF2 (s. Kap. 5.2) vorgestellt. Für FF1a wird die Veränderung der Selbstwirksamkeitserwartungen hinsichtlich der Durchführung von Demonstrationsexperimenten zwischen Semesterbeginn und -ende (MZP1 und MZP3) verglichen. Alle weiteren Skalen werden itemweise berichtet. Zur Beantwortung von FF2 werden zudem exemplarische Zitate aus den Freitextantworten präsentiert.

5.1 Selbstwirksamkeitserwartungen für die Durchführung von Demonstrationsexperimenten und wahrgenommene Relevanz des Lehrkonzepts (FF1a und FF1b)

Im Vergleich zwischen Semesterbeginn (MZP1) und Semesterende (MZP3) ergibt sich eine signifikante Steigerung der Selbstwirksamkeitserwartungen zur Durchführung von Demonstrationsexperimenten ($t(55) = -5.06$, $p < 0.001$, $d = 1.34$; s. Abb. 4). So gaben die Studierenden zu Semesterbeginn an, sich vergleichsweise unsicher bei der Präsentation und Moderation von Demonstrationsexperimenten zu fühlen (0.45 ± 0.16). Zu Semesterende indizierten sie mit Skalenwerten von 0.66 ± 0.13 eine deutlich höhere Selbstwirksamkeit, was einer Zunahme mit großer Effektstärke entspricht (Cohen 1988).

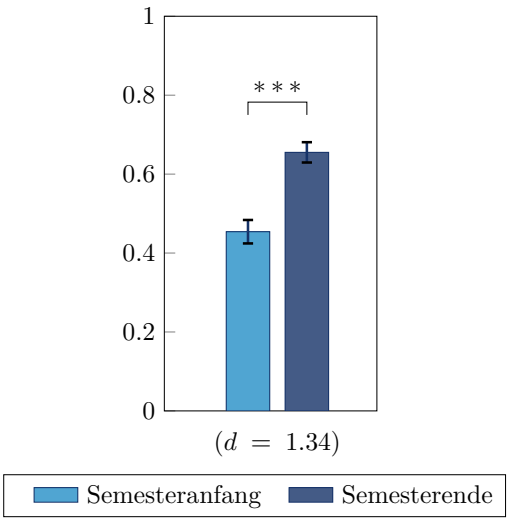


Abbildung 4: Selbstwirksamkeitserwartungen für die Durchführung von Demonstrationsexperimenten zu Semesterbeginn und am Semesterende ($N = 27$ Studierende). Der Vergleich der Zeitpunkte erfolgt anhand eines zweiseitigen t-Tests (*** statistische Signifikanz $p < 0.001$, Effektstärke Cohen's d, Fehlerbalken repräsentieren 1 SEM).

In der Rückschau berichteten die Studierenden zudem von einer hohen Relevanz der Lehrveranstaltung für ihren späteren Lehrberuf (0.79 ± 0.17; s. Abb. 5). So gaben sie u. a. an, Anregungen für den späteren Schulunterricht mitgenommen zu haben (R1) und wertvolle Kompetenzen für den Lehrberuf erworben zu haben (R3).

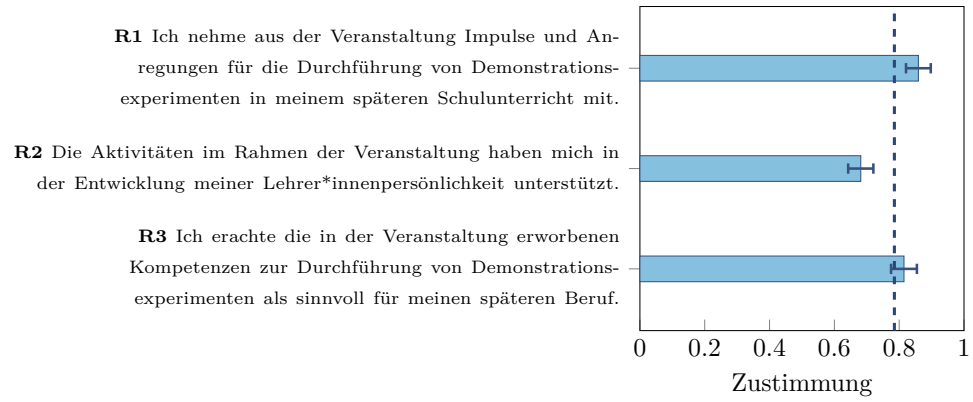


Abbildung 5: Evaluationsergebnisse der Skala „Wahrgenommene Relevanz des Lehrkonzepts“ für $N = 27$ Studierende. Die Zustimmung der Studierenden ist dargestellt auf einer Skala von 0 (keine Zustimmung) bis 1 (volle Zustimmung) für alle drei Items. Die gestrichelte Linie gibt den Skalenmittelwert an, Fehlerbalken repräsentieren 1 SEM.

5.2 Wahrgenommener Nutzen von stummen Videos und Eye-Tracking-Feedback als Methoden in der Lehrkräfteausbildung (FF2)

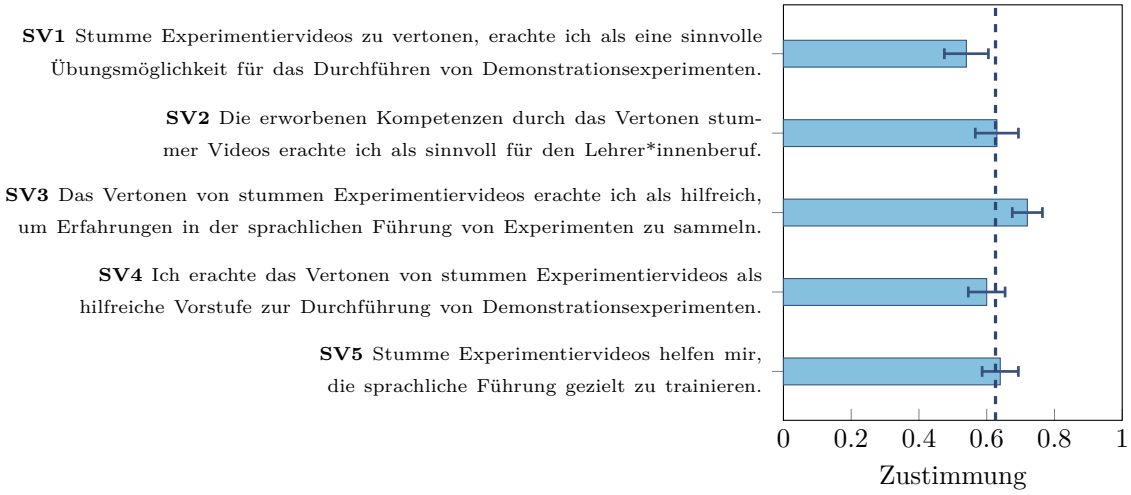


Abbildung 6: Evaluationsergebnisse der Skala „wahrgenommener Nutzen von stummen Videos“ für $N = 20$ Studierende. Die Zustimmung der Studierenden ist dargestellt auf einer Skala von 0 (keine Zustimmung) bis 1 (volle Zustimmung) für alle fünf Items. Die gestrichelte Linie gibt den Skalenmittelwert an, Fehlerbalken repräsentieren 1 SEM.

Insgesamt sahen die Studierenden die stummen Videos und das Eye-Tracking-Feedback als sehr nützlich an und indizierten beiden Methoden einen didaktischen Mehrwert (Skalenmittelwerte: stumme Videos 0.63 ± 0.22, s. Abb. 6; Eye-Tracking-Feedback 0.69 ± 0.18, s. Abb. 7). Das Vertonen stummer Videos stellt aus Sicht der Lehramtsstudierenden ein hilfreiches Training für die sprachliche Führung von Experimenten dar (SV3, SV5, s. Abb. 6), was sich auch in den Freitextangaben widerspiegelt:

„[Die stummen Videos sind] sinnvoll für Überlegungen, was wie wann gesagt und gezeigt wird.“
„Es ist sinnvoll, sich damit [Anm. d. Verf.: den stummen Videos] zu beschäftigen und hat mir geholfen zu verstehen, wie ich meine Sprache einsetzen kann.“
„Die Videos waren sinnvoll, um die Versuche auf das Wesentliche zu reduzieren.“
„[durch die stummen Videos] habe ich mir sehr genau überlegt, was ich sagen will.“

Neben der Vertonung hoben die Studierenden besonders die Erstellung eigener stummer Videos positiv hervor:

> *„Selber Videos bzw. Versuchsaufbauten [...] aufzunehmen, hat mir [...] geholfen, mich auf das Experimentieren im Unterricht vorzubereiten."*

Gleichzeitig wiesen sie auf den damit verbundenen Zeitaufwand hin, der als belastend empfunden wurde (*„Leider nahm das Filmen viel Zeit in Anspruch [...]"*).

Zusammenfassend wurden stumme Videos als wertvolles Werkzeug für die Auseinandersetzung mit der sprachlichen Moderation bei Demonstrationsexperimenten wahrgenommen. Dennoch machten die Studierenden auch auf eine gewisse Ungewohntheit der Situation sowie auf Abweichungen vom schulischen Alltag aufmerksam:

> *„[Das Vertonen stummer Videos] fühlte sich oft sehr künstlich an [...]"*
> *„Kritikpunkt: Einbettung in eine Unterrichtssituation [fehlt]"*
> *„[...] jedoch muss man im Unterricht spontan auf Aussagen und Fragen reagieren, was beim Vertonen nicht der Fall ist. Ebenfalls hat man nur einen Versuch in der Realität [...]"*

Darüber hinaus wurden sowohl stumme Videos als auch Eye-Tracking-Feedback als wertvolle Methoden wahrgenommen, die die Durchführung von Demonstrationsexperimenten unterstützen können (SV1, SV2, ET1, ET2, ET3, ET4, s. Abb. 6 & 7). Stumme Videos bieten hierbei vor allem Potential, den Einstieg in die Moderation von Experimenten zu unterstützen, d. h. als Vorstufe von Demonstrationsexperimenten zu fungieren (SV4), z. B.:

> *„[Stumme Videos sind ein] guter Ansatz, um erste Erfahrungen mit der sprachlichen Begleitung von Demoexperimenten zu sammeln."*

Beim Eye-Tracking-Feedback wurde vor allem die Sichtbarkeit des eigenen Lernfortschritts, die Nähe zum schulischen Alltag und die Einbeziehung von Schüler*innen positiv hervorgehoben (ET1), z. B.:

> *„[Durch Eye-Tracking haben wir] ein direktes visuelles Feedback über unseren Fortschritt gekriegt. [...] von den einzigen, auf die es ankommt: Schüler!"*
> *„Ich fand es sehr sinnvoll, dass wir am Ende der Veranstaltung sehen konnten, wie gut wir inzwischen darin sind, Aufmerksamkeit d. SuS [Anm. d. Verf.: Schüler*innen] zu lenken."*

Darüber hinaus gaben die Studierenden an, dass sie Eye-Tracking als Feedback-Methode auch über die Durchführung von Demonstrationsexperimenten hinaus einen Mehrwert in der Lehrkräftebildung einräumen (ET6, ET7). So ermöglicht das Blickverhalten von Schüler*innen Einblick in das Schüler*innenverhalten und führt so Spezifika dessen anschaulich vor Augen, z. B. den Einfluss von Störfaktoren:

> *„[Eye-Tracking ermöglicht eine] Verdeutlichung von Störfaktoren, die ich zuvor unterschätzt hatte."*
> *„[Mit Eye-Tracking konnte ich] besser verstehen, wie gut SuS [Anm. d. Verf.: Schüler*innen] sich tatsächlich konzentrieren können."*

Zugleich äußerten die Studierenden verschiedene Vorbehalte zur Aussagekraft der Blickdaten. Kritisch angemerkt wurden die geringe Stichprobengröße, die Experimentspezifität sowie der Interpretationsspielraum bei der Datenanalyse:

> *„Es ist [...] stark davon abhängig, welches Experiment gewählt wird."*
> *„[...] einzelne SuS [Anm. d. Verf.: Schüler*innen], die in persönl. [Anm. d. Verf.: persönlichen] Haltungen z.T. sehr unterschiedlich sein können, können kaum auf Wirkung auf gesamte Klasse Rückschluss geben."*
> *„Ich finde es schwierig, genaue Rückschlüsse zum Eye Tracking zu ziehen, da es für mich sehr interpretativ wirkt die Daten auszuwerten. Warum SuS [Anm. d. Verf.: Schüler*innen] in ein Gesicht oder auf eine Tafel gucken, kann verschiedene Gründe haben."*

In diesem Zusammenhang wurde zudem der Wunsch nach größeren Stichproben und ergänzenden Datenquellen geäußert:

> *„Kommentare der Lernenden hätten mich [...] zusätzlich interessiert."*

Schließlich bewerteten die Studierenden den praktischen Einsatz von Eye-Tracking im Unterricht eher zurückhaltend (ET5), vor allem aufgrund fehlender zeitlicher und materieller Ressourcen:

> *„[Eye-Tracking ist] in der Schule wohl schlecht umsetzbar. Wegen fehlender Ressourcen."*
> *„Die Anwendbarkeit ist im Unterricht nicht gegeben. Zu viel Zeit und notwendige Materialien von Nöten."*

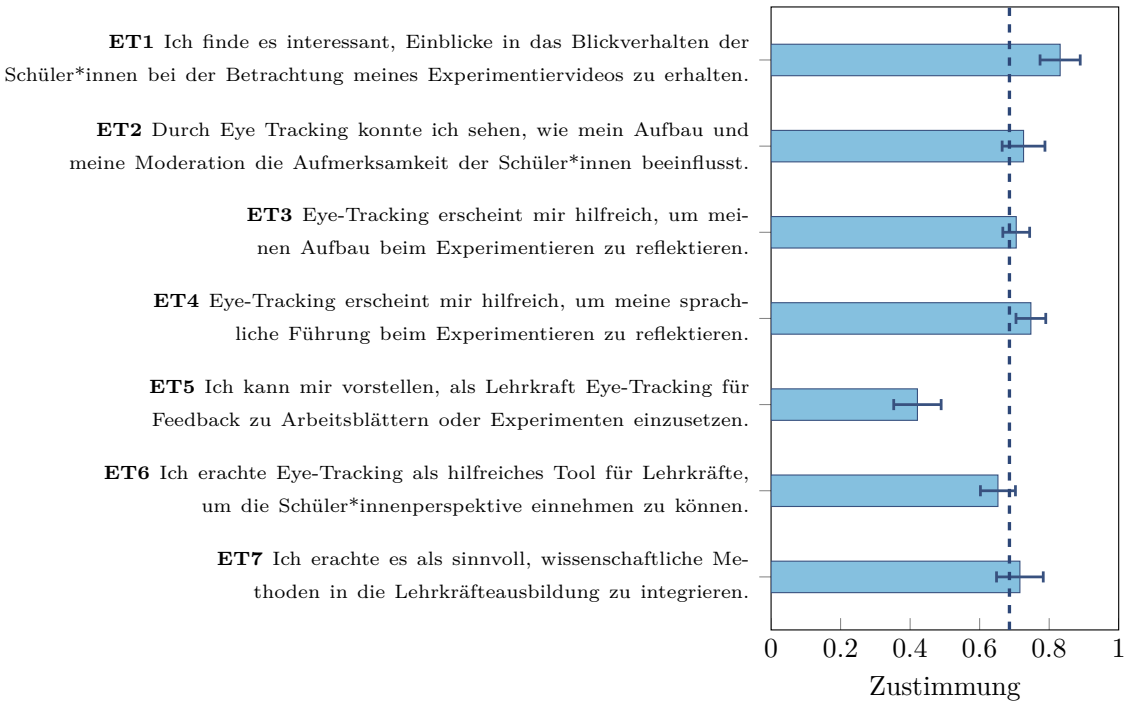


Abbildung 7: Evaluationsergebnisse der Skala „wahrgenommener Nutzen von Eye-Tracking als Feedback-Methode" für $N = 19$ Studierende. Die Zustimmung der Studierenden ist dargestellt auf einer Skala von 0 (keine Zustimmung) bis 1 (volle Zustimmung) für alle sieben Items. Die gestrichelte Linie gibt den Skalenmittelwert an, Fehlerbalken repräsentieren 1 SEM.

6. Diskussion

Im Zuge einer forschungsgeleiteten Evaluation indizierten Physiklehramtsstudierende dem vorgestellten Lehrkonzept mit stummen Experimentiervideos und Eye-Tracking-Feedback zur Förderung der Fähigkeiten zur Durchführung von Demonstrationsexperimenten eine hohe professionsbezogene Relevanz. Zudem zeigte sich ein positiver Einfluss des Experimentierpraktikums auf die Selbstwirksamkeitserwartungen der Physiklehramtsstudierenden hinsichtlich der Durchführung von Demonstrationsexperimenten. Ähnliche Effekte wurden auch beim Einsatz von Eye-Tracking-Feedback zur Entwicklung multimedialer Lernmaterialien beobachtet: Ein entsprechender Hochschulkurs führte zu einer signifikanten Steigerung der Selbstwirksamkeitserwartungen von Chemielehramtsstudierenden im Hinblick auf den Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht (Langner et al. 2022).

Als Limitation der vorliegenden Evaluationsergebnisse ist allerdings anzumerken, dass die Stichprobengröße trotz einer Datenerhebung über drei Semester vergleichsweise klein ausfällt ($N = 30$). Diese Stichprobengröße entspricht zwar der Erhebung der jeweils vollständigen Kohorte – die Lehrveranstaltung wird pro Semester nur von etwa 10 bis 12 Studierenden besucht –, führt jedoch dazu, dass die Ergebnisse auf genau diese Kohorte begrenzt bleiben. Trotz anonymisierter Erhebung können zudem Antworttendenzen aufgrund von Effekten sozialer Erwünschtheit nicht vollständig ausgeschlossen werden, insbesondere in derart kleinen Lerngruppen (Lavidas et al. 2022). Außerdem basieren die verwendeten Skalen ausschließlich auf Selbsteinschätzungen der Studierenden; Rückschlüsse auf ihren tatsächlichen Kompetenzzuwachs bezüglich der Durchführung von Demonstrationsexperimenten sind damit nicht möglich. Vor dem Hintergrund dieser Limitationen sind die vorliegenden Ergebnisse als Hinweise auf mögliche Trends zu interpretieren. Für fundierte Aussagen zur Lernwirksamkeit einzelner Methoden sind weiterführende Studien mit größeren Stichproben, weiteren Kohorten sowie ergänzenden Messungen zum Kompetenzerwerb sowie der wahrgenommenen Praktikumsqualität erforderlich, die auch eine systematische Analyse verbaler Daten erlauben. In diesem Zuge erscheint es zudem sinnvoll, die experimentellen Kompetenzen der Lernenden als Kovariate zu berücksichtigen.

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen lässt sich der identifizierte Trend jedoch insgesamt als positiv bewerten. Das vorgestellte unterrichtsbezogene Experimentierpraktikum zeigt ein hohes Potential, Lehramtsstudierende beim Erwerb von Kompetenzen zur Durchführung und Moderation von Demonstrationsexperimenten gezielt zu unterstützen. Im Sinne des Wirkmodells zur Gestaltung lehramtsspezifischer Experimentierpraktika (Andersen 2020) deuten die Ergebnisse zudem darauf hin, dass das Praktikum auch das situationale Interesse sowie die experimentellen Fähigkeiten der Studierenden fördern könnte. Dies erscheint insbesondere plausibel, da ein sichtbarer Bezug zur späteren Berufspraxis im Allgemeinen motivierend auf Lehramtsstudierende wirkt (Woitkowski 2017). Stumme Experimentiervideos bieten in diesem Zusammenhang eine wertvolle Lerngelegenheit, in der Studierende zentrale Aspekte der Demonstration von Experimenten zunächst isoliert bearbeiten können. Durch die Rezeption und Vertonung vorgegebener Videos vertiefen sie ihr Wissen über die Demonstration von Experimenten; zugleich setzen sie dieses im Zuge der Erstellung eigener Videos aktiv um und reflektieren dabei ihre eigenen Demonstrationsfähigkeiten (Wolf & Kulgemeyer 2016). Allerdings ist an dieser Stelle anzumerken, dass stumme Videos die praktische Durchführung in der Realität nicht vollständig abbilden und simulieren können und auch nicht sollen. Die von den Studierenden kritisch angemerkten Abweichungen vom realen Unterrichtssetting stellen eine funktional bedingte Einschränkung der Methode dar, die sich aus der Reduktion auf eine rein visuelle Darstellung ohne Interaktionsmöglichkeiten ergibt. Sie sind somit als notwendige Vereinfachung für einen niedrigschwelligen Einstieg in die Moderation von Demonstrationsexperimenten zu verstehen.

Auch das Eye-Tracking-Feedback wurde von den Studierenden als sehr positiv wahrgenommen – nicht nur im spezifischen Kontext der Demonstration von Experimenten, sondern auch in der Lehrkräftebildung im Allgemeinen. Es bietet eine unverzerrte, unmittelbare Rückmeldung durch reale Schüler*innen zu Aufbau, Präsentation und Moderation sowie die Wirkung auf die Lernenden (Schweinberger et al. 2023). Daher dient es als wertvolles, individuelles Instrument, um Studierende zur Reflexion ihrer eigenen Aufmerksamkeitslenkung anzuregen und damit etablierte Feedbackmethoden um eine prozessbasierte Perspektive zu erweitern (Okumu et al. 2025). Vor diesem Hintergrund würde es sich perspektivisch zudem anbieten, Eye-Tracking-Feedback auch in der Lehrkräftefortbildung zu integrieren, z. B. bzgl. der Konzeption von Unterrichtsmaterialien. Mit Blick auf die kritischen Freitextantworten zur Aussagekraft der Daten, die auch

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

in empirischen Reviews zur Methode kontrovers diskutiert wird (Hahn & Klein 2022), ist anzumerken, dass eine systematische Diskussion der Methode und ihrer Limitationen ein essenzieller Bestandteil jeder Lehrveranstaltung sein sollte, in der Eye-Tracking-Feedback eingesetzt wird.
Trotz der positiven Rückmeldung zum Einsatz von Eye-Tracking als Feedback-Methode konnten sich die meisten Studierenden eine eigene Nutzung von Eye-Tracking im schulischen Alltag nur schwer vorstellen. Dies liegt einerseits daran, dass Schulen in der Regel nicht über die notwendige technische Ausstattung verfügen. Andererseits erfordert der effektive Einsatz von Eye-Tracking sowohl methodische Expertise als auch zeitliche Ressourcen für die Aufnahme und Auswertung von Blickdaten – beides ist im schulischen Kontext angesichts der häufig begrenzten zeitlichen Kapazitäten von Lehrkräften nur eingeschränkt verfügbar. Vor diesem Hintergrund erscheint die Einführung in die Methode im Rahmen der universitären Lehrkräftebildung besonders sinnvoll, da sie es angehenden Lehrkräften ermöglicht, das Potential dieser Feedbackform kennenzulernen. So können sie im späteren Berufsalltag gezielt auf technische oder personelle Unterstützung, etwa durch kooperierende Hochschulen, zurückgreifen – beispielsweise bei der Reflexion von Unterrichtsmaterialien wie Arbeitsblättern (Langner et al. 2022). Gleichzeitig stellt der technische und personelle Ressourcenbedarf auch eine Herausforderung für die Implementation des hier vorgestellten Lehrkonzepts in der universitären Lehrkräftebildung dar. Für die Zwecke des beschriebenen Experimentierpraktikums bedarf es eines stationären Eye-Trackers, der fixationsbasierte Visualisierungen eines zweidimensionalen Stimulus (Video der Demonstration) qualitativ ermöglicht. Eine kostengünstige Alternative bietet der Einsatz freier, auf Webcam- oder Mausbewegungen basierender JavaScript-Bibliotheken wie WebGazer (Papoutsaki 2016) oder MouseView (Anwyl-Irvine et al. 2021). Nichtsdestotrotz kann der mit Eye-Tracking verbundene Ressourcenaufwand eine breite Implementation des beschriebenen Lehrkonzept in die universitäre Lehrkräftebildung erschweren. Als niederschwellige Alternative können bestehende Blickdatenanalysen als Vignetten dienen, die zur fachdidaktischen Diskussion anregen. Einige Beispiele sind diesem Beitrag im Anhang beigefügt (s. Kap. 8). Diese sind zwar nicht individualisiert, bieten jedoch einen wertvollen Gesprächsanlass für die Herausforderungen bei der Moderation von Demonstrationsexperimenten.

7. Ausblick und Fazit

Die lernwirksame Demonstration von Experimenten im Schulunterricht erfordert ein hohes Maß an Übung (Pusch et al. 2024). Vor diesem Hintergrund stellt der vorliegende Beitrag ein Konzept für ein unterrichtsbezogenes Experimentierpraktikum für Physiklehramtsstudierende vor, das den Schwerpunkt auf die Durchführung von Demonstrationsexperimenten legt. Das zugrundeliegende Lehrkonzept kombiniert stumme Experimentiervideos mit Eye-Tracking-Feedback, um eine wahrnehmungsaktivierende Präsentation sowie eine aufmerksamkeitslenkende Moderation experimenteller Abläufe gezielt zu fördern. Da die eingesetzten Methoden grundsätzlich fachunabhängig sind, ist das beschriebene Konzept nicht auf die Physiklehrkräftebildung beschränkt, sondern lässt sich mit geeigneten Experimenten auch in der Aus- und Weiterbildung von Chemie- und Biologielehrkräften sinnvoll einsetzen.

Vor dem Hintergrund der insgesamt positiven Evaluationsergebnisse stellt das Training mit stummen Experimentiervideos aus Sicht der Lehramtsstudierenden eine vielversprechende Methode dar, um den Übungsprozess zur Durchführung von Demonstrationsexperimenten gezielt zu unterstützen. Dabei ist zu betonen, dass dieses Format die praktische Durchführung in der Realität nicht ersetzen kann und auch nicht soll. Vielmehr bieten stumme Videos eine wertvolle Lerngelegenheit, um erste Erfahrungen in der Moderation von Experimenten zu sammeln. Ziel dieses Trainings ist es darüber hinaus nicht, eine standardisierte Form der Moderation zu vermitteln – ebenso wenig, wie es einen idealtypischen Moderationsstil gibt (Schweinberger et al. 2023). Vielmehr ermöglichen die stummen Videos, einen eigenen Stil in der Präsentation und Moderation von Experimenten zu entwickeln.

Perspektivisch könnte eine Weiterentwicklung des vorgestellten Experimentierpraktikums die Durchführung einer Experimentdemonstration im Schulklassenraum umfassen. Die Wirkung der Demonstration auf die Lernenden ließe sich in diesem Rahmen mithilfe von Eye-Tracking-Brillen, die von einzelnen Schüler*innen getragen werden, erfassen. Ein solcher Ansatz würde die Authentizität der Lernsituation erhöhen, da eine direkte Interaktion zwischen Lehramtsstudierenden und Schüler*innen möglich wäre. Darüber hinaus könnten die Studierenden durch verbal geäußertes Feedback der Lernenden zusätzliche Hinweise für die Interpretation der Blickdaten gewinnen und so ihr Handlungsrepertoire gezielter reflektieren – ein

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Aspekt, den die Studierenden im aktuellen Lernkonzept als wünschenswert herausstellten. Limitierende Faktoren dieser Option sind vor allem organisatorischer bzw. schuladministrativer Natur, aber auch der steigende zeitliche sowie finanzielle Bedarf aufseiten der Lehrverantwortlichen an der Universität limitiert eine entsprechende Weiterentwicklung und Optimierung (z. B. der Stichprobengröße).

Ein Residuum des vorgestellten, unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums sind die von den Studierenden erstellten und vertonten Experimentiervideos. Diese bieten auch über das Praktikum hinaus eine wertvolle Lernressource für die schulische Unterrichtsgestaltung. So können sie als experimentelle Erklärvideos eingesetzt werden und so zur Vertiefung oder Wiederholung von Unterrichtsthemen dienen (Wolf & Kulgemeyer 2016). Experimentiervideos stellen eine sinnvolle Ergänzung zu realen Experimenten dar und können insbesondere zur Differenzierung im naturwissenschaftlichen Unterricht beitragen (Meier et al. 2022; Stinken-Rösner et al. 2023). Ein mögliches Einsatzszenario ist z. B. die Integration der Videos in ein Flipped- bzw. Inverted-Classroom-Konzept (Wolf & Kulgemeyer 2016). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Videos interaktiv zu gestalten, sodass Lernende aktiv Einfluss auf den Ablauf nehmen können – etwa durch Auswahlmöglichkeiten, eingebettete Fragen oder adaptive Inhalte (Ziegler et al. 2024).

Insgesamt weist das vorgestellte unterrichtsbezogene Experimentierpraktikum mit stummen Experimentiervideos und Eye-Tracking-Feedback großes Potential zur Unterstützung der fachdidaktischen Lehrkräftebildung in den Naturwissenschaften auf, da es angehenden Lehrkräften ermöglicht, zentrale Kompetenzen zur Präsentation und Moderation von Demonstrationsexperimenten praxisnah zu entwickeln und gezielt zu reflektieren. Neben der Förderung fachlicher Kompetenzen angehender Lehrkräfte unterstützt das Praktikum dabei insbesondere die Vernetzung von fachdidaktischer Forschung und Lehre durch die Integration fachdidaktischer Methoden in die Ausbildung angehender Naturwissenschaftslehrkräfte. Perspektivisch bietet das Lehrkonzept vielfältige Weiterentwicklungs- und Anwendungsmöglichkeiten – sowohl im Hinblick auf den Einsatz in schulischen Lehr-Lern-Kontexten als auch im Sinne einer nachhaltigen Nutzung vertonter Experimentiervideos zur Unterstützung differenzierter Unterrichtsgestaltung.

Anhang

Diesem Beitrag sind Best-Practice-Beispiele für stumme Videos und Blickdatenanalysen zu verschiedenen Experimenten der Sekundarstufe II beigefügt (Hahn et al. 2026). Zur Veröffentlichung gaben alle beteiligten Personen ihr Einverständnis. Die Materialien können als Vignetten zur Diskussion bzgl. der Moderation von Aufbau und Durchführung sowie der Präsentation der Experimente dienen.
Die stummen Videos (Gestaltung entsprechend der Beschreibung in Kap. 2.1.4) beinhalten die folgenden Experimente:

- Grundgleichung der Mechanik
- Sperr- und Durchlassrichtung von Dioden (Elektrodynamik)
- Boyle-Mariotte-Gesetz (Thermodynamik)
- Gesetz von Malus (Optik)

Die Blickdatenanalysen beinhalten Blickpfade (GazePlots) und Aufmerksamkeitsverteilungen (Heatmaps) einzelner Schüler*innen bei der Betrachtung des jeweiligen Experiments. Die Demonstration des Experiments wird dabei für die Analyse in drei Abschnitte aufgeteilt: Die Einleitung in das Experiment, die Beschreibung des Versuchsaufbaus und die Durchführung des Experiments. Das Blickverhalten wird für diese drei Phasen separiert ausgewertet und analysiert (siehe Benennung „Einführung“, „Aufbau“, „Durchführung“). Die Blickdatenanalysen können individuell sowie im Vergleich verschiedener Schüler*innen für das gleiche Experiment (siehe Benennung S1 und S2 für Schüler*in 1/2) oder verschiedener Versionen des Experiments (siehe Benennung D1, D2 und D3 für Demonstration 1/2/3) diskutiert werden.
Blickdatenanalysen sind zu den folgenden Experimenten angefügt:

- Sperr- und Durchlassrichtung von Dioden (Elektrodynamik)
- Stromwaage (Elektrodynamik)
- Kundtsches Rohr (Wellenmechanik)

Danksagung

Wir danken der Joachim Herz Stiftung für die Förderung des Lehrprojekts *Exp(V)ert 2.0* im Rahmen des Kollegs Didaktik:digital, in dessen Kontext das in diesem Beitrag vorgestellte Lehrkonzept entwickelt und umgesetzt wurde (Projektnummer: 850041). Teile des vorliegenden Artikels entstanden außerdem im Rahmen des Projekts „*Stumme Videos/Lehramtsspezifische Ergänzungen und Berufsfeldbezüge für die Grundvorlesungen der Physik*“ des Lehrstuhls für Didaktik der Physik der LMU München. Es gehört dem Vorhaben Lehrerbildung@LMU vom Münchner Zentrum für Lehrerbildung an, das im Rahmen des Bund-Länder-Programms *Qualitätsoffensive Lehrerbildung mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung* unter dem Förderkennzeichen 01JA1810 gefördert wurde.

Literatur

Addleman, D. A. & Jiang, Y. V. (2019): Experience-driven auditory attention. *Trends in Cognitive Sciences, 23*(11), S. 927-937. https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.08.002

Alpizar, D., Adesope, O. O. & Wong, R. M. (2020): A meta-analysis of signaling principle in multimedia learning environments. *Educational Technology Research and Development 68*, S. 2095-2119. https://doi.org/10.1007/s11423-020-09748-7

Andersen, J. (2020): *Entwicklung und Evaluierung eines spezifischen Anfängerpraktikums für Lehramtsstudierende im Fach Physik.* [Dissertation] Kiel: Universitätsbibliothek Kiel.

Anwyl-Irvine, A. L., Armstrong, T. & Dalmaijer, E. S. (2021): MouseView.js: Reliable and valid attention tracking in web-based experiments using a cursor-directed aperture. *Behavior Research Methods, 54*, S. 1663-1687. https://doi.org/10.3758/s13428-021-01703-5

Bandura, A. (2006): Guide for constructing self-efficacy scales. *Self-Efficacy Beliefs of Adolescents, 5*, S. 307-337.

Baumert, J. & Kunter, M. (2006): Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9*(4), S. 469-520.

Baumert, J. & Kunter, M. (2011): Das Kompetenzmodell von COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29-53). Münster: Waxmann Verlag.

Becker, S., Meßinger-Koppelt, J. & Thyssen, C. (Hrsg.) (2020): *Digitale Basiskompetenzen.* Hamburg: Joachim Herz Stiftung.

Bondie, R. & City, E. (2024): AI-powered simulation drives teacher learning. *The Learning Professional, 45*(2), S. 48-51.

Bleicher, R. E. (2004): Revisiting the STEBI-B: Measuring self-efficacy in preservice elementary teachers. *School Science and Mathematics, 104*(8), S. 383-391.

Castro-Alonso, J. C. & Sweller, J. (2021): The Modality Principle in Multimedia Learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 261-267). Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108894333.026

Cohen, J. (1988): *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* 2. Auflage. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Glaser, M. & Schwan, S. (2015): Explaining pictures: How verbal cues influence processing of pictorial learning material. *Journal of Educational Psychology, 107*(4), S. 1006-1018.

Hahn, L. & Klein, P. (2022): Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. *Physical Review Physics Education Research, 18*(1). https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.013102

Hahn, L., Schweinberger, M. & Klein, P. (2026): Supplement zu „Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums“. https://doi.org/10.25625/R6WYV1

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Hansen, S. J. R., Hu, B., Riedlova, D., Kelly, R. M., Akaygun, S. & Villalta-Cerdas, A. (2019): Critical consumption of chemistry visuals: Eye tracking structured variation and visual feedback of redox and precipitation reactions. *Chemistry Education Research and Practice, 20*(4), S. 837-850. https://doi.org/10.1039/C9RP00015A

Hattie, J. & Timperley, H. (2007): The power of feedback. *Review of Educational Research, 77*(1), S. 81-112.

Hu, J. & Zhang, J. (2021): The effect of cue labeling in multimedia learning: Evidence from eye tracking. *Frontiers in Psychology, 12*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.736922

Katsuki, F. & Constantinidis, C. (2014): Bottom-up and top-down attention: different processes and overlapping neural systems. *Neuroscientist, 20*(5), S. 509-521.

Keller, L., Cortina, K., Müller, K. S. & Miller, K. (2022): Noticing and weighing alternatives in the reflection of regular classroom teaching: Evidence of expertise using mobile eye tracking. *Instructional Science, 50*, S. 251-272. https://doi.org/10.1007/s11251-021-09570-5

Kirschner, P., Sweller, J. & Clark, R. (2006): Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist, 42*(2), S. 75-86.

Koehler, M. J. & Mishra, P. (2009): What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education, 9*(1), S. 60-70.

Kultusministerkonferenz (Hrsg.) (2020): *„Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife".* www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf (Abfrage: 29.04.2025).

Kultusministerkonferenz (Hrsg.) (2016): *„Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz".* www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2018/Strategie_Bildung_in_der_digitalen_Welt_idF._vom_07.12.2017.pdf (Abfrage: 29.04.2025).

Lai, M.-L., Tsai, M.-J., Yang, F.-Y., Hsu, C.-Y., Liu, T.-C., Lee, S. W.-Y., Lee, M.-H., Chiou, G.-L., Liang, J.-C. & Tsai, C.-C. (2013): A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educational Research Review, 10*, S. 90-115.

Langner, A., Graulich, N. & Nied, M. (2022): Eye-tracking as a promising tool in pre-service teacher education – a new approach to promote skills for digital multimedia design. *Journal of Chemical Education, 99*(4), S. 1651-1659. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01122

Lavidas, K., Papadakis, S., Manesis, D., Grigoriadou, A. S. & Gialamas, V. (2022): The effects of social desirability on students' self-reports in two social contexts: Lectures vs. lectures and lab classes. *Information, 13*(10), S. 491-501. https://doi.org/10.3390/info13100491

Lenzer, S. & Nehring, A. (2022): Eye-Tracking als Methode hypothesenprüfender Forschung in den Naturwissenschaftsdidaktiken – Neue Einblicke in die Effekte von Demonstrationsexperimenten. In P. Klein, N. Graulich, J. Kuhn & M. Schindler (Hrsg.), *Eye-Tracking in der Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik: Forschung und Praxis* (S. 145-158). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63214-7_9

Lingzhu, J. (2003): Listening activities for effective top-down processing. *The Internet TESL Journal, 9*(11), S. 1-5.

Lupyan, G. (2017): Changing what you see by changing what you know: the role of attention. *Frontiers in Psychology, 8*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00553

Luo, H., Koszalka, T. & Zuo, M. (2016): Investigating the effects of visual cues in multimedia instruction using eye tracking. In S. Cheung, Lf. Kwok, J. Shang, A. Wang & R. Kwan (Hrsg.), *Blended Learning: Aligning Theory with Practices. ICBL 2016. Lecture Notes in Computer Science* (S. 63-72). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41165-1_6

Lyon, K. J., Walker, V. L., Smith, H. H. & Chen, J. (2023): A comparison of video performance feedback and self-monitoring strategies to improve pre-service teachers' implementation of systematic instruction. *Journal of Educational Technology Systems, 51*, S. 455-475. https://doi.org/10.1177/00472395231151443

Mayer, R. E. (2021a): Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 32-48). Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108894333.008

Mayer, R. E. (2021b): The Multimedia principle. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 145-157). Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108894333.008

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Mayer, R. E. (2021c): Evidence-based principles for how to design effective instructional videos. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 10*(2), S. 229-240. https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2021.03.007

McIntyre, N., Draycott, B. & Wolff, C. E. (2022): Keeping track of expert teachers: Comparing the affordances of think-aloud elicited by two different video perspectives. *Learning and Instruction, 80*. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2021.101563

Meier, M., Kastaun, M. & Stinken-Rösner, L. (2022): Experimentiervideos im naturwissenschaftlichen Unterricht – Lehren und Lernen mit und durch VidEX. In E. M. Watts & C. Hoffmann (Hrsg.), *Digitale NAWIgation von Inklusion: Digitale Werkzeuge für einen inklusiven Naturwissenschaftsunterricht* (S. 51-65). Wiesbaden: Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37198-2_5

Meinhardt, C., Rabe, T. & Krey, O. (2016): *„Selbstwirksamkeitserwartungen in physikdidaktischen Handlungsfeldern. Skalendokumentation. Version 1.0* (Februar 2016)." www.pedocs.de/volltexte/2016/11818/additional/Meinhardt_2016_Selbstwirksamkeitserwartungen_komprimiert.pdf (Abfrage: 29.04.2025).

Miller, K., Correa, C., Cortina, K., Phelps, L. & Chamberlain, L. (2024): Learning from (re)experience: What mobile eye-tracking video can help us learn about the cognitive processes of teaching. *Frontiers in Education, 9*. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1299896

Minarikova, E., Smidekova, Z., Janik, M. & Holmqvist, K. (2021): Teachers' professional vision: Teachers' gaze during the act of teaching and after the event. *Frontiers in Education, 6*. https://doi.org/10.3389/feduc.2021.716579

Mussgnug, M., Lohmeyer, Q. & Meboldt, M. (2014): Raising Designers' Awareness of User Experience by Mobile Eye Tracking Records. In *E&PDE14: Proceedings of the 16th International conference on Engineering and Product Design Education.*

Mutlu-Bayraktar, D., Ozel, P., Altindis, F. & Yilmaz, B. (2022): Split-attention effects in multimedia learning environments: eye-tracking and EEG analysis. *Multimedia Tools and Applications, 81*(6), S. 8259-8282. https://doi.org/10.1007/s11042-022-12296-2

Nehring, A. & Busch, S. (2018): Chemistry demonstrations and visual attention: Does the setup matter? Evidence from a double-blinded eye-tracking study. *Journal of Chemical Education, 95*(10), S. 1724-1735. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00133

Okumu, M., Lammert, C., Gokmen, C. & Mule, F. (2025): Mapping the feedback landscape: a systematic review of research on feedback sources, methods, and technologies in preservice teacher education. *Frontiers in Education, 10*. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1657737

Papoutsaki, A., Sangkloy, P., Laskey, J., Daskalova, N., Huang, J. & Hays, J. (2016): Webgazer: scalable webcam eye tracking using user interactions. In *IJCAI'16: Proceedings of the Twenty-Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, S. 3839-3845.

Pinto, Y., van der Leij, A. R., Sligte, I. G., Lamme, V. A. F., Scholte, H. S. (2013): Bottom-up and top-down attention are independent. *Journal of Vision, 13*(3), S. 1-14.

Pusch, A., Ubben, M. S., Schlummer, P. & Welberg, J. (Hrsg.) (2024): *Demonstrationsexperimente gestalten: Konzeption und Umsetzung in Theorie und Praxis.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-662-68520-4

Renkl, A. (2023): Using worked examples for ill-structured learning content. In C. E. Overson, C. M. Hakala, L. L. Kordonowy & V. A. Benassi (Hrsg.), *Their Own Words: What Scholars and Teachers Want You To Know About Why and How To Apply the Science of Learning in Your Academic Setting (*S. 207-224). Society for the Teaching of Psychology.

Richter, J., Scheiter, K. & Eitel, A. (2016): Signaling text-picture relations in multimedia learning: A comprehensive meta-analysis. *Educational Research Review, 17*, S. 19-36. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.12.003

Riggs, I. M. & Enochs, L. G. (1990): Toward the development of an elementary teacher's science teaching efficacy belief instrument. *Science Education, 74*(6), S. 625-637.

Schecker, H. & Ralle, B. (2009): Naturwissenschaftsdidaktik und Lehrerbildung – Chancen und Risiken aktueller Entwicklungen. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 2*(9), S. 73-83.

Schmidkunz, H. (1983): Die Gestaltung chemischer Demonstrationsexperimente nach wahrnehmungspsychologischen Erkenntnissen. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik, 31*(10), S. 360-367.

Schmidt-Weigand, F., Kohnert, A. & Glowalla, U. (2010): A closer look at split visual attention in system-and self-paced instruction in multimedia learning. *Learning and Instruction, 20*(2), S. 100-110.

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Schneider, S., Beege, M., Nebel, S. & Rey, G. D. (2018): A meta-analysis of how signaling affects learning with media. *Educational Research Review, 23*, S. 1-24. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.11.001

Schwarzer, R. & Jerusalem, M. (2002): Das Konzept der Selbstwirksamkeit. *Zeitschrift für Pädagogik, 44*, S. 28-53.

Schweinberger, M. (2025): „Stumme Videos": *Aufmerksamkeitslenkende Moderation von Demonstrationsexperimenten*. [Dissertation] Berlin: Logos Verlag.

Schweinberger, M., Watzka, B. & Girwidz, R. (2023): Eye tracking as feedback tool in physics teacher education. *Frontiers in Education, 8*. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1140272

Schweinberger, M., Mayer, P. & Girwidz, R. (2017): Training der Präsentationskompetenz mit stummen Videos. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2017*, S. 95-98.

Sorge, S., Hansen, C., Andersen, J., Schiering, D. & Neumann, K. (2024): Der Zusammenhang zwischen der Qualität von Experimentalpraktika und der Entwicklung der professionellen Kompetenz angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 30*(1), S. 1-16. https://doi.org/10.1007/s40573-023-00167-8

Stickler, U. & Shi, L. (2017): Eyetracking methodology in SCMC: A tool for empowering learning and teaching. *ReCALL, 29*(2), S. 160-177. https://doi.org/10.1017/S0958344017000040

Stinken-Rösner, L., Weidenhiller, P., Nerdel, C., Weck, H., Kastaun, M. & Meier, M. (2023): Inklusives Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht digital unterstützen. In D. Ferencik-Lehmkuhl, I. Huynh, C. L. C. Laubmeister, C. Melzer, I. Schwank, H. Weck & K. Ziemen (Hrsg), *Inklusion digital! Chancen und Herausforderungen inklusiver Bildung im Kontext von Digitalisierung* (S. 152-167). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt. https://doi.org/10.25656/01:26309

Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R. & Eilks, I. (2013): The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education, 49*(1), S. 1-34.

Sundararajan, N. & Adesope, O. (2020): Keep it coherent: A meta-analysis of the seductive details effect. *Educational Psychology Review*, 32(3), S. 707-734. https://doi.org/10.1007/s10648-020-09522-4

Szulewski, A., Braund, H., Egan, R., Gegenfurtner, A., Hall, A., Howes, D., Dagnone, D. & Merrienboer, J. van (2019): Starting to think like an expert: an analysis of resident cognitive processes during simulation-based resuscitation examinations. *Annals of Emergency Medicine, 74*(5), S. 647-659. https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2019.04.002

Tschannen-Moran, M., Hoy, A. W. & Hoy, W. K. (1998): Teacher efficacy: Its meaning and measure. *Review of Educational Research, 68*(2), S. 202-248.

Van Gog, T. (2021): The Signaling (or Cueing) Principle in Multimedia Learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), The *Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 221-230). Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108894333

Watzka, B., Hoyer, C., Ertl, B. & Girwidz, R. (2021): Wirkung visueller und auditiver Hinweise auf die visuelle Aufmerksamkeit und Lernergebnisse beim Einsatz physikalischer Lernvideos. *Unterrichtswissenschaft, 49*(4), S. 627-652. https://doi.org/10.1007/s42010-021-00118-7

WebGazer.js (2021): *„Democratizing Webcam Eye Tracking on the Browser."* https://webgazer.cs.brown.edu/ (Abfrage: 30.04.2025).

Wisniewski, B., Zierer, K. & Hattie, J. (2020): The power of feedback revisited: A meta-analysis of educational feedback research. *Frontiers in Psychology, 10*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.03087

Woitkowski, D. (2017): Studieneingangsprofile in Fach-und Lehramts-Studiengängen Physik. Eine kontrastierende Analyse auf Basis eines Kompetenzstrukturmodells für Fach-Physiker. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 1*(16), S. 43-56

Wolf, K. & Kulgemeyer, C. (2016): Lernen mit Videos? Erklärvideos im Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik, 152*, S. 36-41.

Xenos, M. & Rigou, M. (2019): Teaching HCI design in a flipped learning M. Sc. Course using eye-tracking peer evaluation data. ECEL: *17th European Conference on e-Learning*, S. 611-619. https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.01345

Zhang, S., de Koning, S. & Paas, F. (2023): Effects of mouse pointing on learning from labeled and unlabeled split-attention materials: An eye-tracking study. *Computers in Human Behavior, 143*. https://doi.org/10.1016/j.chb.2023.107673

Ziegler, M. & Stinken-Rösner, L. (2024): Mit Hypervideos digital experimentieren: Nicht-lineare interaktive Experimentiervideos im Unterricht einsetzen. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik, 203*, S. 24-29.

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Zierer, K., Wisniewski, B., Schatz, C., Weckend, D. & Helmke, A. (2019): Wie kann Feedback der Lernenden die Unterrichtsqualität verbessern? *Journal für LehrerInnenbildung, 19*(1), S. 26-40. https://doi.org/10.25656/01:18108

Larissa Hahn, Matthias Schweinberger & Pascal Klein (2026): Stumme Experimentiervideos, sichere Lehrkräfte: Förderung aufmerksamkeitsaktivierender Präsentations- und Moderationskompetenzen angehender Physiklehrer*innen im Rahmen eines unterrichtsbezogenen Experimentierpraktikums. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 99-123. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Hildesheim: Universitätsverlag Hildesheim.

Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen

Melanie Beudels & Sven Hanses
Dr. Melanie Beudels; Bergische Universität Wuppertal, Institut für Geographie und Sachunterricht, AG Didaktik des Sachunterrichts, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal; 0202-439-2429; melanie.beudels@uni-wuppertal.de
Sven Hanses; Bergische Universität Wuppertal, Institut für Geographie und Sachunterricht, AG Didaktik des Sachunterrichts, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal; hanses@uni-wuppertal.de

Zusammenfassung

Das Arbeiten mit Bestimmungsapps im Sachunterricht hat das Potenzial, die *Species Literacy* von Kindern zu fördern. Allerdings fehlen bislang empirisch untersuchte Lehr-Lern-Konzepte zur Professionalisierung angehender Lehrpersonen für die Gestaltung von digital gestützten Bestimmungsübungen. Vor diesem Hintergrund wird in diesem Beitrag das Konzept eines *Blended-Learning*-Kurses vorgestellt, der angehende Grundschullehrkräfte für einen reflektierten Einsatz von Bestimmungsapps im Sachunterricht professionalisieren soll. Im Zentrum des Kurses steht eine Exkursion, auf der die Studierenden Bestimmungsapps testen, um ihre Chancen und Grenzen in Bezug auf Lernprozesse mithilfe eines Kriterienrasters zu reflektieren. In einem explorativen Mixed-Methods-Design wurde die motivationale Wirksamkeit des Kurses gemessen, indem N=57 Studierende zu zwei Zeitpunkten geschlossene und offene Fragen eines Online-Fragebogens beantworteten. Es zeigt sich eine signifikante Zunahme domänenspezifischer Fähigkeitsselbstkonzepte und ein hohes situationales Interesse an den Kursinhalten. Während sich das Sachinteresse am Thema Bäume sowie das Interesse am Einsatz von Bestimmungsapps im Unterricht und am Einsatz von Bestimmungsübungen im Unterricht nicht signifikant ändern, ist beim Sachinteresse an der Arbeitsweise Bestimmen und am Thema Bestimmungsapps eine signifikante Zunahme zu verzeichnen. Insgesamt weisen die Ergebnisse darauf hin, dass durch den Kurs motivationale Orientierungen gefördert werden können, die bei der Gestaltung von Sachunterricht, in dem mit Bestimmungsapps gearbeitet wird, von Bedeutung sind.

Schlüsselwörter:
Lehrpersonenbildung, Bestimmungsapps, Baumbestimmung, digitale Kompetenzen, motivationale Orientierungen

Abstract

Working with identification apps in science lessons has the potential to promote children's species literacy. However, there is a lack of empirically investigated concepts for the professionalization of pre-service teachers for developing digitally supported identification exercises. Against this background, this article presents the concept of a blended learning course designed to professionalize prospective primary school teachers for the reflective use of identification apps in science lessons. The course centers on an excursion during which the pre-service teachers test identification apps to reflect on their opportunities and limitations in relation to learning processes using a criteria grid. The effectiveness of the course on motivational orientations was measured in an explorative mixed-methods design in which N=57 pre-service teachers answered closed and open questions from an online questionnaire at two points in time. There is a signifi-

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

cant increase in domain-specific ability self-concepts and a high situational interest in the course content. While the subject interest in the topic of trees, the interest in the use of identification apps in class and in the use of identification exercises in class did not change significantly, there was a significant increase in the subject interest in the method of identification and in the topic of identification apps. Overall, the results indicate that the course can promote motivational orientations that are important for the development of science lessons in which identification apps are used.

Key Words:
Teacher training, identification apps, tree identification, digital skills, motivational orientations



Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

1 Einführung

Die Biodiversität unseres Planeten befindet sich in einer tiefgreifenden Krise, denn die planetare Belastungsgrenze „Biosphäre“ ist bereits weit überschritten (vgl. Richardson et al. 2023, S. 1 ff.). In Europa sind ca. 20 Prozent der Tier- und Pflanzenarten vom Aussterben bedroht (vgl. Hochkirch et al. 2023, S. 2 ff.). Diese Zahlen sind alarmierend, weil nicht nur einzelne Spezies für immer verschwinden, sondern auch die Funktionen ganzer Ökosysteme, von denen die Menschheit abhängig ist, beeinträchtigt werden (vgl. Chapin et al. 2000, S. 234 ff.).

Als „Zugang zur Erschließung der Welt“ (Hense 2021, S. 339) der Biodiversität ist *Species Literacy* (vgl. Hooykaas et al. 2019, S. 1 ff.) von hoher Relevanz. Der Begriff beschreibt ein fundiertes Wissen über die Identifikation und Vielfalt von Arten sowie deren ökologische Funktionen und Zusammenhänge, was eine bewusste Wahrnehmung von Biodiversität, Reflexion über Umweltveränderungen und das eigene nachhaltige Handeln ermöglicht[1]. Damit kann *Species Literacy* als handlungsrelevante Teilkompetenz von Nachhaltigkeitskompetenz[2] angesehen werden (vgl. Hooykaas et al. 2019, S. 2).

Allerdings zeigen viele Studien, dass die *Species Literacy* bezüglich Tier- und Pflanzenarten in der europäischen Bevölkerung eher gering ausgeprägt ist (vgl. u. a. Hooykaas et al. 2019, S. 1 ff.; Lindemann-Matthies & Bose 2008, S. 731 ff.). Dies wurde auch für Schüler*innen (vgl. u. a. Kaasinen 2019, S. 1 ff.; Sturm et al. 2020, S. 143 ff.) sowie für (angehende) Lehrpersonen (vgl. u. a. Beunink et al. 2024, S. 20 ff.) nachgewiesen. Es verwundert daher nicht, dass u. a. in der *Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt 2030* die Relevanz von Bildungsarbeit an Schulen (vgl. BMUV 2024, S. 38 f.) für die Stärkung des Bewusstseins für Biodiversität betont wird. Diese Bildungsarbeit sollte bereits im Sachunterricht der Grundschule stattfinden (vgl. Hauenschild 2013, S. 78 ff.), dessen Ziel es u. a. ist, Schüler*innen dabei zu unterstützen, „Fragen der eigenen Verbundenheit, der Achtsamkeit, […] Wertschätzung gegenüber der Natur […] in der Nähe und Ferne [zu] besprechen und [zu] bewerten“ (GDSU 2013, S. 79) und „ausgehend von eigenen Erfahrungen den Umgang mit […] Pflanzen und Tieren [zu] erkennen, [zu] beschreiben und ein[zu]schätzen und dabei eigene Handlungsweisen [zu] reflektieren“ (GDSU 2013, S. 79).

Die Einarbeitung in den Umgang mit „klassischen“, analogen Bestimmungshilfen gilt als eine der größten Einstiegshürden auf dem Weg zu einer hohen *Species Literacy*. Viele Werke sind komplex aufgebaut und enthalten viele Fachtermini, sodass das Bestimmen einer Art langwierig und frustrierend sein kann (vgl. u. a. Beudels et al. 2021, S. 142 ff.; Wäldchen et al. 2016, S. 121). Digitale biologische Bestimmungshilfen „erleichtern nicht nur den Prozess der Artbestimmung, sondern erweitern auch das Spektrum der didaktischen Möglichkeiten für den Sach- und Biologieunterricht“ (Hastedt & Grospietsch 2024, S. 123). Aufgrund ihrer Produkteigenschaften können sie u. a. in heterogenen Lerngruppen – wie es in Grundschulen i. d. R. der Fall ist (vgl. Kluczniok et al. 2014, S. 194 ff.) – individuelles, selbstgesteuertes Lernen ermöglichen und u. a. positive Effekte auf motivationale Orientierungen haben (s. Kap. 2.1).

Für die Gestaltung von Sachunterricht, in dem digitale Bestimmungshilfen zum Einsatz kommen, benötigen Grundschullehrpersonen spezifische professionelle Handlungskompetenzen. Bisher mangelt es jedoch an Lehrkonzepten zur Professionalisierung von (angehenden) Sachunterrichtslehrkräften im Hinblick

1 *Species Literacy* umfasst die Konzepte der Arten- und Formenkenntnis und geht darüber hinaus (vgl. Beunink 2024, S. 35 f.). Artenkenntnis (im engeren, ursprünglichen Sinne) bezeichnet das deklarative Wissen über Artnamen und bestimmungsrelevante Merkmale (vgl. Hense 2021, S. 338). Formenkenntnis meint ergänzend „die Kenntnis biologischer, ökologischer kultureller oder gesellschaftlicher Aspekte zu einer Art oder zu einem höheren Taxon“ (Hense 2021, S. 338). Laut Hoykaas et al. (vgl. 2019, S. 2) umfasst *Species Literacy* eine Breitendimension (deklaratives Wissen über Arten und ihre Vielfalt; prozedurales Wissen, u. a. über Möglichkeiten der Bestimmung) und eine Tiefendimension (Hintergrundinformationen über die Arten, z. B. über ihre Lebensweise). Zusätzlich zielen die Autor*innen mit ihrem Konzept darauf ab, Arten- und Formenkenntnis mit „emotionalen Empfindungen und Bildern zu verknüpfen, um das persönliche Bewusstsein für Artenvielfalt und eine emotionale Bindung zu Arten zu fördern“ (Beunink 2024, S. 35).

2 Unter Nachhaltigkeitskompetenz wird in diesem Beitrag die „Gesamtheit der kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie damit verbundene motivationale, volitionale und soziale Bereitschaften [verstanden], um nachhaltigkeitsrelevante Probleme lösen und eine nachhaltige Entwicklung in privaten, sozialen und institutionellen Kontexten gestalten zu können“ (Rieß et al. 2018, S. 299).

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

auf einen reflektierten, lernwirksamen Einsatz digitaler Bestimmungshilfen im Unterricht. Ebenso fehlen empirische Studien zur Wirksamkeit solcher Lehrkonzepte (s. Kap. 2.2).

Vor diesem Hintergrund stellt dieser Artikel ein Lehrkonzept für Studierende des Grundschullehramts vor, das darauf abzielt, ihre professionellen Kompetenzen zur Gestaltung von digital gestützten Bestimmungsübungen im Sachunterricht zu fördern (s. Kap. 3). Die Wirksamkeit des Konzepts wird – mit Fokus auf motivationalen Orientierungen – empirisch untersucht (s. Kap. 3 bis 5).

2 Theorie

2.1 Digitale biologische Bestimmungshilfen in Lehr-Lern-Settings

Digitale biologische Bestimmungshilfen – nachfolgend vereinfacht Bestimmungsapps genannt – sind Anwendungen, die die Identifikation von Tier-, Pflanzen- und Pilzarten mithilfe von digitalen Technologien ermöglichen (vgl. Hastedt & Grospietsch 2024, S. 123). Sie lassen sich in zwei Haupttypen unterteilen: 1. automatische Bestimmungsapps und 2. manuelle Bestimmungsapps mit einem Bestimmungsschlüsselsystem (vgl. Hanses et al. 2022, S. 120 f.; Schmidt 2021, S. 168 ff.).

Automatische Bestimmungsapps (z. B. *Flora Incognita*) nutzen künstliche Intelligenz zur Mustererkennung. Nutzer*innen nehmen mindestens ein Foto oder eine Tonaufnahme der zu bestimmenden Art auf, das/die mit einer umfangreichen Datenbank abgeglichen wird. Die App schlägt die wahrscheinlichsten Arten – sortiert nach Ähnlichkeit – vor. Diese Apps ermöglichen eine schnelle Identifikation, allerdings kann sie u. a. durch die Bildqualität oder begrenzte Trainingsdatenbestände beeinträchtigt werden (vgl. Hart et al. 2023, S. 929 ff.; Rzanny et al. 2022, S. 10; Schmidt 2021, S. 168 ff.). *Manuelle Bestimmungsapps* basieren – angelehnt an analoge Bestimmungshilfen – auf strukturierten Schlüsselsystemen. Dichotome Schlüssel (z. B. *Eikes Baumschule*) führen durch eine Abfolge von Entscheidungsfragen mit jeweils zwei Antwortmöglichkeiten. Synoptische Schlüssel bzw. Multikriterien-Reduktionsschlüssel (z. B. *ID-Logics*) erlauben eine gleichzeitige flexible Auswahl mehrerer Merkmale, wodurch die Bestimmung weniger strikt verläuft. Die Nutzung der manuellen Tools erfordert – im Gegensatz zu automatischen Apps – eine genauere Auseinandersetzung mit dem Bestimmungsobjekt (vgl. Schmidt 2021, S. 169 f.). Bei der Auswahl geeigneter Apps für den Unterricht sind – vor dem Hintergrund der Lerngruppe und der gesetzten Lernziele – die App-Charakteristika zu beachten, wie z. B. eine offline-Nutzungsfunktion oder die verwendete Fachsprache. Details zu diesen finden sich u. a. in Hastedt und Grospietsch (2024) sowie in Beudels und Kuckuck (2024, 2025).

Diese digitalen Tools eröffnen – im Vergleich zu analogen Bestimmungshilfen – neue Lehr-Lern-Möglichkeiten, sodass ihr didaktischer Mehrwert nach dem SAMR-Modell (vgl. Puentedura 2013, o. S.) den Stufen *Augmentation* (z. B. *Eikes Baumschule*) bis *Redefinition* (z. B. *Naturblick*) zugeordnet werden kann (vgl. Gerl et al. 2020, S. 44 ff.). Selbstständiges und individualisiertes Lernen wird u. a. durch übersichtliche, intuitiv bedienbare Benutzer*innenoberflächen (z. B. *Flora Incognita*), Hilfestellungen in Form von integrierten Erklärvideos, eine eingebaute Fehlertoleranz (z. B. *ID-Logics*) und die Verfügbarkeit in mehreren Sprachen (z. B. *Eikes Baumschule*) ermöglicht (vgl. u. a. Beudels & Kuckuck 2025, S. 46).

Bisherige nationale und internationale Studien belegen, dass der Einsatz von Bestimmungsapps im Schul- und Hochschulkontext Vorteile bezüglich der kognitiven und affektiv-motivationalen Wirksamkeit im Vergleich zur Nutzung analoger Bestimmungshilfen bringen kann. Allerdings zeigen die Studien auch, dass die Lernwirksamkeit der Tools „stark durch deren didaktische Aufbereitung sowie ihre Einbindung in das Lehr-Lern-Szenario beeinflusst wird“ (Hastedt & Grospietsch 2024, S. 127). Grundschulkinder, die mit einem digitalen Bestimmungstool arbeiteten, hatten einen höheren Kompetenz- (vgl. Feketitsch 2013, S. 90 ff.) bzw. langanhaltenderen Wissenszuwachs (vgl. Andić et al. 2021, S. 393 ff.) bezüglich der Pflanzenbestimmung als jene, die mit einem analogen Tool arbeiteten. In einer Interventionsstudie mit vierzehn- bis sechzehnjährigen Schüler*innen (vgl. Finger et al. 2022a, S. 1 ff.) konnte die Gruppe, die mit einer Papierversion von *Eikes Baumschule* arbeitete, signifikant mehr Pflanzenarten korrekt und diese auch schneller bestimmen. Zudem nahm sich diese Gruppe kompetenter im Bestimmen wahr (Finger et al. 2022b, S. 892 ff.). Die andere Gruppe, die mit der App *ID-Logics* arbeitete, hatte jedoch signifikant mehr Freude und Interesse am Bestimmen (vgl. Finger 2022b, S. 892 ff.). Auch Jeno et al. (2017, S. 1 ff.) konnten bei Biologiestudierenden, die mit einer Bestimmungsapp arbeiteten, eine signifikant höhere intrinsische Motivation sowie zusätzlich eine höhere Kompetenzwahrnehmung messen als bei jenen, die mit einem analogen Tool arbeiteten. Torkar (2021,

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

S. 619 ff.) fand in seiner Studie mit Grundschullehramtsstudierenden heraus, dass es keinen Unterschied in der Bestimmungsgenauigkeit zwischen den digital und analog bestimmenden Untersuchungsgruppen gab. Die Studierenden, die das digitale Tool nutzten, kamen bei komplexen Identifikationen mit vielen Bestimmungsschritten signifikant schneller zu einem Bestimmungsergebnis. Insgesamt mangelt es derzeit noch an weiteren, groß anlegten Vergleichsstudien, in denen z. B. auch die Stabilität der Effekte über einen längeren Zeitraum untersucht wird.

2.2 Professionelle Handlungskompetenzen von Lehrpersonen zur Umsetzung digital gestützter Bestimmungsübungen im Unterricht

Um nun – mit dem Ziel, *Species Literacy* bei Kindern zu fördern – Bestimmungsapps im Sachunterricht reflektiert und didaktisch sinnvoll einzusetzen, benötigen Lehrpersonen bestimmte professionelle Handlungskompetenzen, die sich aus einem Zusammenspiel aus professionellem Wissen, Überzeugungen, selbstregulativen Fähigkeiten und motivationalen Orientierungen ergeben (vgl. Baumert & Kunter 2006, S. 469 ff.; Beudels et al. 2021, S. 144 ff.; Hanses et al. 2022, S. 130 ff.). Da für diesen Beitrag relevant, wird nachfolgend ausschließlich auf Fähigkeitsselbstkonzepte und das Interesse von Lehrpersonen als motivationale Variablen eingegangen.

Das Fähigkeitsselbstkonzept (FSK) – auch akademisches Selbstkonzept genannt – bezeichnet die subjektive Einschätzung der eigenen Kompetenzen in einem bestimmten Fähigkeitsbereich (vgl. Dickhäuser 2006, S. 5 f.; Paulick et al. 2016, S. 174). Fühlt sich eine Lehrperson z. B. im Umgang mit Bestimmungshilfen nicht kompetent, kann dies einen negativen Einfluss auf ihr Unterrichtshandeln in Bestimmungsübungen haben (vgl. u. a. Guskey 1988, S. 63 ff.). Das FSK formt sich u. a. durch Kompetenzerfahrungen (z. B. im Rahmen von Lehrveranstaltungen im Studium; vgl. Dickhäuser 2006, S. 6) und internale (z. B. Wahrnehmung der Entwicklung der eigenen Fähigkeiten im Laufe eines Kurses) sowie externale Vergleiche (z. B. Vergleich der eigenen Kompetenzen mit jenen anderer Personen; vgl. Paulick et al. 2017, S. 114 ff.). Bei Lehrpersonen kann – anknüpfend an das Hierarchiemodell des Selbstkonzeptes von Shavelson et al. (1976, S. 410 ff.) und das Modell professioneller Handlungskompetenz von Baumert & Kunter (2006, S. 469 ff.) – zwischen *CK*[3]-bezogenen, *PCK*[4]-bezogenen und *PK*[5]-bezogenen FSK differenziert werden (vgl. Paulick et al. 2016, S. 173 ff.). Mit Blick auf Studien wie jener von Guskey (1988) ist davon auszugehen, dass Lehrpersonen, die sich u. a. nicht kompetent in der Bestimmung von Bäumen (Beispiel für ein *CK*-bezogenes FSK) sowie in der Gestaltung von Bestimmungsübungen im Sachunterricht (Beispiel für ein *PCK*-bezogenes FSK) fühlen und/oder ihre digitalen Kompetenzen (in Bezug auf digitale Bestimmungstools, z. B. Wissen über ihre Funktionsweise oder ihr didaktisches Potenzial)[6] als gering ausgeprägt einschätzen, innovativen Sachunterricht, in dem mit Bestimmungsapps gearbeitet wird, eher vermeiden.

Während beim FSK die Erwartungskomponente von Motivation im Fokus steht, fokussiert das Interesse als positiv bewertete Beziehung zwischen einer Person und einem (Lern-)Gegenstand (vgl. Krapp 1999, S. 397) auf die wertbezogene Komponente motivationaler Orientierungen (vgl. Wigfield et al. 2006, S. 933 ff.). Es umfasst emotionale (Gefühlsreaktionen gegenüber dem Gegenstand), epistemische/kognitive (Streben nach Auseinandersetzung mit dem Gegenstand) und wertbezogene (subjektive Bedeutsamkeit) Merkmalskomponenten (vgl. u. a. Krapp 1999, S. 398 f.). Unterschieden wird zwischen dem situationalen Interesse – einem kurzzeitigen, instabilen Zustand – und dem individuellen Interesse, eine relativ stabile Verhaltensdisposition gegenüber einem Gegenstand. Situationales Interesse kann als Ausgangspunkt für

3 *CK=content knowledge* (Fachwissen)
4 *PCK=pedagogical content knowledge* (Fachdidaktisches Wissen)
5 *PK=pedagogical knowledge* (Pädagogisches Wissen)
6 Bezüglich subjektiv eingeschätzter digitaler Kompetenzen ist keine direkte Zuordnung zu den FSK-Dimensionen nach Paulick et al. (2016) möglich, da sich diese in ihrer Studie nicht auf die Modelle digitaler Kompetenz von Lehrpersonen, wie das TPaCK-Modell (vgl. Mishra & Koehler 2006, S. 1017 ff.) oder das DiKoLAN-Framework (vgl. Thoms et al. 2022, S. 5 ff.), beziehen. Wenn nachfolgend von subjektiven digitalen Kompetenzen gesprochen wird, sind damit – in Orientierung an Rubach & Lazarides (2019, s. Kap. 3.3) – ebenfalls domänenspezifische FSK von Lehrpersonen gemeint.

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

die Entwicklung des persönlichen Interesses dienen (vgl. Hidi & Renninger 2006, S. 114 ff.). Im Sinne der Selbstbestimmungstheorie nach Deci & Ryan (1985, S. 26 ff.) kann situationales Interesse entstehen, wenn eine Aktivität die drei menschlichen psychologischen Grundbedürfnisse – Kompetenzerleben (z. B. durch das Meistern einer Herausforderung), Autonomie (z. B. durch eine gewisse Wahlfreiheit) und soziale Eingebundenheit (z. B. durch Gruppenarbeit) – anspricht. Es wird davon ausgegangen, dass das Lehrer*innen-interesse (L-Interesse) dem individuellen Interesse ähnelt (vgl. Eren 2012, S. 304; Schiefele et al. 2013, S. 11). Dabei differenzieren Schiefele et al. (2013, S. 12 ff.) zwischen drei Facetten des L-Interesses: Dem *subject interest* (Sachinteresse, z. B. an Bäumen), *didactic interest* (Interesse an der Gestaltung von Unterricht, z. B. Interesse am Einsatz von Bestimmungsapps im Sachunterricht) und dem *educational interest* (erzieherisches Interesse). Auf Basis bisheriger Studien kann angenommen werden, dass Lehrpersonen mit einem hohen *subject* und *didactic interest* an dem Themenfeld der (digital gestützten) Bestimmung von Bäumen eher danach streben, ihre professionellen Kompetenzen auf diesem Gebiet weiterzuentwickeln, einen höheren Einsatz im Unterricht zeigen (vgl. u. a. Eren 2012, S. 303 ff.) sowie Innovationen im Unterricht – wie den Einsatz neuer Bestimmungsapps – eher umsetzen (vgl. Trempler et al. 2013, S. 344).

Über die Ausprägung o. g. professioneller Handlungskompetenzen von (angehenden) Sachunterrichtslehrpersonen, die zur Umsetzung digital gestützter Bestimmungsübungen im Unterricht befähigen, ist wenig bekannt. Es gibt Studien mit Lehramtsstudierenden (vgl. Beudels et al. 2021, S. 148 f.; Hanses et al. 2022, S. 135 f.) und Lehrpersonen (vgl. Hastedt & Grospietsch 2024, S. 126) der Fächer Sachunterricht und Biologie, die zeigen, dass die Bekanntheit und Nutzung von Bestimmungsapps in Lehr-Lern-Kontexten bei beiden Gruppen noch ausbaufähig sind. Beudels et al. (vgl. 2021, S. 141 ff.) untersuchten zudem das persönliche Interesse der Lehramtsstudierenden an Bestimmungsapps und das FSK bezüglich der Bestimmung von Arten und der Medienkompetenz. Die meisten Befragten hatten ein hohes persönliches Interesse am Einsatz von Bestimmungsapps im Unterricht. Mithilfe einer Clusteranalyse konnten drei Bestimmungs-Typen identifiziert werden, die sich in ihrem Interesse und FSK unterscheiden (vgl. Beudels et al. 2021, S. 151 ff.): Digitale Bestimmer*innen mit einem hohen FSK bezüglich der Bestimmung von Arten, digitale Bestimmer*innen mit einem niedrigen FSK bezüglich der Artbestimmung und analoge Bestimmer*innen, die ein hohes FSK bezüglich der Bestimmung von Arten, jedoch wenig Interesse am Einsatz von Bestimmungsapps im Unterricht haben. Die Autor*innen schlussfolgern u. a., dass es universitäre Lehr-Lern-Konzepte benötigt, denen es gelingt, die professionellen Kompetenzen aller drei Bestimmer*innen-Typen individuell so weiterzuentwickeln, dass sie Bestimmungsapps reflektiert im Unterricht einsetzen (vgl. Beudels et al. 2021, S. 155 ff.).

Bisher mangelt es allerdings an der Veröffentlichung und Beforschung solcher universitärer Lehr-Lern-Konzepte. Es existieren primär Publikationen mit Vorschlägen für den Einsatz von Bestimmungsapps im Unterricht (vgl. z. B. Beudels & Kuckuck 2024; Helbing & Heil 2022) sowie Studien, in denen die Wirksamkeit digital gestützter Interventionen auf die Förderung von Bestimmungskompetenzen und Artenkenntnis bei Biologielehramts- (vgl. Beunink 2024, S. 116 ff.) sowie Sachunterrichtsstudierenden (vgl. Hanses et al. 2022, S. 116 ff.) im Vordergrund stehen. Die Ergebnisse der Begleitforschung von Hanses et al. (2022, S. 134), die in ihrem Artikel das Konzept eines 90-minütigen *Blended-Learning*-Kurses präsentieren, zeigen, dass die Studierenden ihren Wissenszuwachs bezüglich Baumbestimmungsmerkmalen und bezüglich Bestimmungsapps als hoch einschätzen. Letzterer wird allerdings sehr unterschiedlich bewertet. Es wurde zudem ein mittleres bis hohes situationales Interesse an den Kursinhalten gemessen. Die Mehrheit hält den Einsatz von Bestimmungsapps sowohl in Studium als auch späterem Unterricht für sinnvoll, sieht aber zugleich Herausforderungen – u. a. bezüglich der didaktischen Einbettung und technischen Ausstattung. Insgesamt verweisen die Evaluierungsergebnisse auf die Notwendigkeit, den Studierenden deutlich mehr Zeit zum Lernen mit und über Bestimmungsapps zur Verfügung zu stellen (vgl. Hanses et al. 2022, S. 135 ff.). Schmidt (2021, S. 167 ff.) berichtet über ein fachdidaktisches Seminar zur Professionalisierung von Biologie-Lehramtsstudierenden für den Einsatz von Bestimmungsapps im Unterricht. Eine detaillierte Beschreibung des Konzepts und eine Untersuchung der Wirksamkeit bleiben in ihrem Beitrag jedoch aus.

2.3 Zielstellungen und Forschungsfragen

Aufgrund des Mangels an der Konzeption, Veröffentlichung und Beforschung von Lehr-Lern-Konzepten zur Professionalisierung von (angehenden) Grundschullehrkräften für die Umsetzung digital gestützter Bestimmungsübungen im Sachunterricht lauten die Ziele und Forschungsfragen dieses Beitrags wie folgt:

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Ziel 1: Entwicklung einer Lehrveranstaltung zur Professionalisierung von (angehenden) Grundschullehrkräften für einen reflektierten Einsatz von Bestimmungsapps im Sachunterricht

Ziel 2: Beforschung der motivationalen Wirksamkeit der Lehrveranstaltung

F1: Inwiefern verändern sich die subjektiv eingeschätzten digitalen Kompetenzen der Teilnehmer*innen in Bezug auf Bestimmungsapps?

F2: Inwiefern verändert sich das FSK der Teilnehmer*innen in Form des …
- *CK*-bezogenen FSK bezüglich des Benennens von Baumarten sowie bezüglich der digitalen Bestimmung von Bäumen
- *PCK*-bezogenen FSK bezüglich der Durchführung von Bestimmungsübungen mit Apps im Unterricht sowie des Behandelns des Themas „Baumbestimmung" im Unterricht

… im Laufe der Lehrveranstaltung?

F3: Besteht am Kursende ein hohes situationales Interesse an den Kursinhalten? Inwiefern verändert sich das Interesse der Teilnehmer*innen in Form des…
- *subject interest* am Thema Bäume, an der Arbeitsweise Bestimmen und am Thema Bestimmungsapps
- *didactic interest* am Einsatz von Bestimmungsapps sowie von Bestimmungsübungen im Unterricht

… im Laufe der Lehrveranstaltung?

3 Methodik

3.1 Forschungsdesign und Erhebungssetting

Zur umfassenden Beantwortung der Forschungsfragen wurde ein exploratives *Mixed-Methods*-Design gewählt. Dabei wurden im Längsschnitt zu zwei Zeitpunkten quantitative Daten mithilfe eines Fragebogens erhoben. Zum zweiten Messzeitpunkt wurden zusätzlich mithilfe des Fragebogens qualitative Daten erhoben, um die quantitativen Ergebnisse zu stützen und zu vertiefen (vgl. Döring & Bortz 2016, S. 184 f.).

Die Erhebung fand im Sommersemester 2023 und Sommersemester 2024 an einer Universität in Nordrhein-Westfalen statt. Eine Woche vor Beginn der ersten Präsenzeinheit wurden die Teilnehmenden der Lehrveranstaltung über das Nachrichtenforum des digitalen Lernraums aufgefordert, sich zum Einstieg einen Screencast anzuschauen (s. Kap. 3.2.3). An dessen Ende wurden sie gebeten, an der ersten Fragebogenerhebung (s. Kap. 3.3) teilzunehmen. Es folgte die Intervention, welche in Kap. 3.2.3 beschrieben ist. Nach dem Ende der Lehrveranstaltung hatten die Studierenden wiederum eine Woche Zeit, an der zweiten Fragebogenerhebung zu partizipieren (vgl. Abb. 1). Die Teilnahme an der Erhebung war freiwillig.

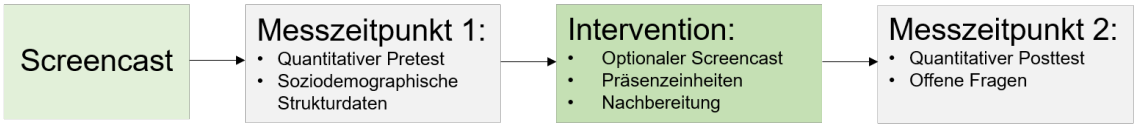


Abbildung 1: Forschungsdesign der Studie (eigene Darstellung)

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

3.2 Intervention: Lehrveranstaltung

3.2.1 Zielgruppe und curricularer Kontext

Die primäre Zielgruppe der Lehrveranstaltung sind Studierende des Grundschullehramts im Bachelor- und Masterstudium. Teilnehmen können nicht nur Studierende des Fachs Sachunterricht, sondern auch jene, die ein anderes Drittfach (z. B. Sport) belegen. Hintergrund ist, dass viele Grundschullehrkräfte aufgrund des Klassenlehrer*innenprinzips Sachunterricht fachfremd unterrichten müssen (vgl. Porsch & Wendt 2016, S. 192 ff.). Daher sollten sie ebenfalls bereits im Studium die Gelegenheit erhalten, professionelle Handlungskompetenzen für die Umsetzung digital gestützter Bestimmungsübungen im Sachunterricht (s. Kap. 2.2) aufzubauen.

Curricular verankert wurde die Lehrveranstaltung als sogenannter Lehr-Lern-Baustein im Wahlpflichtmodul „Digitale Kompetenz" (fünf Leistungspunkte, 150 Zeitstunden) der Kombi-B.A.-Studiengänge am Standort. Die Studierenden belegen in dessen Rahmen zehn bis dreißig Lehr-Lern-Bausteine einer Länge von fünf, zehn oder fünfzehn Stunden, die ihre digitalen Kompetenzen erweitern sollen. Durch diese curriculare Verankerung können am Kurs auch interessierte Bachelorstudierende aus anderen Studiengängen (z. B. Lehramt für Gymnasien und Gesamtschulen) partizipieren. Für Masterstudierende des Grundschullehramts war keine curriculare Verankerung des Kurses möglich, sodass sie nach dem Absolvieren ein Teilnahmezertifikat erhalten.

Der Kurs wird nur im Sommersemester angeboten, damit auf der Exkursion (s. Kap. 3.2.3) eine Laubbaumbestimmung anhand von Blättern und Blüten/Früchten möglich ist. Die Studierenden können entscheiden, ob sie an der wöchentlichen Variante oder der Blockkurs-Variante[7] teilnehmen.

Zum Bewerben des Kurses wurden ein 32-sekündiger Werbeteaser[8] sowie ein Plakat[9] entwickelt. Letzteres wird – wie alle weiteren Kursmaterialien, die Videos ausgenommen – unter CC-BY-Lizenz zur Verfügung gestellt.

3.2.2 Lehr-/Lernziele

Die Lehrveranstaltung verfolgt folgende Lehr- und Lernziele[10]:

Die Studierenden können …

- zwischen unterschiedlichen Typen von analogen und digitalen Bestimmungshilfen unterscheiden und ihre Funktionsweisen sowie Charakteristika (z. B. Bestimmungsgenauigkeit) grob beschreiben (Kompetenzbereiche Messwert- & Datenerfassung, Datenverarbeitung)
- Kriterien benennen, mithilfe derer das didaktische Potenzial von Bestimmungsapps für Lehr-Lern-Prozesse bewertet werden kann (Kompetenzbereich Recherche & Bewertung)
- häufig in Deutschland vorkommende Laub- und Nadelbäume auf Gattungsniveau bestimmen, indem sie sich mit den Bestimmungsmerkmalen von Bäumen auseinandersetzen, diese Merkmale an Originalobjekten betrachten und passende Apps zur Bestimmung einsetzen (Kompetenzbereich Messwert- & Datenerfassung)
- Bestimmungsapps in ihrem späteren Unterricht adressat*innengerecht und didaktisch reflektiert einsetzen, indem sie aufgrund eigener Erfahrungen mit den Apps und Input zu Studienergebnissen Potenziale und Grenzen sowie Herausforderungen ihres Einsatzes in Lehr-Lern-Situationen kritisch reflektieren (Kompetenzbereich Recherche & Bewertung)
- Arbeitsergebnisse im Team dokumentieren, aufbereiten und in Form einer Kurzpräsentation präsentieren (Kompetenzbereiche Dokumentation, Kommunikation & Kollaboration, Präsentation).

7 Hier erfolgen die Präsenzeinheiten 1 und 2 (s. Kap. 3.2.3) an einem Tag. Am nächsten Tag findet die Nachbereitung @Home statt. Die Präsenzeinheit 3 findet am dritten Tag statt. In der wöchentlichen Variante findet jede Woche eine Präsenzeinheit statt.

8 https://av.tib.eu/media/63953

9 https://doi.org/10.57961/0n9b-4f32

10 Die Ziele werden den Kompetenzbereichen des DiKoLAN-Frameworks (vgl. Thoms et al. 2022, S. 5 ff.) zugeordnet.

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

3.2.3 Ablauf, Lehr-Lern-Materialien & didaktisch-methodische Begründungen

Zum Erreichen der Lehr-/Lernziele wurde ein zehnstündiges *Blended-Learning*-Konzept entwickelt, bei dem die Vorteile von Online- und Präsenzlehre (vgl. Kunze & Frey 2021, S. 71 ff.) zum Tragen kommen: Auf eine E-Learning-Phase folgen zwei Präsenzeinheiten, wiederum eine E-Learning-Phase und eine abschließende Präsenzeinheit (s. Tab. 1). Diese strukturellen bzw. zeitlichen Merkmale orientieren sich an Studienergebnissen zur Nutzung von Lehrpersonenfort-/weiterbildungsangeboten (vgl. Richter et al. 2020, S. 145 ff.) und sollen eine Implementation in Curricula anderer Hochschulen und in die zweite und dritte Phase der Lehrpersonenbildung erleichtern.

Weiterhin wurden bei der Konzeption Merkmale beachtet, die laut Forschung die Effektivität einer Fort-/Weiterbildung von Lehrpersonen positiv beeinflussen (vgl. u. a. Desimone 2009, S. 183 f.; Roehrig 2023, S. 1197 ff.):

- *Klarer inhaltlicher Schwerpunkt:* Der inhaltliche Fokus liegt auf der Baumbestimmung mithilfe von Apps im Sachunterricht. Aus mehreren Gründen wurde sich bewusst für Bäume als Bestimmungsobjekte entschieden (für Details vgl. u. a. Hanses et al. 2022, S. 122): Lebensweltbezug, denn Kinder begegnen Bäumen i. d. R. jeden Tag; Relevanz von Bäumen und Wäldern für das Erreichen der Nachhaltigkeitsziele der Agenda 2030 (vgl. UN 2015, o. S.); Bezüge zum Perspektivrahmen Sachunterricht (vgl. GDSU 2013, S. 39 ff.), Begegnen der *plant awareness disparity* (vgl. Parsley 2020, S. 598 ff.); Vorteile beim Bestimmen (Bäume bewegen sich nicht wie Tiere, sind fast überall in Deutschland zu finden und relativ einfach anhand von Blättern über einen langen Zeitraum im Jahr zu bestimmen (vgl. Helbing & Heil 2022, S. 1 f.).
- *Kohärenz:* Da Lehramtsstudierende oftmals eine mangelnde Vernetzung zwischen Studieninhalten und ihrer Berufspraxis bemängeln (vgl. Wagener et al. 2019, S. 215 ff.), wurde darauf geachtet, dass die Kursinhalte und -aktivitäten einen klaren Grundschulbezug aufweisen. Zudem werden durch die Aktivitäten fachdidaktische und fachliche Lerninhalte vernetzt, um trägem, fragmentiertem Professionswissen vorzubeugen (vgl. Schwichow et al. 2019, S. 332).
- *Lerntheoretische Fundierung, aktives Lernen, Zusammenarbeit & Austausch:* Das Kurskonzept basiert auf der Lerntheorie des moderaten Konstruktivismus (vgl. u. a. Riemeier 2006, S. 69 ff.). In mehreren handlungsorientierten Arbeitsphasen können die Lernenden aktiv ihre Kompetenzen testen und weiterentwickeln, indem sie in Kleingruppen von zwei bis drei Personen zusammenarbeiten. Die dozierende Person agiert primär in der Rolle als Lernbegleitung, die den Lernprozess strukturiert und Reflexionsanlässe schafft.

Zentrales Element des Kurses ist eine handlungsorientierte Arbeitsexkursion (vgl. Gryl & Kuckuck 2023, S. 17 f.). Dem klassischen Dreischritt einer Exkursion (vgl. Stolz & Feiler 2018, S. 57 ff.) folgend, ist sie eingebettet in eine Einführungs-, Vorbereitungs- sowie Nachbereitungsphase. Alle Phasen werden nachfolgend vorgestellt (s. auch Tab. 1).

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Tabelle 1: Ablauf des Blended-Learning-Kurses mit seinen Phasen, ihrer Dauer, dem Format und einer Übersicht der verwendeten Medien

Phase Nr.	Phase	Dauer	Format	Medien
1	Einführung Teil 1	60 min	E-Learning	• Screencast 1 • Screencast 2 (optional) & H5P-Quiz • Tablet oder Laptop • QR-Codes Bestimmungsapps • Smartphone
2	Einführung Teil 2 & Vorbereitung	90 min	Präsenz	• Präsentationsfolien Sitzung 1 • Einlaminierte Laubbaumblätter • Arbeitsblatt Sitzung 1 • Tool-Typen-Karten • Tipp-Karten • Tablet, Laptop oder Stift • Smartphone mit Bestimmungsapps
3	Exkursion	180 min	Präsenz	• Präsentationsfolien Sitzung 2 • Arbeitsblatt Sitzung 2 • Kriterienraster lang • Kriterienraster kurz • Tablet oder Klemmbrett mit Stift • Smartphone mit Bestimmungsapps
4	Nachbereitung	180 min	E-Learning	• Vorlage Hauptapp-Kurzvorstellung • Arbeitsblatt Sitzung 2 • Kriterienraster lang • Kriterienraster kurz • Tablet oder Laptop • Moodle-Quiz • Smartphone mit Bestimmungsapps
5	Nachbesprechung, Reflexion & Abschluss	90 min	Präsenz	• Präsentationsfolien Sitzung 3 • Folien der Gruppen zur Hauptapp-Kurzvorstellung • Kärtchen für Reflexion

Phase 1: Einführung Teil 1
Zur Einführung in den Kurs und Vorbereitung auf die Präsenzeinheiten werden den Studierenden über den digitalen Lernraum eine Woche vor Beginn der ersten Präsenzeinheit zwei Screencasts (vgl. Hanses et al. 2022, S. 118 ff.) zur Verfügung gestellt. Ihre Gestaltung orientiert sich an den von Findeisen et al. (2019, S. 21 ff.) und Kulgemeyer (2018, S. 8 ff.) beschriebenen Elementen qualitativ hochwertiger, lernwirksamer Erklärvideos. Je nach Bedarf und Lerntyp können die Videos mehrmals angeschaut oder zwischendurch gestoppt werden (vgl. Sugar et al. 2010, S. 2).

Screencast 1[11] ist ca. 13 Minuten lang und besteht aus drei Teilen: Der Vorspann (00:00-03:56 min), welcher durch seinen Fernsehdokumentationscharakter weit über ein klassisches Screencast-Format hinausgeht, hat die Funktion, einen emotionalen Zugang zum übergeordneten Thema des Kurses (Biodiversitätskrise) zu schaffen und Interesse zu wecken, indem Lebensweltbezüge hergestellt und die Relevanz von Wäldern als

11 https://av.tib.eu/media/63710; Präsentationsfolien: https://doi.org/10.57961/8f46-q016

Biodiversitätshotspots hervorgehoben werden (vgl. Kulgemeyer 2018, S. 10; Sugar et al. 2010, S. 11 ff.). Mithilfe des Hauptteils im klassischen Screencast-Format aus vertonten, animierten Folien (03:56-11:45 min) werden die Studierenden über die Hintergründe sowie Ziele des Kurses informiert und es wird Transparenz zum Ablauf der folgenden Phasen geschaffen (vgl. Macke et al. 2016, S. 93; Sugar et al. 2010, S. 11 ff.). Zudem werden die Teilnehmer*innen gebeten, acht ausgewählte Bestimmungsapps auf ihren Smartphones oder Tablets (s. QR-Codes[12]) zu installieren. Der Abspann (11:45-13:06 min) ist eine gekürzte und leicht abgeänderte Variante des Abspanns von Hanses et al. (2022, S. 129 f.): Die mit mitreißender Musik hinterlegten Videos eines Waldspaziergangs im Zeitraffereffekt, in denen die Namen von Baumarten eingeblendet werden und eine beispielhafte Bestimmung einer Rotbuche mit der App *Flora Incognita* gezeigt wird, sollen eine Vorschau auf die Aktivitäten im Kurs geben und Interesse wecken.

Der 14-minütige Screencast 2[13] hat die Funktion, den Kursteilnehmer*innen fachwissenschaftliche Grundlagen zur Bestimmung von Bäumen zu vermitteln, die die Basis für die kommenden Aktivitäten bilden. Das Anschauen des Videos ist optional, da davon auszugehen ist, dass sich Studierende der Fächer Sachunterricht (Schwerpunkt Naturwissenschaften und Technik) oder Biologie bereits in anderen Kursen Wissen dazu angeeignet haben, während Studierende anderer Fächer wenig Vorwissen mitbringen (s. Kap. 3.2.1). Auch dieses Video ist in einen Vorspann, Hauptteil und Abspann unterteilt. Im Hauptteil (00:28-12:54 min) wird die Arbeitsweise des Bestimmens definiert und darauf aufbauend werden Bestandteile eines Baums vorgestellt, die als Merkmale zur Bestimmung herangezogen werden können. Um das Lernen zu erleichtern, wurde bei der Foliengestaltung besonders das Multimediaprinzip (Kombination aus Bild, Text und gesprochenem Wort; vgl. Findeisen et al. 2019, S. 19; Kulgemeyer 2018, S. 9 f.) beachtet. Interaktive H5P-Quiz-Elemente[14] mit automatisiertem Feedback ermöglichen den Lernenden eine direkte, individuelle Überprüfung ihres Wissens (vgl. Findeisen et al. 2019, S. 16 ff.). Mit Electro-Musik untermalte Bilder und Texteinblendungen zu zentralen Baumbestimmungsmerkmalen im Vorspann (00:00-00:28 min) sowie Abspann (12:54-14:06 min) greifen die Kernthemen des Hauptteils auf und sollen einen emotionalen Zugang (vgl. Findeisen et al. 2019, S. 19 ff.) zur modernen digitalen Baumbestimmung schaffen.

Phase 2: Einführung Teil 2 und Vorbereitung der Exkursion
Die Einstiegsphase der 90-minütigen Präsenzsitzung 1 (s. Tab. 1) dient dem kurzen Kennenlernen, um eine partnerschaftliche Lernatmosphäre zu schaffen (vgl. Macke et al. 2016, S. 79 ff.). Als Nebenziel sollen die Studierenden durch die Warm-Up-Runde (s. Präsentationsfolien[15] 3 bis 5) für das Phänomen der *plant awareness disparity* (vgl. Parsley 2020, S. 598 ff.) sensibilisiert werden. Zudem wird Transparenz bezüglich der Ziele der Sitzung geschaffen, indem zwei Zitate von Wissenschaftler*innen eingeblendet werden (s. Folie 7, u. a.: „Es ist sinnvoll, vor jeder Verwendung einer neuen App eine kriterienorientierte Bewertung durchzuführen. So kann die App auf etwaige Mängel untersucht werden" (Greifenstein 2021, S. 121)). Dies soll die Teilnehmer*innen bei der Selbststeuerung ihres Lernens in der Erarbeitungsphase unterstützen (vgl. Zumbach & Astleitner 2016, S. 117 ff.). Bevor sie beginnt, werden in der Gelenkphase gemeinsam im Sitzkreis Typen und Eigenschaften analoger Bestimmungsschlüssel gesammelt (Folien 8-15), indem Beispielexemplare an die Lernenden verteilt und verglichen werden. Das Herausarbeiten von Nachteilen und Herausforderungen des Einsatzes dieser im Unterricht leitet zur 40-minütigen Erarbeitungsphase über, die als thematische Hinführung zur Exkursion (vgl. Gryl & Kuckuck 2023, S. 16) dient und bestimmte Aktivitäten vorbereitet. Ziel ist es, dass die Kleingruppen mithilfe der auf dem Arbeitsblatt[16] beschriebenen handlungsorientierten Tätigkeiten Kriterien aufstellen, die sie als relevant für die Bewertung des didaktischen Potenzials von Bestimmungsapps erachten. Gleichzeitig werden die unterschiedlichen Charakteristika der zwei Haupttypen von Bestimmungsapps (s. Kap. 2.1) herausgearbeitet, indem jede Gruppe – durch die Zuteilung über die Tool-Karten[17] (s. Abb. 2a) – mit je einer automatischen und einer manuellen App Laubbäume anhand ihrer Blätter bestimmt (s. Abb. 2b, 2c). Haben die Gruppen Schwierigkeiten bei der Beantwortung der Fragen,

12 https://doi.org/10.57961/0010-te39
13 https://av.tib.eu/media/63702; Präsentationsfolien: https://doi.org/10.57961/gddy-2169
14 Das Video ist über ein H5P-Plugin im digitalen Lernraum integriert.
15 https://doi.org/10.57961/66yd-my52
16 https://doi.org/10.57961/zfjn-tg84
17 https://doi.org/10.57961/gz62-1k65

kann auf Tippkarten[18] (zwei Stufen) zurückgegriffen werden (vgl. Förster-Kuschel 2022, S. 12). Die Erkenntnisse werden in der Sicherungsphase besprochen. Die Kursleitung moderiert und gibt ergänzend theoretischen Input (Folien 20 bis 31), u. a. zu existierenden Kriterienkatalogen zur Bewertung des Potenzials von (Bestimmungs-)Apps für das Lernen (für Details s. nächste Phase) und zum SAMR-Modell (vgl. Puentedura 2013, o. S.). Diese Informationen werden für die Exkursion benötigt, auf die zum Schluss ein Ausblick gegeben wird (Folie 32, Organisationsinformationen).

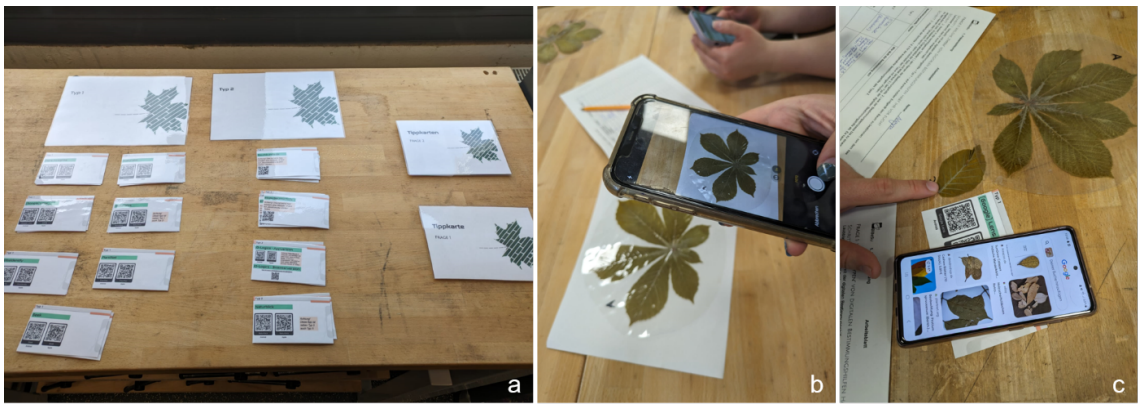


Abbildung 2: Impressionen aus Präsenzsitzung 1. a) Tool-Karten zur Zuordnung der Bestimmungsapps zu den Gruppen (links) und Tippkarten (rechts); b) Fotografieren eines einlaminierten Laubbaumblattes zur Bestimmung mithilfe einer automatischen App; c) Vergleichen der von der App ausgegebenen Bestimmungsergebnisse mit dem Originalobjekt (eigene Darstellung)

Phase 3: Exkursion

Ziel der dreistündigen physisch-materiellen, digital gestützten handlungsorientierten Arbeitsexkursion (vgl. Gryl & Kuckuck 2023, S. 13 ff.) ist es, dass die Teilnehmer*innen mithilfe vorstrukturierter Aufgaben (s. Arbeitsblatt[19]) und der selbstständigen Anwendung fachspezifischer Arbeitsweisen (Bestimmen, Betrachten, Zeit messen, Vergleichen, Protokollieren, Sachzeichnen, Kartieren) Expert*innen für drei Bestimmungsapps werden. Die Exkursion findet auf dem Universitätsgelände[20] statt, da dieses durch ein Arboretum unterschiedlichste Baumarten aufweist und organisatorische Herausforderungen, wie z. B. die An-/Abreise (vgl. Stolz & Feiler 2018, S. 68 ff.), entfallen.

Bevor die Arbeitsphase auf dem Gelände beginnt, werden die Aufgaben (inkl. der Nachbereitung @Home) sowie Verhaltensregeln im Kursraum besprochen (s. Präsentationsfolien[21] 3 bis 11), um ein autonomes Arbeiten zu ermöglichen und Missverständnissen vorzubeugen (vgl. Stolz & Feiler 2018, S. 67). Jeder Kleingruppe wird eine „Hauptapp" zugeordnet, die anderen beiden Apps können aus einer Liste frei gewählt werden, um im Sinne der Selbstbestimmungstheorie (vgl. Deci & Ryan 1985, S. 26 ff.) eine gewisse Wahlfreiheit zu ermöglichen.

18 https://doi.org/10.57961/n117-ya96
19 https://doi.org/10.57961/drw1-sp83
20 Es empfiehlt sich eine Vorexkursion (vgl. Stolz & Feiler 2018, S. 61), um den Lernort auf seine Eignung zu untersuchen.
21 https://doi.org/10.57961/6cbe-s306

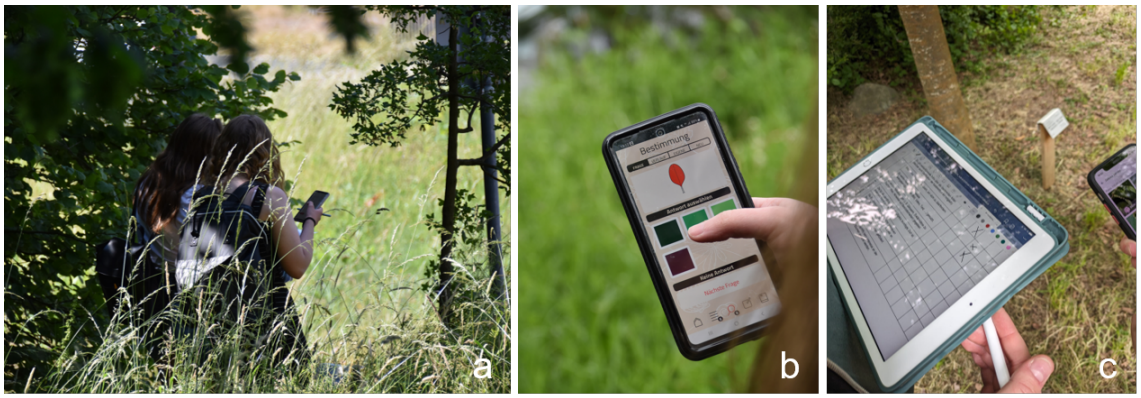


Abbildung 3: Impressionen aus Präsenzsitzung 2. a) Partner*innenarbeit im Gelände; b) Baumbestimmung mithilfe der manuellen App ID-Logics; c) Ausfüllen des Kriterienrasters zur Bewertung der Bestimmungsapps (eigene Darstellung)

Während der Arbeit im Gelände setzen sich die Gruppen – durch im Schwierigkeitsgrad zunehmende Aufgaben – intensiv und kritisch mit den Apps, Bäumen und ihrer Diversität auseinander (s. Abb. 3). Dabei beschreiten sie in Aufgabe B und C den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg, indem Vermutungen überprüft werden (vgl. u. a. Stiller et al. 2020, S. 28 ff.). Die Aktivitäten der letzten Präsenzsitzung aufgreifend, bewerten die Studierenden die Apps mithilfe von Kriterienrastern, die aus Leitlinien für eine kindgerechte Bestimmungshilfe (vgl. Feketitsch 2013, S. 29 ff.), einem Messinstrument zur App-Analyse (vgl. Greifenstein 2021, S. 122 ff.) sowie Kriterien zur Bewertung von Bestimmungsapps (vgl. Schmidt 2021, S. 172) zusammengestellt wurden. Für die Hauptapp gibt es ein langes, zweiseitiges Raster[22], für die beiden anderen Apps ein kurzes, einseitiges Raster[23]. Je App soll zusätzlich angegeben werden, um welchen Typus von Bestimmungshilfe (s. Kap. 2.1) es sich handelt und die Hauptapp in eine Stufe des SAMR-Modells (vgl. Puentedura 2013, o. S.) eingeordnet werden.

Phasen 4 und 5: Nachbereitungsphase, Nachbesprechung, Reflexion und *Abschluss*
Bei der Nachbereitung der Exkursionsaufgaben (s. Tab. 1), welche gleichzeitig die summative Prüfungsleistung ist, können die Gruppenmitglieder selbst entscheiden, ob sie die Aufgaben aufteilen oder gemeinsam erledigen. Dies hängt auch davon ab, wie sie die Aufgaben auf der Exkursion eingeteilt haben. Neben einer ausführlichen digitalen Dokumentation der Bestimmungs- und Kartierungsergebnisse auf dem Arbeitsblatt (s. Abb. 4b) und dem Übertragen aller App-Bewertungsergebnisse in den digitalen Lernraum (via Moodle-Quiz, Zweck s. unten) ist es die Hauptaufgabe, ein Kurzreferat über die zugeteilte Hauptapp vorzubereiten. Mithilfe dieser Kurzreferate können sich die Gruppen zu Anfang der abschließenden Präsenzsitzung in kurzer Zeit gegenseitig über ihre zentralen Erkenntnisse bezüglich Chancen und Herausforderungen des Lernens mit der jeweiligen App informieren (vgl. Schürmann 2017, o. S.; Abb. 4a). Eine Folien-Vorlage[24] wird gestellt, damit jede Kurzvorstellung ähnlich abläuft und ein Vergleich der Apps erleichtert wird. Direkte Nachfragen, Anmerkungen und Ergänzungen aller Anwesenden sind möglich. Die/Der Dozierende schließt diese Phase durch eine zusammenfassende Einordnung der untersuchten Apps in das SAMR-Modell und die Präsentation der mithilfe des Moodle-Quiz zusammengeführten Appbewertungen (s. Präsentationsfolien[25] 4 bis 10) ab. Es ist ein kritischer Austausch über die Bewertungsergebnisse angeraten, u. a. darüber, dass die Apps nicht in einem unterrichtlichen Kontext getestet wurden.

22 https://doi.org/10.57961/057B-7F21
23 https://doi.org/10.57961/KNKJ-V493
24 https://doi.org/10.57961/TJ82-EP83
25 https://doi.org/10.57961/s9ye-2z26

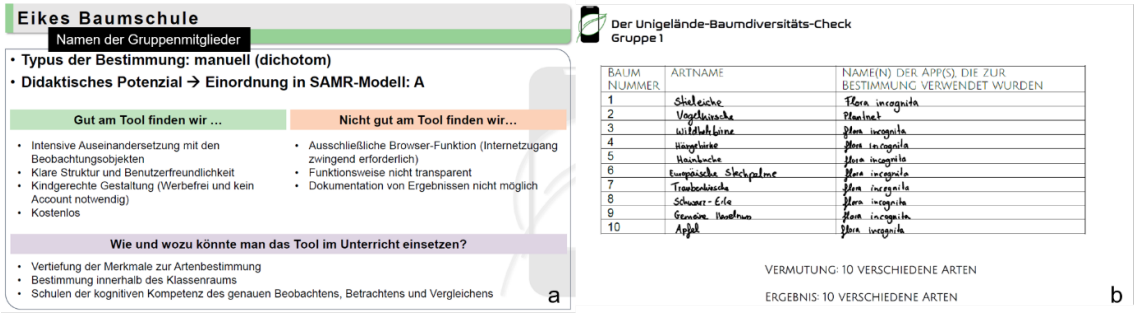


Abbildung 4: Beispiel-Produkte aus der Nachbereitungsphase. a) Folie einer Gruppe zur Kurzpräsentation des Bestimmungstools Eikes Baumschule; b) Arbeitsergebnis einer Gruppe zur Aufgabe „Unigelände-Baumdiversitäts-Check“ (eigene Darstellung)

Es folgt eine weitere Austauschphase im Plenum, in der die Studierenden in der Rolle als angehende Lehrpersonen – geleitet durch Fragen der/des Dozierenden – über die Erlebnisse der Exkursion, in der sie auch die Rolle von Lernenden innehatten, reflektieren. Dieser pädagogische Doppeldecker (vgl. Wahl 2013, S. 64 ff.) hilft den Teilnehmer*innen, u. a. abzuleiten, welche kognitiven und affektiv-motivationalen Wirkungen das Arbeiten mit bestimmten Bestimmungsapps auf Lernende haben kann. Auch wird diskutiert, inwieweit Bestimmungsapps „als Medium für den Zugang zu außerschulischem Lernen“ (Schmidt 2021, S. 170) und zur Welt der Biodiversität dienen können. Ihre Überlegungen werden von der/dem Dozierenden durch theoretischen Input zu Forschungsergebnissen und aus Publikationen entnommenen Unterrichtsvorschlägen ergänzt (s. Folien 11 bis 21). Zur individuellen Reflexion schließt die Sitzung in Orientierung an Stolz & Feiler (2018, S. 52) in Form eines schriftlichen Blitzlichts (Macke et al. 2016, S. 203 f.) zu drei Fragen, u. a. „Was nehmt ihr als angehende Lehrpersonen für (digitale) Bestimmungsübungen im Unterricht mit?“ (s. Folie 27).

Um die praktische Umsetzung der neu erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten zu unterstützen (vgl. Lipowsky & Rzejak 2012, S. 2), werden den Studierenden nach Abschluss der letzten Präsenzsitzung über den digitalen Lernraum neben den gebündelten Folien der Kurzpräsentation zwei Zusatzmaterialien zur Planung (ausführliche Vergleichstabelle zu Eigenschaften der Bestimmungsapps[26]) und Durchführung (E-Book „Der kleine Baumführer“[27]) von Bestimmungsübungen im Unterricht bereitgestellt.

3.3 Messinstrument & Auswertungsmethodik

Als Messinstrument wurde ein Online-Fragebogen mit primär geschlossenen Fragen und ergänzenden offenen Fragen verwendet. Als Software diente *SoSci Survey* (SoSci Survey GmbH, München, Deutschland).

Um die Anonymität der Befragten zu gewährleisten und dennoch eine Zuordnung der Datensätze aus Pre- und Posttest zu ermöglichen, wurde zu beiden Messzeitpunkten ein persönlicher Code abgefragt. Zum ersten Messzeitpunkt wurden soziodemographische Strukturdaten und Vorerfahrungen erhoben (s. Kap. 3.4).

Zur quantitativen Beantwortung der Forschungsfragen F1 bis F3 wurden bestehende Skalen aus anderen Studien adaptiert und zu beiden Messzeitpunkten eingesetzt. Die Studierenden sollten je Item mittels fünfstufiger Likert-Skala angeben, inwieweit die Aussage derzeit auf sie zutrifft (1=„trifft nicht zu“ bis 5=„trifft vollständig zu“). Um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, wurde die Items innerhalb der Skalen zwischen Pre- und Posttest rotiert (vgl. Döring & Bortz 2016, S. 254 f.).

Die subjektiven digitalen Kompetenzen in Bezug auf Bestimmungsapps (s. F1) wurden mithilfe einer von Rubach & Lazarides (2019) entwickelten Skala, die sich an den Bereichen digitaler Kompetenzen der Kultusministerkonferenz (2016) orientiert, abgefragt. Dazu wurden folgende drei Subskalen adaptiert:

26 https://doi.org/10.57961/07K7-T763
27 https://doi.org/10.57961/0s71-j367

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

„Problemlösen & Handeln“, „Analysieren & Reflektieren“ und „Unterrichten & Implementieren“ (vgl. Rubach & Lazarides 2019, S. 353 ff., s. Tab. 2).

Tabelle 2: Informationen zu den Subskalen des Konstruktes „Subjektive digitale Kompetenzen in Bezug auf Bestimmungsapps“: Anzahl der zugehörigen Items, je ein Beispiel-Item und Angaben zur internen Konsistenz im Pre- und Posttest (Cronbachs α)

Subskala	**Anzahl Items**	**Beispiel-Item**	**Adaptiert von**	**α Pre**	**α Post**
Problemlösen & Handeln[28]	4	Ich kenne eine Vielzahl von Bestimmungsapps und kann diese bedarfsgerecht einsetzen.	Rubach & Lazarides 2019	.689	.871
Analysieren & Reflektieren[29]	3	Ich erkenne Chancen und Risiken des Gebrauchs von Bestimmungsapps und kann diese reflektieren.		.621	.768
Unterrichten & Implementieren[30]	3	Ich erkenne die Potenziale der Nutzung von Bestimmungsapps für die Unterrichtsgestaltung.		.811	.770

Ergänzend zur Selbsteinschätzung der digitalen Kompetenzen in Bezug auf Bestimmungsapps, wurden *CK*- sowie *PCK*-bezogene FSK mithilfe von vier Subskalen, die jeweils aus vier Items bestehen, untersucht (s. F2; s. Tab. 3). Diese wurden von Beudels et al. (2021) und Heran-Dörr (2006) adaptiert.

28 „Im Kompetenzbereich ‚Problemlösen und Handeln‘ werden Fähigkeiten beschrieben, die das Lösen technischer Probleme, die bedarfsgerechte Anwendung von digitalen Werkzeugen oder auch das […] Ermitteln sowie Auflösen von persönlichen Defiziten betreffen“ (Rubach & Lazarides 2019, S. 353 ff.).

29 „Der ‚Kompetenzbereich, Analysieren und Reflektieren‘ erfasst die Analyse und Reflexion von Medien und bezieht sich auf ein Grundverständnis über die Vielfalt an digitalen Medien und deren Funktion sowie Wirkung“ (Rubach & Lazarides 2019, S. 355).

30 Der Kompetenzbereich beschreibt die „Fähigkeit, Lernpotenziale digitaler Medien für die Unterrichtsgestaltung zu erkennen“ (Rubach & Lazarides 2019, S. 364).

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Tabelle 3: Informationen zu den Skalen der CK- und PCK-bezogenen FSK-Konstrukte: Subskalen, Anzahl der zugehörigen Items, je ein Beispiel-Item und Angaben zur internen Konsistenz im Pre- und Posttest (Cronbachs α); *=inverse Formulierung, Item umcodiert

Konstrukt	**Subskala**	**Anzahl Items**	**Beispiel-Item**	**Adaptiert von**	**α Pre**	**α Post**
CK-FSK	Benennen von Baumarten/ Artenkenntnis Bäume	4	Wenn ich in einem Garten einen Baum sehe, kann ich sofort seinen Artnamen angeben.	Beudels et al. 2021	.917	.819
	Digitale Bestimmung von Bäumen	4	Es fällt mir leicht, Bäume mithilfe von digitalen Bestimmungshilfen zu bestimmen.	Heran-Dörr 2006	.749	.540
PCK-FSK	Bestimmungsübungen mit Apps im Unterricht	4	Ich traue mir zu, Bestimmungsübungen im Unterricht durchzuführen, in denen die Kinder mit digitalen Bestimmungshilfen arbeiten.		.727	.550
	Thema Baumbestimmung im Unterricht	4	Ich fühle mich nicht kompetent genug, das Thema „Baumbestimmung“ im Unterricht zu behandeln.*		.740	.513

Das situationale Interesse an den Kursinhalten (F3) wurde in den Subskalen emotional, epistemisch sowie wertbezogen (je vier Items; adaptiert von Hanses et al. 2022, s. Tab. 4) nur im Posttest erhoben.

Zur Untersuchung der Entwicklung des L-Interesses (F3) wurden im Pre- und Posttest insgesamt vier Subskalen (3x Dimension *subject interest*, 2x *didactic interest*), die von Langfeldt (2022) und Heran-Dörr (2006) adaptiert wurden, genutzt (s. Tab. 4).

Tabelle 4: Informationen zu den Skalen der Interessens-Konstrukte: Subskalen, Anzahl der zugehörigen Items, je ein Beispiel-Item und Angaben zur internen Konsistenz im Pre- und Posttest (Cronbachs α); *=inverse Formulierung, Item umcodiert

Konstrukt	**Subskala**	**Anzahl Items**	**Beispiel-Item**	**Adaptiert von**	**α Pre**	**α Post**
Situationales Interesse	emotional	4	Die Tätigkeiten im Kurs haben mir Spaß gemacht.	Hanses et al. 2022	/	.825
	epistemisch	4	Ich kann mir vorstellen, mich auch in meiner Freizeit mit den Themen des Kurses zu beschäftigen.		/	.817
	wertbezogen	4	Die Inhalte des Kurses sind für mich als (angehende) Lehrkraft wichtig.		/	.860
Subject interest (SI)	Thema Bäume	4	Es macht mir Spaß, mich mit dem Thema „Bäume“ zu beschäftigen.	Langfeldt 2022	.776	.672
	Arbeitsweise Bestimmen	4	Ich finde es langweilig, mich mit der Arbeitsweise „Bestimmen“ zu beschäftigen.*		.808	.601
	Thema Bestimmungsapps	4	Ich bin interessiert, Neues zum Thema „Bestimmungsapps“ zu lernen.		.828	.660
Didactic interest (DI)	Einsatz von Bestimmungsapps im Unterricht	4	Ich habe Interesse daran, Bestimmungsapps im Unterricht einzusetzen.	Heran-Dörr 2006	.569	.623
	Einsatz von Bestimmungsübungen im Unterricht	4	Bestimmungsübungen im Unterricht zu integrieren, macht mir keinen Spaß/ wird mir keinen Spaß machen.*		.707	.700

Zum zweiten Messzeitpunkt wurden – in Orientierung an den Kriterien zur Wirksamkeit von Lehrpersonenfortbildungsmaßnahmen (vgl. Lipowsky & Rzejak 2012, S. 2 f.) – zudem die Reaktionen der Teilnehmer*innen mithilfe offener Fragen abgefragt. Diese lauten:

- *Spontanreaktion* (adaptiert von Beudels 2021): „Wenn du dich heute an den gesamten Kurs zurückerinnerst, was (Inhalte, Erfahrungen etc.) kommt dir spontan in den Sinn?“
- *Lieblingseinheit* (adaptiert von Beudels 2021): „Welche der Kurseinheiten hat dir am besten gefallen? Begründe hier kurz deine Wahl:“

- *Screencast* (adaptiert von Vasiljuk & Budke 2023): „Was gefällt dir an Screencast 1 (besonders) gut?“
- *Weiterempfehlungsgründe* (adaptiert von Beudels 2021): „Aus welchem Grund/welchen Gründen würdest den Kurs (nicht) weiterempfehlen?“
- *Weiteres Feedback* (adaptiert von Beudels 2021): „Möchtest du weiteres Feedback zum Kurs geben? Dann notiere es hier:“

In die nachfolgend beschriebene Datenanalyse wurden nur vollständige Fälle einbezogen, d. h. Datensätze von Personen, die lediglich zu einem Messzeitpunkt teilnahmen, die o. g. Skalen nicht komplett bearbeiteten oder/und bei denen zentrale soziodemographische Strukturdaten fehlten, wurden ausgeschlossen. Die quantitativen Daten wurden mithilfe der Software SPSS Version 29 (IBM, Böblingen, Deutschland) ausgewertet. Invers formulierte Items wurden zunächst umcodiert. Zur Berechnung der Reliabilität der Skalen (Pre- und Posttest) wurde die Methode der internen Konsistenz (vgl. Döring & Bortz 2016, S. 443) genutzt. Die jeweiligen Werte des Reliabilitätskoeffizienten Cronbachs α sind in den Tab. 2 bis 4 festgehalten. Cronbachs α-Werte <.5 wurden als inakzeptabel, >.6 als fragwürdig, >.7 als akzeptabel, >.8 als gut und >.9 als exzellent bewertet (vgl. Blanz 2015, S. 256). Da alle Werte im akzeptablen Bereich lagen, wurden für die folgenden Schritte keine Items aus den Skalen entfernt. Für mehrere Skalen lagen die α-Werte allerdings im fragwürdigen Bereich, weshalb die Ergebnisse entsprechend vorsichtig interpretiert werden (s. Kap. 5.1). Die normierten Summenscores der Konstrukte wurden mittels Kolmogorov-Smirnov-Test mit Lilliefors-Korrektur sowie optischer Prüfung anhand von Histogrammen auf Normalverteilung geprüft (vgl. Janssen & Laatz 2017, S. 248 f.). Die Prüfung ergab, dass alle Summenscores nicht normalverteilt sind. Daher wurde zur Beantwortung der Forschungsfragen das nichtparametrische Testverfahren des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben[31] (vgl. Janssen & Laatz 2017, S. 674 ff.) genutzt. Der Pearson-Korrelationskoeffizient r wurde zur Bewertung der Effektstärke herangezogen (r≥.10: kleiner Effekt, r≥.30: mittlerer Effekt, r≥.50: großer Effekt, vgl. Cohen 1988, S. 82). Zur Darstellung der Ergebnisse wurden Boxplots (vgl. Janssen & Laatz 2017, S. 739 ff.) verwendet. Deskriptive Statistik (absolute und relative Häufigkeiten, Mittelwert und Standardabweichung, Mediane, Interquartilsabstand (IQR), Minimum und Maximum) wurde für die Beschreibung der Stichprobe sowie der Boxplots genutzt.

Ausgewählte Antworten der Studierenden auf die offenen Fragen (s. o.), die auf Veränderungen der untersuchten Kompetenzen oder Faktoren, die sie beeinflusst haben könnten, hindeuten, werden im Ergebnisteil genutzt, um die quantitativen Ergebnisse zu illustrieren[32].

3.4 Stichprobe

Nach dem Ausschluss unvollständiger Datensätze beträgt die in der Datenauswertung berücksichtigte Stichprobe N_{ges}=57 Studierende[33]. 87.7% (n=50) waren weiblich, 12.3% (n=7) männlich und 0% divers. Im Durchschnitt waren die Befragten M=22.2 (SD=3.4) Jahre alt.

89.5% (n=51) befanden sich im Bachelorstudium, 10.5% (n=6) im Masterstudium. 94.7% (n=54) studierten mit dem Ziel Grundschullehramt, 3.5% (n=2) mit dem Ziel Lehramt an Gymnasien/Gesamtschulen (u. a. Fach Biologie) und eine Person studierte nicht mit dem Ziel Lehramt (Kombi-B.A. mit den Fächern Biologie und Erziehungswissenschaften). Von den Grundschullehramtsstudierenden belegte die Mehrheit (68.4% (n=39)) das Drittfach Sachunterricht mit Schwerpunkt Naturwissenschaften und Technik, 10.6% (n=6) studierten im M.Ed. Sachunterricht, 5.3% (n=3) belegten das Drittfach Sachunterricht mit Schwerpunkt Geographie, jeweils eine Person studierte Sachunterricht mit Schwerpunkt Geschichte und Sozialwissenschaften und 7.0% (n=4) studierten ein anderes Drittfach (2x evangelische Theologie, 1x katholische Theologie, 1x Sportwissenschaft).

Die Hälfte (50%) der Befragten befand sich im 3. oder 4. Fachsemester. Es nahmen aber auch Studierende aus dem 1. bis 2. (19.3%), 5. bis 6. (24.6%) sowie 7. Fachsemester oder höher (5.3%) teil.

31 Signifikanzniveaus: $p \leq .05$ signifikant, $p \leq .01$ sehr signifikant, $p \leq .001$ höchst signifikant (vgl. Bühl 2019, S. 171)

32 Hinweis: Es wurde keine systematische qualitative Inhaltsanalyse durchgeführt.

33 Es lagen 117 vollständige Pretest- und 61 vollständige Posttest-Datensätze vor. 60 Studierende nahmen nur am Pretest teil, vier weitere Personen nur am Posttest.

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

63.2% (n=36) der Studierenden absolvierten die wöchentliche Kurs-Variante, 36.8% (n=21) die Blockkurs-Variante. 56.1% (n=32) der Befragten gaben an, Vorerfahrungen mit Bestimmungsapps zu haben, während 40.4% (n=23) dies verneinten und 3.5% (n=2) unsicher waren. Bei Ersteren stammen die meisten Vorerfahrungen aus dem Kontext Studium (45.6%; Kurse: Botanik-Vorlesung, Biologieübung), während bei den Befragten im Rahmen von Freizeit- (15.8%) und Schulaktivitäten (Rolle Lernende: 3.5%, Rolle Lehrende: 1.8%) wenig Erfahrungen mit Bestimmungsapps bestanden.

4 Ergebnisse

4.1 Subjektive digitale Kompetenzen in Bezug auf Bestimmungsapps

Vor dem Kurs schätzen die meisten Befragten ihre Kompetenzen im Bereich „Problemlösen & Handeln" eher niedrig bis mittelmäßig ein (s. Abb. 5; $Md_{\text{Pre-Problemlösen \& Handeln}}$=2.75; IQR=1.125; Min=1.00, Max=4.00). Nach dem Kurs sind die subjektiven digitalen Kompetenzen in diesem Bereich signifikant höher ($Md_{\text{Post-Problemlösen \& Handeln}}$=4.50; IQR=1.00; Min=3.00, Max=5.00; asymptotischer Wilcoxon-Test: z=-6.46, p<.001, N=57). Die Effektstärke liegt bei r=.856 (großer Effekt).
Ihre Fähigkeiten im Bereich „Analysieren und Reflektieren" stufen die Studierenden vor Beginn des Kurses als mittelmäßig ein ($Md_{\text{Pre-Analysieren \& Reflektieren}}$=3.00; IQR=1.00; Min=1.00, Max=4.33). Am Ende des Kurses ist die Kompetenzeinschätzung in Bezug auf diesen Bereich signifikant höher ($Md_{\text{Post-Analysieren \& Reflektieren}}$=4.33; IQR=1.00; Min=3.00, Max=5.00; asymptotischer Wilcoxon-Test: z=-6.50, p<.001, N=57; s. Abb. 5). Auch hier liegt mit r=.861 ein großer Effekt vor.
Im Vergleich zu den beiden anderen Kompetenzbereichen schätzen die Befragten ihre digitalen Kompetenzen im Bereich „Unterrichten & Implementieren" vor dem Kurs etwas höher ein (s. Abb. 5; $Md_{\text{Pre-Unterrichten \& Implementieren}}$=3.67; IQR=1.00; Min=1.00, Max=5.00). Auch hier gibt es eine signifikante Zunahme der subjektiven digitalen Kompetenzen mit großem Effekt ($Md_{\text{Post-Unterrichten \& Implementieren}}$=4.67; IQR=1.00; Min=3.00, Max=5.00; asymptotischer Wilcoxon-Test: z=-5.44, p<.001, N=57; r=.720).

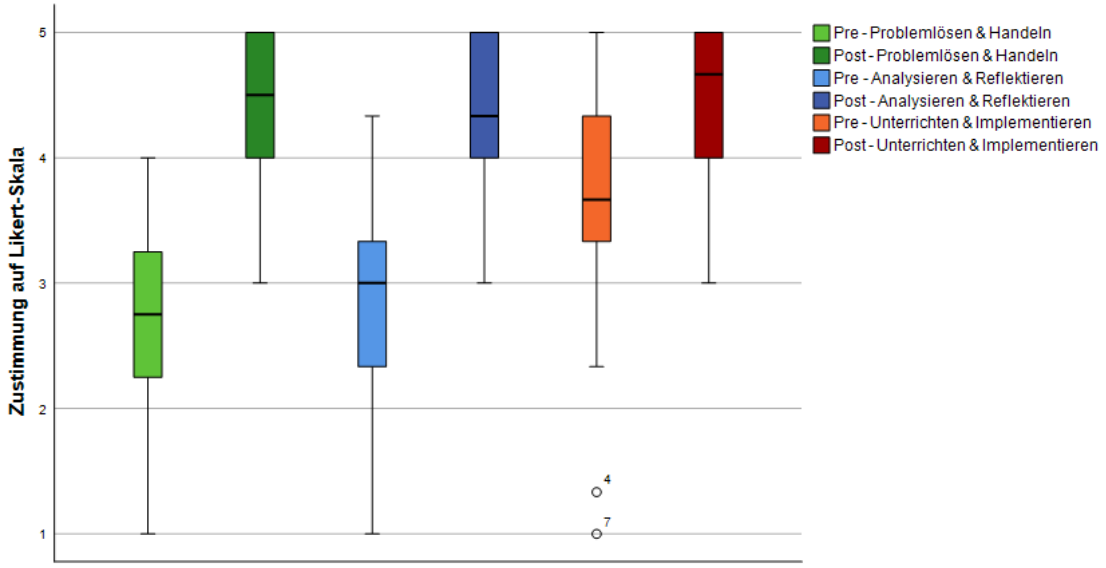


Abbildung 5: Subjektive digitale Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf Bestimmungsapps in den Subskalen „Problemlösen & Handeln" (grün), „Analysieren & Reflektieren" (blau) und „Unterrichten & Implementieren" (orange-rot) zu Beginn und nach dem Ende des Kurses (N=57) (eigene Darstellung)

Auch einige offene Antworten der Studierenden deuten auf eine subjektiv wahrgenommene Zunahme der hier fokussierten digitalen Kompetenzen hin. Viele beziehen sich auf den Bereich „Unterrichten & Implementieren", wie z. B. die Studierende S292: „Mir ist besonders in Erinnerung geblieben, welche Apps für den Gebrauch in der Grundschule geeignet sind und auf welche Dinge man als Lehrkraft achten sollte". Dabei

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

geht es auch um den Umgang mit Herausforderungen (Bereich „Problemlösen & Handeln“; S109: „[…] Auch unter Berücksichtigung eventueller Einschränkungen, z. B. fehlendes WLAN bzw. Datenverbindung während der Exkursion“). Mehrere Studierende deuten mit ihren Aussagen an, dass sie für die Vielfalt der Bestimmungsapps mit ihren Funktionen, Chancen und Risiken sensibilisiert wurden (z. B. S96: „Zudem kommen mir die verschiedenen Apps mit ihren unterschiedlichen Funktionsweisen und den jeweiligen Vor- und Nachteilen in den Sinn“; S112: „Viele Bestimmungsapps, die einiges versprechen, aber nicht immer gut sind“) und Analyse-/Reflexionskompetenzen zugenommen haben (z. B. S82: „Bessere Einschätzungskompetenz von Apps“).

4.2 CK- und PCK-bezogene Fähigkeitsselbstkonzepte

Die Befragten schätzen ihre Fähigkeit zur Benennung von Bäumen auf Artniveau zu Kursbeginn als mittelmäßig ein, wobei die Streuung relativ groß ist (s. Abb. 6; $Md_{\text{Pre-CK-FSK-Artenkenntnis Bäume}}$=3.00; IQR=1.50; Min=1.00, Max=4.75). Am Kursende ist das FSK signifikant höher, obwohl sich der Median mit $Md_{\text{Post-CK-FSK-Artenkenntnis Bäume}}$=3.00 nicht verändert hat (IQR=1.25; Min=1.75, Max=4.75; asymptotischer Wilcoxon-Test: z=-3.94, p<.001, N=57). Die Effektstärke beträgt r=.522 (großer Effekt).

Das FSK in Bezug auf die digitale Bestimmung von Bäumen nimmt vom Pretest ($Md_{\text{Pre-CK-FSK-Digitale Baumbestimmung}}$=3.50; IQR=1.25; Min=2.00, Max=5.00) zum Posttest signifikant bei großer Effektstärke zu ($Md_{\text{Post-CK-FSK-Digitale Baumbestimmung}}$=4.50; IQR=1.00; Min=3.00, Max=5.00; asymptotischer Wilcoxon-Test: z=-5.27, p<.001, N=57; r=.698; s. Abb. 6).

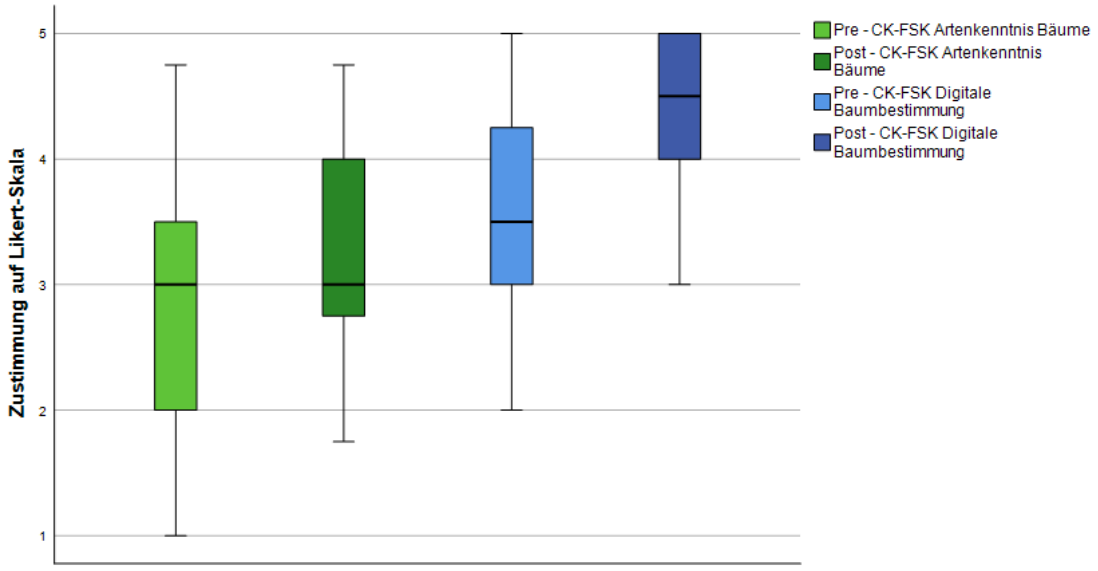


Abbildung 6: CK-FSK der Studierenden in Bezug auf das Benennen von Baumarten/Artenkenntnis Bäume (grün) und die digitale Bestimmung von Bäumen (blau) zu Beginn und nach dem Ende des Kurses (N=57) (eigene Darstellung)

Wie in Abb. 7 ersichtlich, ist für die untersuchten *PCK*-bezogenen FSK zunächst festzuhalten, dass sie zu Kursbeginn mit einem $Md_{\text{Pre-PCK-FSK-Bestimmungsübung Apps}}$=3.75 (IQR=1.00; Min=2.50, Max=5.00) und $Md_{\text{Pre-PCK-FSK-Baumbestimmung Unterricht}}$=4.00 (IQR=.75; Min=2.00, Max=5.00) als mittelmäßig bis hoch zu bezeichnen sind.

Am Kursende schätzen die Studierenden ihre Fähigkeiten zur Implementation von digitalen Bestimmungsübungen im Unterricht signifikant höher ein ($Md_{\text{Post-PCK-FSK-Bestimmungsübung Apps}}$=4.50; IQR=1.00; Min=3.00, Max=5.00; asymptotischer Wilcoxon-Test: z=-4.41, p<.001, N=57; r=.583). Auch das FSK bezüglich der Verankerung des Themas Baumbestimmung im Unterricht nimmt signifikant zu ($Md_{\text{Post-PCK-FSK-Baumbestimmung Unterricht}}$=4.50; IQR=.875; Min=2.50, Max=5.00; asymptotischer Wilcoxon-Test: z=-3.49, p<.001, N=57; s. Abb. 7). Mit r=.462 liegt ein mittlerer Effekt vor.

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

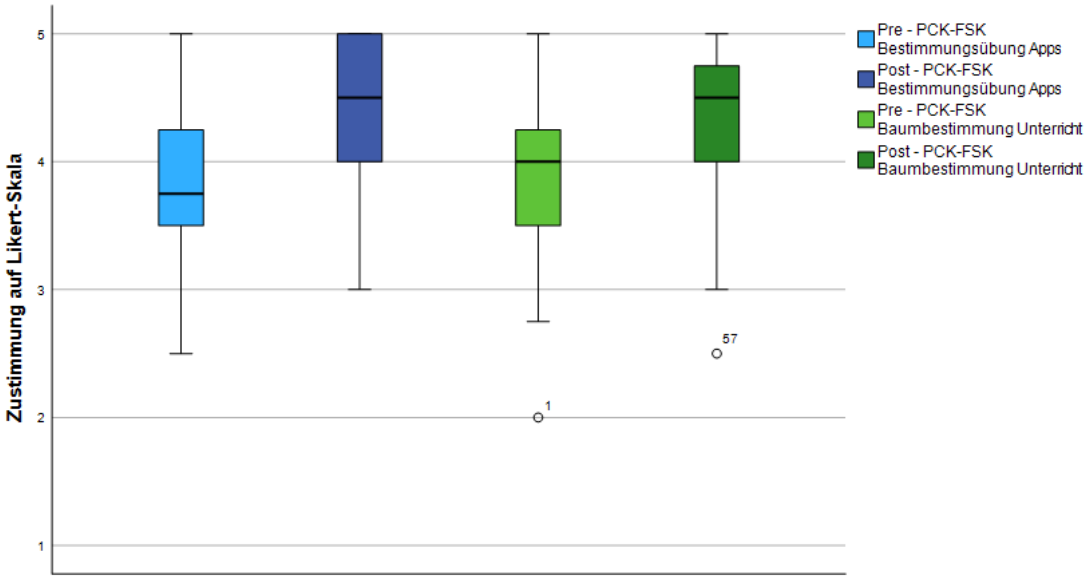


Abbildung 7: PCK-FSK der Studierenden in Bezug auf Bestimmungsübungen mit Apps im Unterricht (blau) und Thema Baumbestimmung im Unterricht (grün) zu Beginn und nach dem Ende des Kurses (N=57) (eigene Darstellung)

Die offenen Antworten der Befragten weisen auf Faktoren hin, die die untersuchten *CK*- und *PCK*-bezogenen FSK beeinflusst haben könnten. Diese betreffen primär die Erlebnisse auf der Exkursion. So äußert S68: „Hat total viel Spaß gemacht, sich mit den einzelnen Apps und Bäumen auseinander zu setzen". Es wird von einer intensiven Auseinandersetzung mit den Bäumen (S82: „Man war den Pflanzen nah") und ihrer Diversität (S154: „Man konnte die Biodiversität bestimmter Stellen entdecken") berichtet. Die Aussage von S143 deutet auf ein positives Kompetenzerleben hin: „eigenständiges Herausfinden der Baumart, die wir uns ausgesucht haben". In Bezug auf die Zunahme der Fähigkeiten zur Gestaltung von digitalen Bestimmungsübungen im Unterricht äußert S68: „Ich denke […] dass ich gerade im Bezug auf die Bestimmung im Unterricht viele Ideen und Einsatzmöglichkeiten von Unterrichtsinhalten und Bestimmungsapps mitgenommen habe".

4.3 Situationales Interesse und L-Interesse

Am Ende des Kurses wurde das situationale Interesse an den Kursinhalten gemessen. Dieses kann in Bezug auf die emotionale Komponente ($Md_{emotional}$=4.50; IQR=1.00; Min=3.00, Max=5.00) und die wertbezogene Komponente ($Md_{wertbezogen}$=5.00; IQR=.75; Min=3.50, Max=5.00) als sehr hoch bezeichnet werden. Auch in Bezug auf die epistemische Komponente ist das situationale Interesse als hoch zu bewerten, wobei die Spannweite der Einschätzung hier größer ist ($Md_{epistemisch}$=4.25; IQR=1.375; Min=2.50, Max=5.00; s. Abb. 8).

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

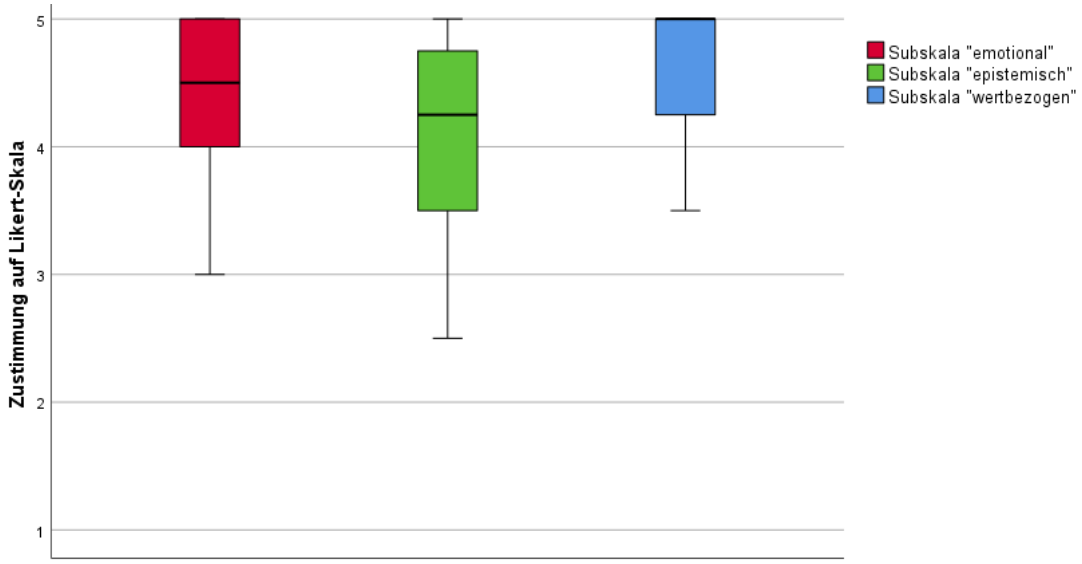


Abbildung 8: Situationales Interesse an den Kursinhalten in den Subskalen „emotional“ (rot), „epistemisch“ (grün) und „wertbezogen“ (blau) am Ende des Kurses (N=57) (eigene Darstellung)

Wie Abb. 9 verdeutlicht, ist das *subject interest* der meisten Studierenden am Thema Bäume ($Md_{Pre\text{-}SI\text{-}Bäume}$=4.25; IQR=.75; Min=2.50, Max=5.00), an der Arbeitsweise Bestimmen ($Md_{Pre\text{-}SI\text{-}Bestimmen}$=4.25; IQR=.75; Min=2.00, Max=5.00) und am Thema Bestimmungsapps ($Md_{Pre\text{-}SI\text{-}Bestimmungsapps}$=4.25; IQR=.75; Min=2.25, Max=5.00) zu Kursbeginn hoch bis sehr hoch.
Während es beim *subject interest* am Thema Bäume keine signifikante Veränderung über die Zeit gibt ($Md_{Post\text{-}SI\text{-}Bäume}$=4.25; IQR=1.00; Min=2.50, Max=5.00; asymptotischer Wilcoxon-Test: z=-.27, *p*=.789, N=57), nimmt das *subject interest* an der Arbeitsweise Bestimmen ($Md_{Post\text{-}SI\text{-}Bestimmen}$=4.25; IQR=.75; Min=2.75, Max=5.00; asymptotischer Wilcoxon-Test: z=-2.65, *p*=.008, N=57; r=.351) und am Thema Bestimmungsapps ($Md_{Post\text{-}SI\text{-}Bestimmungsapps}$=4.50; IQR=1.00; Min=3.50, Max=5.00; asymptotischer Wilcoxon-Test: z=-2.308, *p*=.021, N=57; r=.306) signifikant bei mittlerer Effektstärke zu.

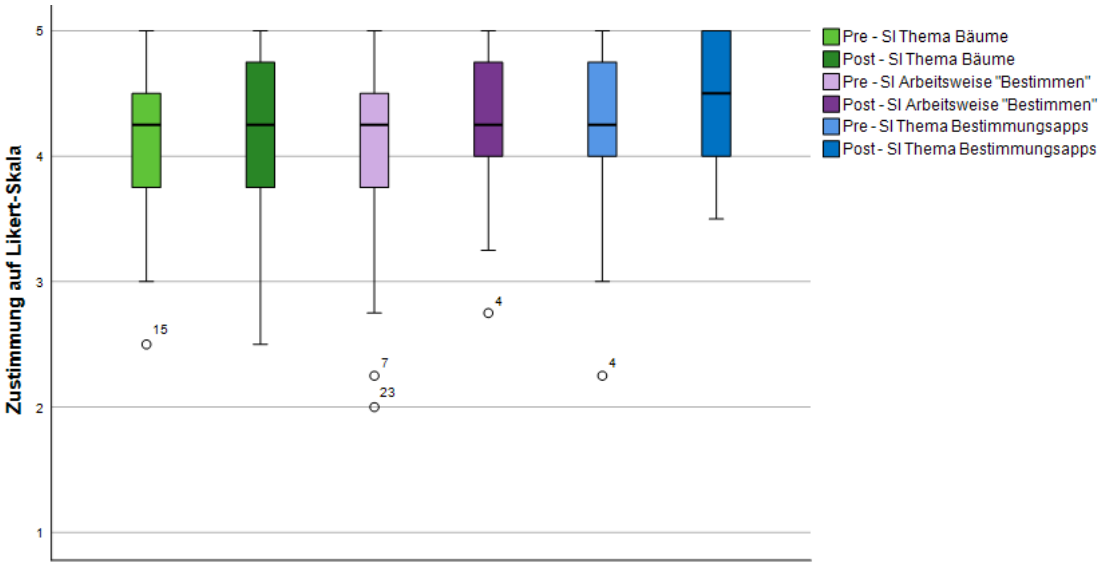


Abbildung 9: Subject interest (SI) der Studierenden am Thema Bäume (grün), an der Arbeitsweise „Bestimmen“ (violett) und am Thema Bestimmungsapps (blau) zu Beginn und nach dem Ende des Kurses (N=57; eigene Darstellung)

Das *didactic interest* am Einsatz von Bestimmungsapps im Unterricht ($Md_{Pre\text{-}DI\text{-}Einsatz\ Apps\ Unterricht}$=4.50; IQR=.75; Min=3.75, Max=5.00) und am Einsatz von Bestimmungsübungen im Unterricht ($Md_{Pre\text{-}DI\text{-}Einsatz\ Bestimmungsübungen}$=4.50; IQR=.875; Min=3.00, Max=5.00) ist bereits zum ersten Messzeitpunkt als sehr hoch zu bezeichnen (s. auch Abb. 10).

Es ist keine signifikante Änderung des *didactic interest* am Einsatz von Bestimmungsapps im Unterricht ($Md_{Post\text{-}DI\text{-}Einsatz\ Apps\ Unterricht}$=4.75; IQR=.75; Min=3.00, Max=5.00; asymptotischer Wilcoxon-Test: z=-.906, p=.365, N=57) und am Einsatz von Bestimmungsübungen im Unterricht ($Md_{Post\text{-}DI\text{-}Einsatz\ Bestimmungsübungen}$=4.50; IQR=.75; Min=3.00, Max=5.00; asymptotischer Wilcoxon-Test: z=-1.192, p=.233, N=57) während des Kursverlaufs festzustellen.

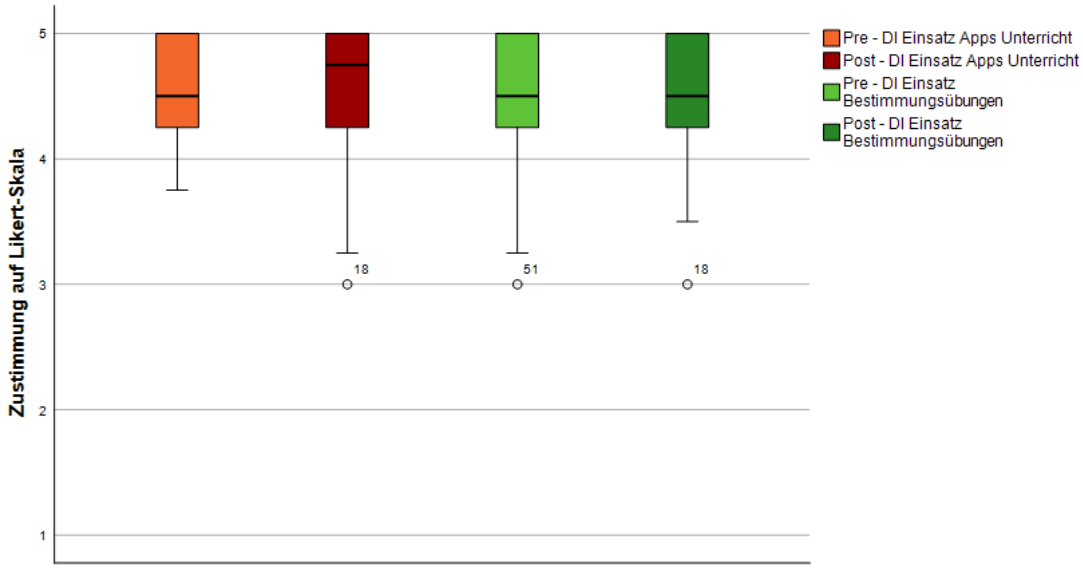


Abbildung 10: Didactic interest (DI) der Studierenden am Einsatz von Bestimmungsapps im Unterricht (orange-rot) und am Einsatz von Bestimmungsübungen im Unterricht (grün) zu Beginn und nach dem Ende des Kurses (N=57) (eigene Darstellung)

Auch an dieser Stelle werden exemplarisch offene Antworten von Studierenden zitiert, die auf ein hohes situationales Interesse bzw. Faktoren hindeuten, die in Zusammenhang mit dem Wecken von Interesse stehen. Dazu gehören die Interessantheit der Kursinhalte sowie die Kursstruktur. S176 äußert: „Die Inhalte waren durchgehend interessant, hatten einen reinen Grundschulbezug und der Kurs war durch seine Aufteilung in @home-Phasen und Präsenzphasen mit Trockenübung und Exkursion sehr spannend gestaltet und hat mich durch die Abwechslung motiviert, den Inhalten zu folgen“. Die folgende Aussage steht in Bezug zur epistemischen Interessenskomponente: „Der Kurs ist gut strukturiert und hat mich wirklich motiviert, mich mehr mit dem Thema zu beschäftigen“ (S287). Weitere Aussagen deuten auf das Tangieren wertbezogener (S149: „viel Mehrwert als angehende Lehrkraft, relevantes Allgemeinwissen“) und emotionaler Aspekte (S123: „hat viel Spaß gemacht – sei es der Austausch mit Anderen oder das Bestimmen mithilfe der Apps“; S109: „Die Kursatmosphäre war sehr schön“) hin. Weiterhin wird der Einfluss der Dozierenden erwähnt: „Die Kursleiterin war sehr engagiert und mega vorbereitet. Es hat Spaß gemacht ihr zu zuhören, da sie ihr Interesse für die Themen sehr spannend an uns weitergegeben hat“ (S131). Auch die eingesetzten Medien scheinen eine Rolle gespielt zu haben (z. B. S143: „Die Präsentationen waren ansprechend und interessant gestaltet“; S123: „Der Screencast war spannend gestaltet und hat mit moderner und interessanter Hintergrundmusik dafür gesorgt, dass man sich den ganzen Screencast gerne ohne sich selbst abzulenken angeschaut hat. Sehr fesselnd, kreativ und gleichzeitig informativ“).

5 Diskussion

5.1 Methodendiskussion

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Begleitforschung sind methodische Limitationen und kontextuelle Einflussfaktoren zu berücksichtigen, die im Folgenden diskutiert werden.

Um die interne Validität (vgl. Döring & Bortz, S. 93 ff.) zu sichern, wurde der Lehr-Lern-Baustein über beide Erhebungszeiträume hinweg von derselben dozierenden Person durchgeführt. Auch die Gruppengrößen während der Arbeitsphasen und die Befragungszeiträume für Pre-/Posttest wurden konstant gehalten. Dennoch bestand keine Kontrolle über alle möglichen Störvariablen (vgl. Schaal & Randler 2004, S. 10 f.). So variierten u. a. der Exkursionsort auf dem Universitätsgelände, der Kursraum und das Wetter zwischen den Gruppen, was z. B. Einfluss auf das Arbeiten und Kompetenzerleben gehabt haben kann. Die Möglichkeit zur Selbstselektion (über die Wahlfreiheit bezüglich der Kursteilnahme und des Kursformats) kann mit unterschiedlichen Voraussetzungen einhergehen, die sich wiederum auf die Forschungsergebnisse auswirken. Auch das Kursformat selbst kann einen Einfluss auf die Ergebnisse haben (vgl. u. a. Beudels 2021, S. 3 ff.). Die Nutzung eines Ein-Gruppen-Pretest-Posttest-Forschungsdesigns ohne Kontrollgruppe(n) limitiert die Aussagekraft zur Wirksamkeit der Intervention, da alternative Erklärungen für die gemessenen Effekte nicht ausgeschlossen werden können. Folgestudien sollten daher auf ein (quasi-)experimentelles Design zurückgreifen, um die interne Validität zu erhöhen (vgl. Döring & Bortz 2016, S. 94 f.). Ebenso wäre eine Follow-up-Erhebung einige Monate nach Kursende wünschenswert, um Aussagen zur Stabilität der Effekte treffen zu können (vgl. Döring & Bortz 2016, S. 1023).

Zur Datenerhebung wurde eine Online-Befragung gewählt, da sie eine ökonomische Durchführung ermöglicht und Interviewer*inneneffekte reduziert, was die Durchführungsobjektivität erhöht (vgl. Pötschke 2009, S. 77 f.). Als Nachteil gilt jedoch die häufig geringe Rücklaufquote (vgl. Pötschke 2009, S. 83). In diesem Fall füllten deutlich weniger Personen den Posttest vollständig aus (s. Kap. 3.4), was u. a. an der Freiwilligkeit der Befragung und dem Ausfüllen zu Hause nach dem Kursende liegen kann. Ein Ausfüllen am Ende der letzten Präsenzeinheit könnte die Rücklaufquote erhöhen. Die Stichprobengröße von N=57 ist für eine explorative, hochschuldidaktische nicht-experimentelle Längsschnittstudie akzeptabel (vgl. Cohen 1988, S. 83 ff.), bleibt aber hinsichtlich der Repräsentativität eingeschränkt. Für eine Generalisierbarkeit der Ergebnisse und/oder Gruppenvergleiche (z. B. Kursformate) wäre eine deutlich größere Stichprobe nötig, indem der Kurs z. B. an weiteren Hochschulstandorten durchgeführt wird.

Die verwendeten Skalen wurden aus bestehenden Instrumenten adaptiert, jedoch nicht eigens validiert. Die teilweise niedrigen internen Konsistenzen einzelner Subskalen (s. Tab. 2-4) könnten u. a. auf die geringe Itemanzahl oder eine eingeschränkte Antwortvarianz zurückzuführen sein (vgl. Döring & Bortz 2016, S. 468 ff.). Zur Erhöhung der Reliabilität wären zudem Faktorenanalysen sinnvoll, um inhaltlich noch konsistentere Subskalen zu identifizieren und unpassende Items auszuschließen (vgl. Hartig et al. 2012, S. 162). Aufgrund der Stichprobengröße wurde darauf in dieser Studie jedoch verzichtet (vgl. Hinderks et al. 2016, o. S.). Weiterhin ist bei der Ergebnisinterpretation zu beachten, dass die motivationalen Orientierungen ausschließlich via Selbsteinschätzung erhoben wurden. Solche Einschätzungen können durch mangelnde Erfahrung (s. Kap. 3.4) oder durch fehlende Vergleichsmaßstäbe verzerrt sein (vgl. u. a. Dickhäuser 2006, S. 6). Auch wenn es einen positiven Zusammenhang zwischen den tatsächlichen Kompetenzen und dem zugehörigen FSK gibt (u. a. Paulick et al. 2016, S. 176 ff.), ist für die FSK perspektivisch eine ergänzende objektive Erhebung u. a. der Artenkenntnis und des Wissens über Bestimmungsapps sinnvoll, um die Validität der Skalen abzusichern. Die in den Ergebnissen zitierten offenen Antworten der Studierenden wurden ausschließlich illustrativ verwendet und ersetzen keine systematische qualitative Auswertung. Ohne eine solche qualitative Inhaltsanalyse sind daraus keine generalisierbaren Aussagen ableitbar (vgl. u. a. Döring & Bortz 2016, S. 541 ff.). Für weiterführende Untersuchungen empfiehlt sich daher eine systematische Inhalts- beziehungsweise thematische Analyse mit transparenter Kategoriendefinition, um die quantitativen Befunde inhaltlich zu triangulieren (vgl. Döring & Bortz 2016, S. 83).

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

5.2 Ergebnisdiskussion

Die Ergebnisse der Begleitforschung erlauben erste Rückschlüsse auf die motivationale Wirksamkeit des Lehr-Lern-Bausteins.

Ähnlich wie bei Beudels et al. (2021, S. 148 f.), Hanses et al. (2022, S. 135 f.) und Hastedt & Grospietsch (2024, S. 126) ist zunächst festzuhalten, dass etwas weniger als die Hälfte der Teilnehmer*innen vor dem Kurs noch keine Erfahrungen mit Bestimmungsapps gemacht hat. Trotzdem schätzen sie ihre Kompetenzen in Bezug auf (den Umgang mit) Bestimmungsapps im Schnitt als mittelmäßig bis gut ein (s. Kap. 4.1 und 4.2). Hier könnten bei der Selbsteinschätzung vorhandene Erfahrungen mit anderen digitalen Tools übertragen worden sein oder fehlende Referenzerfahrungen zu einer Selbstüberschätzung der Kompetenzen geführt haben (vgl. Kruger & Dunning 1999, S. 1121 ff.). Die Ergebnisse des Pretests, wonach die Studierenden ihre Fähigkeit zur Benennung von Baumarten sehr unterschiedlich einschätzen, decken sich mit jenen von Beudels et al. (2021, S. 151 ff.).

Bei allen untersuchten FSK sind signifikante Zuwächse mit mittleren bis großen Effektstärken zu verzeichnen. Bereichsspezifische FSK – wie sie hier untersucht wurden – gelten als stärker veränderbar als Selbstkonzepte auf höheren Hierarchieebenen (vgl. Moschner & Dickhäuser 2010, S. 761). Kompetenzerleben (s. Aussagen der Studierenden) in den handlungsorientierten Arbeitsphasen ist ein Faktor, der zur FSK-Zunahme geführt haben kann (vgl. Dickhäuser 2006, S. 6). So erleben sich die Teilnehmer*innen z. B. als kompetent, wenn sie mit einer App einen Baum korrekt bestimmen oder wenn sie durch die dozierende Person eine positive Leistungsrückmeldung (vgl. u. a. Moschner & Dickhäuser 2010, S. 761) zu ihren Arbeitsergebnissen erhalten. Auch externale und internale Vergleiche können bei der Veränderung der FSK eine Rolle gespielt haben (vgl. Paulick et al. 2017, S. 114 ff.). In der Präsentationsphase der Gruppen oder auch während der Kleingruppenarbeit kann es zu sozialen Vergleichen kommen, bei denen festgestellt wird, dass man z. B. im Umgang mit Bestimmungsapps mehr oder weniger kompetent ist als andere Personen. Über temporale Vergleiche über den Kurszeitraum hinweg (z. B. 1. versus 2. Präsenzsitzung) kann reflektiert werden, inwieweit sich die eigenen Kompetenzen weiterentwickeln.

FSK und Interesse können sich gegenseitig beeinflussen (vgl. u. a. Marsh et al. 2005, S. 397 ff.). Das gemessene hohe situationale Interesse an den Kursinhalten (s. Kap. 4.3) kann u. a. zu intensiveren Kompetenzerfahrungen durch eine tiefe Auseinandersetzung mit den Inhalten beigetragen haben. Neben der Interessantheit der Kursinhalte, der Gestaltung der Kursmaterialien und dem Einfluss der dozierenden Person – Faktoren, die von den Studierenden als motivierend bezeichnet wurden (s. Kap. 4.3) – könnte auch die Erfüllung der drei menschlichen psychologischen Bedürfnisse (vgl. Deci & Ryan 1985, S. 26 ff.) ein hohes situationales Interesse bewirkt haben. Die Gruppenarbeiten und Plenumsphasen gewährleisten eine soziale Eingebundenheit, während in den vorstrukturierten Arbeitsphasen mit den Apps, die durch Arbeitsmaterialien begleitet werden, Kompetenz- und Autonomieerleben ermöglicht wird. Das L-Interesse ist in Bezug auf alle hier untersuchten Facetten bereits im Pretest hoch bis sehr hoch. Es ist von einer Selbstselektionsverzerrung auszugehen (vgl. Döring & Bortz 2016, S. 294 ff.), denn Studierende, die sich bewusst für einen Wahlpflichtkurs zu Bestimmungsapps anmelden, haben wahrscheinlich ein hohes Interesse an dem Thema. Das hohe situationale Interesse kann dazu geführt haben, dass das *subject interest* an der Arbeitsweise Bestimmen sowie am Thema Bestimmungsapps signifikant bei mittlerer Effektstärke zugenommen hat (vgl. Hidi & Renninger 2006, S. 114 ff.). Bei den anderen untersuchten L-Interessens-Facetten ist keine Änderung über die Zeit zu beobachten. Hier können nicht nur Deckeneffekte (vgl. Döring & Bortz 2016, S. 738) eine Rolle spielen, sondern auch die relative Stabilität des L-Interesses (vgl. Eren 2012, S. 304; Schiefele et al. 2013, S. 11). Der Lehr-Lern-Baustein hat eine Dauer von zehn Stunden. Für eine dauerhafte Steigerung des Interesses (und anderer Kompetenzen) ist auf Basis von Studien eine mindestens doppelt so lange Kursdauer angeraten. Die Verteilung der Lernaktivitäten über die Zeit kann sich ebenfalls auf den Output auswirken (vgl. Desimone 2009, S. 184). Darauf bezugnehmend, könnten u. a. Einheiten ergänzt werden, in denen sich die Studierenden selbst mit Forschungsergebnissen zur Wirksamkeit des Einsatzes von Bestimmungsapps im Unterricht auseinandersetzen, indem sie Artikel dazu lesen, zusammenfassen und sich gegenseitig präsentieren. Zur Förderung einer realistischen Einschätzung eigener Fähigkeiten in Bezug auf das Gestalten digital gestützter Bestimmungsübungen wäre es zudem angeraten, eine Unterrichtssequenz in der Schule durchführen, in der die Kinder mit Bestimmungsapps arbeiten. Die Erfahrungen könnten im Anschluss im Kurs reflektiert werden.

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

5.3 Fazit

Durch diesen Beitrag stehen nun erstmalig ein detailliertes Konzept sowie Lehr-Lern-Materialien in Form von frei zugänglichen *Open Educational Resources* (OER) für die Professionalisierung von Sachunterrichtsstudierenden für einen reflektierten Einsatz von Bestimmungsapps im Unterricht zur Verfügung. Diese können auch an anderen Aus- und Weiter-/Fortbildungsorten für (angehende) Lehrpersonen eingesetzt werden. Die CC-BY-Lizenzierung[34] ermöglicht eine individuelle Anpassung bzw. Weiterentwicklung der Materialien, je nachdem, was für das Lehr-Lern-Setting bzw. die Lerngruppe (z. B. auch angehende Biologie- oder Geographielehrpersonen) benötigt wird (vgl. Butcher 2013, S. 1 ff.). Einige Materialien, wie (die Folien zu) Screencast 2, sind auch für den Unterricht an Schulen nutzbar.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass der entwickelte Lehr-Lern-Baustein motivationale Orientierungen der Lehramtsstudierenden fördern kann, die dazu beitragen können, dass sie Bestimmungsapps im Unterricht reflektiert einsetzen, um die *Species Literacy* von Kindern zu fördern. Zukünftige Forschung sollte die langfristige Wirksamkeit des Kurses und seinen Einfluss auf das Unterrichtshandeln (z. B. durch Lehrpersoneninterviews und Unterrichtsbeobachtungen) prüfen. Zudem sollten Replikationsstudien an weiteren Hochschulstandorten mit größeren, heterogenen Stichproben sowie in quasi-experimentellen Vergleichen mit Kontrollgruppen durchgeführt werden. Ergänzend sind – wie in Kap. 5.1 erläutert – objektive Kompetenztests, faktoranalytische Validierungen der adaptierten Skalen und systematische qualitative Analysen zur triangulativen Absicherung der Befunde erforderlich.

Förderhinweis

Das hier beschriebene Projekt wurde von 2022 bis 2024 von der Joachim Herz Stiftung im Rahmen des Kolleg Didaktik:digital gefördert.

Literatur

Andić, B., Cvjetićanin, S., Lavicza, Z., Maričić, M., Novović, T. & Stešević, D. (2020): Mobile and printed dichotomous keys in constructivist learning of biology in primary school. *Research in Science & Technological Education, 39*(4), S. 393-420.

Baumert, J. & Kunter, M. (2006): Stichwort. Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9*(4), S. 469-520.

Beudels, M. (2021): *Kohärenz und Vielperspektivität im Sachunterrichtsstudium. Status quo und Wirksamkeit kohärenter, vielperspektivischer universitärer Lehrveranstaltungen sowie Entwicklung von Educative Curriculum Materials.* Wuppertal: Bergische Universität Wuppertal.

Beudels, M., Westerholt, D., Preisfeld, A. & Damerau, K. (2021): Biologische Bestimmungsapps in der Lehre – Eine Studie zum „Status quo" angehender Lehrkräfte. *Journal für Didaktik der Naturwissenschaften und der Mathematik (F), 5*, S. 141-163.

Beudels, M. & Kuckuck, M. (2024): Urbane Lost Places – Industriebrachen als Hotspots der Biodiversität mit digitalen Tools erkunden. *Praxis Geographie, 54*(4), S. 43-49.

Beudels, M. & Kuckuck, M. (2025): Der Natur digital auf der Spur – Apps zur Vegetationsbestimmung und -kartierung im Geographieunterricht. In H. Schmalor, S. Ciprina & K. Jebbink (Hrsg.), *Diercke Methoden – Exkursionen im Geographieunterricht* (S. 44-54). Braunschweig: Westermann.

Beunink, L. (2024): *„Veränderungen der Artenkenntnis im Kontext des Biodiversitätswandels: Herausforderungen und Potentiale"*. https://elekpub.bib.uni-wuppertal.de/ubwhs/download/pdf/7782226 (Abfrage: 03.04.2025).

Beunink, L., Damerau, K., Preisfeld, A., Busse, I. & Bleidißel, S. (2024): Die Entwicklung der zoologischen Artenkenntnis bei Biologiestudierenden. *Naturschutz und Landschaftsplanung, 56*(11), S. 20-27.

34 Videos ausgenommen

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Blanz, M. (2015): *Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit. Grundlagen und Anwendung.* Stuttgart: Kohlhammer.

Bühl, A. (2019): *Einführung in die moderne Datenanalyse ab SPSS 25* (16. akt. Aufl.). Hallbergmoos: Pearson.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (2024): *„Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt 2030"*. https://www.bundesumweltministerium.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/nbs_2030_strategie_bf.pdf (Abfrage: 20.02.2025).

Butcher, N. (2013): *„Was sind Open Educational Resources? Und andere häufig gestellte Fragen zu OER"* (deutsche Fassung bearbeitet von Barbara Malina und Jan Neumann, hrsg. von der Deutschen UNESCO-Kommission, Bonn 2013. Bearbeitete Übersetzung von: Neil Butcher, „A Basic Guide to Open Educational Resources (OER)", hrsg. von Commonwealth of Learning und UNESCO 2011, S. 1-22) www.unesco.de/assets/dokumente/Deutsche_UNESCO-Kommission/02_Publikationen/Publikation_Was_sind_Open_Educational_Resources.pdf (Abfrage: 03.05.2025).

Chapin, F. S., Zavaleta, E. S., Eviner, V. T., Naylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., Hooper, D. U., Lavorel, S., Sala, O. E., Hobbie, S. E., Mack, M. C. & Díaz, S. (2000): Consequences of changing biodiversity. *Nature, 405*, S. 234-242.

Cohen, J. (1988): *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2. Aufl.). New York, NY: Erlbaum.

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1985): *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior.* New York, NY: Plenum.

Desimone, L. M. (2009): Improving Impact Studies of Teachers' Professional Development: Toward Better Conceptualizations and Measures. *Educational Researcher, 38*(3), S. 181-199.

Dickhäuser, O. (2006): Fähigkeitsselbstkonzepte – Entstehung, Auswirkung, Förderung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 20*(1/2), S. 5-8.

Döring, N. & Bortz, J. (2016): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften (*5. vollst. überarb. u. akt. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.

Eren, A. (2012): Prospective Teachers' Interest in Teaching, Professional Plans about Teaching and Career Choice Satisfaction. A Relevant Framework? *Australian Journal of Education, 56*(3), S. 303-318.

Feketitsch, D. (2013): *„Eikes Baumschule – Entwicklung und Evaluation einer Online-Bestimmungshilfe für Kinder"*. phka.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/7/file/feketitsch_dissertation2013.pdf (Abfrage: 21.02.2025).

Findeisen, S., Horn, S. & Seifried, J. (2019): Lernen durch Videos – Empirische Befunde zur Gestaltung von Erklärvideos. *MedienPädagogik: Zeitschrift* für *Theorie und Praxis der Medienbildung, 19*(35), S. 16-36.

Finger, A., Groß, J. & Zabel, J. (2022a): Plant Identification in the 21st Century – What Possibilities Do Modern Identification Keys Offer for Biology Lessons? *Education Sciences, 12*(12), 849.

Finger, A., Bergmann-Gering, A. & Groß, J. (2022b): The medium matters! The effect of a mobile digital identification tool on students' intrinsic motivation during plant identification. *Journal of Biological Education, 58*(4), S. 892-914.

Förster-Kuschel, J. (2022): *„Gestufte Lernhilfen. Ein Leitfaden für betriebliche Ausbilderinnen und Ausbilder"*. www.tu-dresden.de/bu/wirtschaft/bwl/wipaed/ressourcen/dateien/forschung/Leitfaden_gestufte-Lernhilfen_final.pdf?lang=de (Abfrage: 21.02.2025).

Gerl, T., Mair, L. & Aufleger, M. (2020): Bestimmungsmethoden 4.0: Mit digitalen Tools die Artenkenntnis erweitern. *Unterricht Biologie, 453*, S. 44-47.

Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (2013): *Perspektivrahmen Sachunterricht* (Vollständig bearbeitete und erweiterte Ausgabe). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Greifenstein, L. (2021): Ein Messinstrument zur Appanalyse. In M. Haider & S. Knoth (Hrsg.), *Digitale Medien im Sachunterricht der Grundschule in Theorie und Praxis* (S. 120-125). Hamburg: AOL-Verlag.

Gryl, I. & Kuckuck, M. (2023): Geographische Bildung durch Exkursionen im vielperspektivischen Sachunterricht. In I. Gryl & M. Kuckuck (Hrsg.), *Exkursionsdidaktik. Geographische Bildung in der Grundschule* (S. 9-35). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

Guskey, T. (1988): Teacher efficacy, self-concept, and attitudes toward the implementation of instructional innovation. *Teaching and Teacher Education, 4*(1), S. 63-69.

Hanses, S., Westerholt, D., Preisfeld, A., Kuckuck, M. & Beudels, M. (2022): Humboldt versus Hightech?! Entwicklung und Erprobung eines Lehrkonzeptes zur Integration von Bestimmungsapps in die universitäre Sachunterrichtslehrpersonenausbildung. *DiMawe – Die Materialwerkstatt, 4*(1), S. 116-152.

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Hart, A. G., Bosley, H., Hooper, C., Perry, J., Sellors-Moore, J., Moore, O. & Goodenough, A. E. (2023): Assessing the accuracy of free automated plant identification applications. *People and Nature, 5*(3), S. 929-937.

Hartig, J., Frey, A. & Jude, N. (2012): Validität. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (2., aktualisierte, überarbeitete Aufl., S. 143-171). Berlin, Heidelberg: Springer.

Hastedt, A. & Grospietsch, F. (2024): Digitale Bestimmungshilfen für den Sach- und Biologieunterricht. Eine Übersicht über neun Anwendungen und fachdidaktische Forschungsergebnisse. *MNU-Journal, 2,* S. 123-128.

Hauenschild, K. (2013): Bildung für nachhaltige Entwicklung – Chancen für einen zeitgemäßen Sachunterricht. In E. Gläser & G. Schönknecht (Hrsg.), *Sachunterricht in der Grundschule. Entwickeln – gestalten – reflektieren* (S. 78-92). Frankfurt am Main: Grundschulverband (Beiträge zur Reform der Grundschule, 136).

Helbing, I. & Heil, I. (2022): Bestimmung von Bäumen mit Bestimmungsschlüssel und App. *BU praktisch, 5*(1), 4.

Hense, J. (2021): In 5 min von der Artenkenntnis zur Naturerfahrung. In U. Gebhard, A. Lude, A. Möller & A. Moormann (Hrsg.), *Naturerfahrung und Bildung* (S. 337-346). Wiesbaden: Springer.

Heran-Dörr, E. (2006): *Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung zur Förderung der physikdidaktischen Kompetenz von Sachunterrichtslehrkräften*. München: Ludwig-Maximilians-Universität München.

Hidi, S. & Renninger, K. A. (2006): The Four-Phase Model of Interest Development. *Educational Psychologist, 41*(2), S. 111-127.

Hinderks, A., Schrepp, M. & Thomaschewski, J. (2016): Iterative Ermittlung der Stichprobengröße bei der Faktorenanalyse. In S. Franken, U. Schroeder & T. Kuhlen (Hrsg.), *Mensch und Computer 2016* (o.S). Aachen: Tagungsband Gesellschaft für Informatik e.V.

Hochkirch, A., Bilz, M., Ferreira, C. C., Danielczak, A., Allen, D., Nieto, A., Rondinini, C., Harding, K., Hilton-Taylor, C., Pollock, C. M., Seddon, M., Vie, J.-C., Alexander, K., Beech, E., Biscoito, M., Braud, Y., Burfield, I. J., Buzzetti, F. M., Cálix, M. et al. (2023): A multi-taxon analysis of European Red Lists reveals major threats to biodiversity. *PLoS ONE, 18*(11), S. 1-13.

Hooykaas, M. J. D., Schilthuizen, M., Aten, C., Hemelaar, E. M., Albers, C. J. & Smeets, I. (2019): Identification skills in biodiversity professionals and laypeople: A gap in species literacy. *Biological Conservation, 238*, 108202.

Janssen, J. & Laatz, W. (2017): *Statistische Datenanalyse mit SPSS.* (9. überarb. u. erw. Aufl.). Berlin: Springer Gabler.

Jeno, L. M., Grytnes, J.-A. & Vandvik, V. (2017): The effect of a mobile-application tool on biology students' motivation and achievement in species identification: A Self-Determination Theory perspective. *Computers & Education, 107*, S. 1-12.

Kaasinen, A. (2019): Plant Species Recognition Skills in Finnish Students and Teachers. *Education Sciences, 9*(2), 85.

Kluczniok, K., Große, C. & Roßbach, H.-G. (2014): Heterogene Lerngruppen in der Grundschule. In W. Einsiedler, M. Götz, A. Hartinger, F. Heinzel, J. Kahlert & U. Sandfuchs (Hrsg.), *Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik* (4. erg. u. akt. Aufl., S. 194-199). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

Krapp, A. (1999): Intrinsische Lernmotivation und Interesse. Forschungsansätze und konzeptuelle Überlegungen. *Zeitschrift für Pädagogik, 45*(3), S. 387-406.

Kruger, J. & Dunning, D. (1999): Unskilled and Unaware of It: How Difficulties in Recognizing One's Own Incompetence Lead to Inflated Self-Assessments. *Journal of Personality and Social Psychology, 77*(6), S. 1121-1134.

Kulgemeyer, C. (2018): Wie gut erklären Erklärvideos? Ein Bewertungs-Leitfaden. *Computer + Unterricht, 29*(109), S. 8-11.

Kultusministerkonferenz (2016): *„Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz"*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2016/2016_12_08-Bildung-in-der-digitalen-Welt.pdf (Abfrage: 01.04.2015).

Kunze, L. & Frey, D. (2021): Digitale Lehre an der Hochschule: Warum Blended Learning so gut funktioniert. In D. Frey & M. Uemminghaus (Hrsg.), *Innovative Lehre an der Hochschule* (S. 69-86). Berlin, Heidelberg: Springer.

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Langfeldt, C. (2022): Das Interesse von Schülerinnen und Schülern am Thema „Ökosystem Wald“ sowie an themenbezogenen Arbeitsweisen. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie, 26*, S. 75-96.

Lindemann-Matthies, P. & Bose, E. (2008): How many species are there? Public understanding and awareness of biodiversity in Switzerland. *Human Ecology, 36*, S. 731-742.

Lipowsky, F. & Rzejak, D. (2012): Lehrerinnen und Lehrer als Lerner – Wann gelingt der Rollentausch? Merkmale und Wirkungen wirksamer Lehrerfortbildungen. *Schulpädagogik heute, 5*(3), S. 1-17.

Macke, G., Hanke, U., Viehmann-Schweizer, P. & Raether, W. (2016): *Kompetenzorientierte Hochschuldidaktik. Lehren – vortragen – prüfen – beraten* (3. Aufl.). Weinheim: Beltz.

Marsh, H. W., Trautwein, U., Lüdtke, O., Köller, O. & Baumert, J. (2005): Academic Self-Concept, Interest, Grades, and Standardized Test Scores: Reciprocal Effects Models of Causal Ordering. *Child Development, 76*(2), S. 397-416.

Mishra, P. & Koehler, M. (2006): Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record, 108(*6), S. 1017-1054.

Moschner, B. & Dickhäuser, O. (2010): Selbstkonzept. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (4. überarbeitete und erweiterte Aufl., S. 760-767). Weinheim, Basel: Beltz.

Parsley, K. M. (2020): Plant awareness disparity: A case for renaming plant blindness. *Plants, People, Planet, 2*(6), S. 598-601.

Paulick, I., Großschedl, J., Harms, U. & Möller, J. (2016): Preservice teachers' professional knowledge and its relation to academic self-concept. *Journal of Teacher Education, 67*(3), S. 173-182.

Paulick, I., Großschedl, J., Harms, U. & Möller, J. (2017): How teachers perceive their expertise: The role of dimensional and social comparisons. *Contemporary Educational Psychology, 51*, S. 114-122.

Pötschke, M. (2009): Potenziale von Online-Befragungen: Erfahrungen aus der Hochschulforschung. In N. Jackob, H. Schoen & T. Zerback (Hrsg.), *Sozialforschung im Internet. Methodologie und Praxis der Online-Befragung* (S. 75-89). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Porsch, R. & Wendt, H. (2016): Aus- und Fortbildung von Mathematik- und Sachunterrichtslehrkräften. In H. Wendt, W. Bos, C. Selter, O. Köller, K. Schwippert & D. Kaspar (Hrsg.), *TIMSS 2015. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich* (S. 189-204). Münster, New York: Waxmann.

Puentedura, R. R. (2013): „*SAMR: Moving from Enhancement to Transformation*“. www.hippasus.com/rrpweblog/archives/2013/05/29/SAMREnhancementToTransformation.pdf (Abfrage: 21.02.2025).

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, M., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., Petri, S., Porkka, M., Rahmstorf, S., Schaphoff, S., Thonicke, K., Tobian, A., Virkki, V., Wang-Erlandsson, L., Weber, L. & Rockström, J. (2023): Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances, 9*(37), eadh2458.

Richter, E., Marx, A., Huang, Y. & Richter, D. (2020): Zeiten zum beruflichen Lernen: Eine empirische Untersuchung zum Zeitpunkt und der Dauer von Fortbildungsangeboten für Lehrkräfte. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 23*(1), S. 145-173.

Riemeier, T. (2006): Moderater Konstruktivismus. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 69-79). Berlin, Heidelberg: Springer.

Rieß, W., Mischo, C. & Waltner, E.-M. (2018): Ziele einer Bildung für Nachhaltige Entwicklung in Schule und Hochschule. Auf dem Weg zu empirisch überprüfbaren Kompetenzen. *Gaia: ecological perspectives for science and society, 27*(3), S. 298-305.

Roehrig, G. (2023): Research on teacher professional development programs in science. In N. G. Lederman, D. L. Zeidler & J. S. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 1197-1220). London: Routledge.

Rubach, C. & Lazarides, R. (2019): Eine Skala zur Selbsteinschätzung digitaler Kompetenzen bei Lehramtsstudierenden. Entwicklung eines Instrumentes und die Validierung durch Konstrukte zur Mediennutzung und Werteüberzeugungen zur Nutzung digitaler Medien im Unterricht. *Zeitschrift für Bildungsforschung, 9*(3), S. 345-374.

Rzanny, M., Wittich, H. C., Mäder, P., Deggelmann, A., Boho, D. & Wäldchen, J. (2022): Image-Based Automated Recognition of 31 Poaceae Species: The Most Relevant Perspectives. *Frontiers in Plant Science, 12*, 804140.

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Schaal, S. & Randler, C. (2004): Konzeption und Evaluation eines computerunterstützten kooperativen Blockseminars zur Systematik der Blütenpflanzen. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*, H. 2, Beitrag 6.

Schiefele, U., Streblow, L. & Retelsdorf, J. (2013): Dimensions of Teacher Interest and Their Relations to Occupational Well-Being and Instructional Practices. *Journal for Educational Research Online, 5*(1), S. 7-37.

Schmidt, E. (2021): Naturerfahrungen durch Bestimmungsapps. In D. Graf, N. Graulich, K. Lengnink, H. Martinez & C. Schreiber (Hrsg.), *Digitale Bildung für Lehramtsstudierende. TE@M – Teacher Education and Media* (S. 167-173). Wiesbaden: Springer VS.

Schürmann, R. (2017): *„Ein Kurzreferat halten"*. www2.klett.de/sixcms/media.php/229/804051_kv29_Kurzreferat.pdf (Abfrage: 21.02.2025).

Schwichow, M., Zaki, K., Hellmann, K. & Kreutz, J. (2019): Quo vadis? Kohärenz in der Lehrerbildung. In K. Hellmann, J. Kreutz, M. Schwichow & K. Zaki (Hrsg.), *Kohärenz in der Lehrerbildung* (S. 331-350). Wiesbaden: Springer.

Shavelson, R., Hubner, J. & Stanton, G. (1976): Self-concept: Validation of construct interpretations. *Review of Educational Research, 46*(3), S. 407-441.

Stiller, C., Allmers, T., Habigsberg, A., Stockey, A. & Wilde, M. (2020): Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung, 2*(2), S. 28-39.

Stolz, C. & Feiler, B. (2018): *Exkursionsdidaktik. Ein fächerübergreifender Praxisratgeber für Schule, Hochschule und Erwachsenenbildung.* Stuttgart: Eugen Ulmer.

Sturm, U., Voigt-Heucke, S., Mortega, K. G. & Moormann, A. (2020): Die Artenkenntnis von Berliner Schüler_innen am Beispiel einheimischer Vögel. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 26*(1), S. 143-155.

Sugar, W., Brown, A. & Luterbach, K. (2010): Examining the Anatomy of a Screencast: Uncovering Common Elements and Instructional Strategies. *International Review of Research in Open and Distributed Learning, 11*(3), S. 1-20.

Thoms, L.-J., Kremser, E., von Kotzebue, L., Becker, S., Thyssen, C., Huwer, J., Bruckermann, T., Finger, A. & Meier, M. (2022): A framework for the digital competencies for teaching in science education – DiKoLAN. *Journal of Physics: Conference Series*, 2297.

Torkar, G. (2021): Effectiveness of Digital and Paper-Based Identification Keys for Plants with Slovenian Pre-service Teachers. *European Journal of Educational Research, 10*(2), S. 619-627.

Trempler, K., Schellenbach-Zell, J. & Gräsel, C. (2013): Der Einfluss der Motivation von Lehrpersonen auf den Transfer von Innovationen. In M. Rürup & I. Bormann (Hrsg.), *Innovationen im Bildungswesen. Analytische Zugänge und empirische Befunde* (S. 329-347). Wiesbaden: Springer.

United Nations (UN) (2015): *„Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development"*. sdgs.un.org/2030agenda (Abfrage: 21.02.2024).

Vasiljuk, D. & Budke, A. (2023): *„Vorstellung eines Bogens zur Evaluation von digitalen Lerneinheiten"*. www.bne-oer.de/wp-content/uploads/2024/03/Evaluationsbogen_Projekt_BNE-OER.pdf (Abfrage: 21.02.2024).

Wäldchen, J., Thuille, A., Seeland, M., Rzanny, M., Schulze, E.-D., Boho, D., Alaqraa, N., Hofmann, M. & Mäder, P. (2016): Flora Incognita – Halbautomatische Bestimmung der Pflanzenarten Thüringens mit dem Smartphone. *Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen, 53*(3), S. 121-125.

Wahl, D. (2013): *Lernumgebungen erfolgreich gestalten. Vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln* (3. Aufl.). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Wagener, U., Reimer, M., Lüschen, I., Schlesier, J. & Moschner, B. (2019): „Krass lehramtsbezogen" – Lehramtsstudierende wünschen sich mehr Kohärenz in ihrem Studium. *HLZ – Herausforderung Lehrer_innenbildung, 2*(1), S. 210-226.

Wigfield, A., Eccles, J., Schiefele, U., Roeser, R. & Davis-Kean, P. (2006): Development of achievement motivation. In N. Eisenberg, W. Damon & R. Lerner (Hrsg.), *Handbook of Child Psychology* (Volume 3. Social, emotional, and personality development S. 933-1002). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Zumbach, J. & Astleitner, H. (2016): *Effektives Lehren in der Hochschule. Ein Handbuch zur Hochschuldidaktik.* Stuttgart: W. Kohlhammer.

Melanie Beudels & Sven Hanses (2026): Motivationale Wirksamkeit eines Lehr-Lern-Bausteins zu biologischen Bestimmungsapps in der universitären Ausbildung angehender Sachunterrichtslehrpersonen. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 124-153. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Hildesheim: Universitätsverlag Hildesheim.

Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality (-Technologien) von angehenden Lehrkräften

Luisa Lauer & Markus Peschel
Dr. Luisa Lauer, Universität des Saarlandes, Didaktik der Primarstufe: Sachunterricht, Campus C6 3, Zi. 1.01, 66123 Saarbrücken
Prof. Dr. Markus Peschel, Universität des Saarlandes, Didaktik der Primarstufe: Sachunterricht
Campus C6 3, Zi. 1.03, 66123 Saarbrücken

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie werden die Entscheidungen und Begründungen angehender Grundschullehrkräfte für bzw. wider den Einsatz von Augmented Reality (AR)(-Technologien) im Sachunterricht der Primarstufe am Beispiel einer AR-Lehr-Lern-Anwendung zum Thema Elektrik untersucht. Dabei wird insbesondere der Einfluss des Besuchs einer universitären Lehrveranstaltung zum Einsatz digitaler Medien im Sachunterricht mit einem Schwerpunkt zu AR in den Blick genommen. Ziel ist es, Implikationen für die Weiterentwicklung der universitären Lehre zur Anbahnung einschlägiger Kompetenzen bei den Studierenden zur reflektierten Nutzung innovativer Technologien wie AR in ihrer späteren Berufspraxis abzuleiten. Es zeigt sich, dass sich der derzeit bestehende Zwiespalt zwischen technisch-wirtschaftlichen Limitationen und möglichen zukünftigen Potenzialen des Einsatzes in Lehr-Lern-Situationen (vgl. Huang & Tseng 2025; Lauer 2023) auch in den Entscheidungen und Begründungen für und wider den Einsatz von AR sowie verschiedener AR-Technologien (z. B. Brille, Tablet) widerspiegelt. Anknüpfend an diese Ergebnisse werden die Integration solcher Lehrveranstaltungen zum Einsatz von AR in Lehr-Lern-Situationen (sowohl im Sachunterricht der Grundschule als auch in anderen Fächern und Bildungsstufen) sowie verstärkte interdisziplinäre Zusammenarbeit im Rahmen der universitären Ausbildung von Lehrkräften gefordert.

Schlüsselwörter
Augmented Reality, Lehrkräfte, Digitale Medien, Naturwissenschaften, Sachunterricht

Abstract

This study examines the decisions and justifications of prospective primary school teachers for and against the use of augmented reality (AR) (technologies) in primary school science and social lessons (Sachunterricht) using the example of an AR teaching-learning application on the topic of electricity. In particular, the influence of attending a university course on the use of digital media in subject teaching with a focus on AR will be analysed. The aim is to derive implications for the further development of university teaching to develop relevant competences in students for the subject-media-didactically reflected use of innovative technologies such as AR in their future professional practice. It became apparent that the current dichotomy between technical and economic limitations and possible future potential for use in teaching and learning situations (cf. Huang & Tseng 2025; Lauer 2023) is also reflected in the decisions and justifications for and against the use of AR and various AR technologies (glasses, tablet). Drawing on these results, the integration

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

of such teaching events for the use of AR in teaching-learning situations (in primary school science and social studies as well as in other subjects and stages of education) and increased interdisciplinary cooperation in the context of university teacher training are encouraged.

Key Words
Augmented reality, teachers, digital media, natural sciences, primary science and social studies

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Einleitung

Augmented Reality (AR) ist eine innovative Technologie zur Echtzeit-Erweiterung der Wahrnehmung der Realität um virtuelle (=digital generierte) Informationen (vgl. Dörner et al. 2019). AR könnte zukünftig – durch rasante technische Weiterentwicklung – Einzug in schulische Lehr-Lern-Situationen finden (wie andere ehemals „neue" Medien). Zumeist wird AR auch heute noch – aus meist pragmatischen und wirtschaftlichen Gründen – über Tablets realisiert (vgl. Arici et al. 2019; Kamińska et al. 2023; Liu et al. 2025), die in der Hand gehalten oder fixiert werden müssen. Perspektivisch könnte aber mittels AR-Brillen eine bessere didaktische Fokussierung auf den Lerngegenstand/die lernrelevanten Informationen ermöglicht werden, da die auf dem Kopf getragenen AR-Brillen als Medium (Vermittler von Informationen) in den Hintergrund der Wahrnehmung treten und eine stärkere Fokussierung des Lerngegenstands ermöglichen könnten (vgl. Lauer et al. 2024, Seibert et al. 2020) (bei wirtschaftlichen und vor allem benutzungstechnischen Verbesserungen in Zukunft). Um fachbezogenes Lernen didaktisch zu unterstützen (vgl. GFD 2018), muss die Echtzeit-Erweiterung der Realität als Gestaltungselement von AR in die fachdidaktische Rekonstruktion (Duit et al. 2012) reflektiert und einbezogen werden – im Sinne einer Fach-Medien-didaktischen Rekonstruktion (vgl. Lauer & Peschel 2020).[1]

Lehrkräfte nehmen bezüglich der (medialen und fachlichen) Gestaltung von Lehr-Lern-Situationen mit Technologien wie AR zur Förderung fachlichen Lernens eine zentrale Rolle ein (vgl. Helmke 2015; Baumert & Kunter 2011; Lachner et al. 2020). Dabei zeigte eine Studie mit Grundschullehrkräften (Lauer & Peschel 2023), dass diese das Potenzial von AR als innovative Technik zur Förderung fachlichen Lernens kaum erkennen und auch, dass die Lehrkräfte Abwägungen zwischen verschiedenen AR-Technologien (Brille vs. Tablet) eher nicht anhand Fach-Medien-didaktisch rekonstruierter Aspekte tätigten.

Eine Folgerung dieser Forschungsergebnisse war, dass im Curriculum für das Fach Sachunterricht an der Universität des Saarlandes darauf geachtet wurde, dass angehende Grundschullehrkräfte im Rahmen ihrer Ausbildung Einblicke und Erfahrungen bzgl. aktueller Diskurse sowie bzgl. Grenzen und Chancen des Einsatzes (digitaler) Technologien, auch AR, in Lehr-Lern-Situationen sammeln und Fach-Medien-didaktische Entscheidungen treffen und reflektieren. Um Implikationen für die Ausgestaltung weiterer einschlägiger Lehrveranstaltungen ableiten zu können, soll in dieser Studie untersucht werden, wie und mit welchen Begründungen angehende Lehrkräfte sich für oder gegen den Einsatz von AR-Technologien (wie Brille vs. Tablet) in fachlichen Lehr-Lern-Situationen entscheiden. Die Studie ermittelte exemplarisch anhand einer Fach-Medien-didaktisch rekonstruierten AR-Lehr-Lern-Anwendung die Entscheidungen und Begründungen der Studierenden diesbezüglich. Die Entscheidungen und Begründungen wurden über eine Online-Befragung mit n = 48 Grundschullehramtsstudierenden am Beispiel einer AR-Anwendung zum Thema „elektrische Schaltsymboliken" für den naturwissenschaftlich-orientierten Sachunterricht erhoben und mittels strukturierender qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz 2018) ausgewertet. Ein besonderer Fokus der Analyse ist der Einfluss der universitären Lehrveranstaltung („Mediales Lernen im Sachunterricht") zum Einsatz von Medien in fachorientierten Lehr-Lern-Situationen mit dem Medium AR. Die Ergebnisse der Analyse werden vor dem Hintergrund der theoretischen Darstellungen diskutiert, und es werden Implikationen für die Gestaltung von zukünftigen Lehrveranstaltungen für (Grundschul-)Lehrkräfte in der ersten Ausbildungsphase abgeleitet.

1 „Fach-Medien-Didaktische Rekonstruktion" ist eine Wortneuschöpfung (vgl. Lauer & Peschel 2020) und drückt aus, dass fach- und mediendidaktische Aspekte und Entscheidungen bei der didaktischen Rekonstruktion immer in wechselseitigem Bezug zueinander zu betrachten sind.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Theoretischer Hintergrund und Entwicklung der Fragestellung

Potenziale und (aktuelle) Grenzen des Einsatzes von Augmented Reality (AR) in Lehr-Lern-Situationen

Begriffsklärung und Stand der Forschung

Unter Augmented Reality (AR) wird die Erweiterung der Wahrnehmung durch digital generierte (=virtuelle) Inhalte verstanden (vgl. z. B. Dörner et al. 2019). Digitale und (zusätzliche) virtuelle Inhalte sind dabei in Echtzeit miteinander verschränkt (vgl. Azuma et al. 2001), wobei die reale Umgebung in der Kombination und Umsetzung der Repräsentationen die Hauptbezugsebene darstellt (vgl. Dunleavy 2014). In (schulischen) Lehr-Lern-Situationen kann diese Verschränkung von Realität und Virtualität insbesondere zur Echtzeit-Integration multipler Repräsentationen im Blickfeld genutzt werden (vgl. Radu & Schneider 2019). Studien zeigen zudem, dass AR in Lehr-Lern-Situationen die Motivation (vgl. z. B. Bacca et al. 2018) und die Neugierde (vgl. Kuhn et al. 2016) der Lernenden steigern kann. Durch adaptiv und/oder differenzierend gestaltete AR-Anwendungen können sich auch Möglichkeiten der Individualisierung in Lehr-Lern-Situationen ergeben (vgl. Anderson & Anderson 2019).

Bisherige Forschung zum Einsatz von AR zur Unterstützung fachlichen Lernens[2] zeigt allerdings auch, dass AR sich nicht per se positiv auf das Lernen oder den Lernerfolgt auswirkt, sondern dass es vielmehr auf die pädagogisch-didaktische Einbettung der AR ankommt (vgl. Garzón et al. 2020; Wu et al. 2013). Aus der Perspektive der Fachdidaktik ist fachbezogenes Lernen medial (hier: mit AR) zu unterstützen und mediales Lernen fachlich grundzulegen (vgl. GFD 2018). Beim Einsatz (innovativer) digitaler Medien wie AR in Lehr-Lern-Situationen betonen z. B. Lachner et al. (2020), dass dieser „didaktisch sinnvoll" (ebd. S. 71) erfolgen müsse. Eine medial gestützte Lehr-Lern-Anwendung könne als „didaktisches Werkzeug" (ebd.) zur Verbesserung von Unterricht eingesetzt werden (vgl. Stürmer & Lachner 2017, zitiert nach Lachner et al. 2020). Um also fachbezogenes Lernen mit AR zu unterstützen, müssten die technischen Charakteristika von AR (Echtzeit-Verschränkung von Realität und Virtualität) in die Aushandlung zwischen fachlichen Aspekten und der Sicht der Lernenden mit ihren Erfahrungen, Vorstellungen usw. einbezogen werden. Dies bedeutet, dass die didaktische Rekonstruktion (Duit et al. 2012) erweitert werden muss um Aspekte der medialen Unterstützung fachlichen Lernens durch AR – also eine „Fach-Medien-didaktische Rekonstruktion" (Lauer & Peschel 2020). Wenn die Förderung fachlichen Lernens im Vordergrund stehen soll, muss das Medium AR als solches in den Hintergrund (der Wahrnehmung der Lernenden) treten (vgl. Lauer et al. 2023), damit die intendierte Fokussierung des fachlichen Lerngegenstands nicht durch das Medium selbst verändert oder erschwert wird. Im Sachunterricht könnte beispielweise eine AR-Anwendung beim Thema Elektrik die Verknüpfung zwischen realen Bauteilen und virtuell eingeblendeten, adaptiven Schaltsymboliken unterstützen (s. „exemplarische AR-Anwendung", für weitere Beispiele; s. a. „AR in der Primarstufe und im Sachunterricht").

AR-Technologien

Eine Klassifizierung von AR-Technologien (vgl. Milgram & Kishino 1994) differenziert zwischen monitorbasierten Anwendungen (PC, Tablet, Smartphone) und speziellen auf dem Kopf getragenen Brillen, die mittels integrierter, halbtransparenter Displays, die Realität direkt anreichern (z. B. Microsoft HoloLens 2[3]). Angesichts der vergleichsweise geringen Anschaffungskosten, der aktuellen Verfügbarkeit an Schulen und der Kenntnis der Geräte seitens der Lehrenden und Lernenden sind Tablets die derzeit verwendete Techno-

2 Im Sachunterricht kann AR auch als Lerngegenstand im Rahmen vielperspektivischer Auseinandersetzung (vgl. GDSU 2013) mit lebensweltrelevanten Fragestellungen adressiert werden. In diesem Artikel geht es – aufgrund der Exemplarität der Inhalte und des Interesses an konkreten Einschätzungen der Studierenden zu Fach-Medien-didaktisch begründeten Aussagen – um AR bei einem innerfachlichen Thema (s. später).

3 Seit einiger Zeit hat auch Apple ein ähnliches Gerät auf den Markt gebracht (Apple Vision): Dieses Gerät verfügt allerdings über ein im Wesentlichen intransparentes Display, welches die reale Umgebung nur und fast unmerklich digital repliziert. In diesem Beitrag werden AR-Brillen fokussiert, die die reale Umgebung anreichern.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

logie für AR-Anwendungen im Bildungsbereich (vgl. Akçayır & Akçayır 2017; Arici et al. 2019; Kamińska et al. 2023; Liu et al. 2025). AR-Brillen als Alternative sind (derzeit) nicht nur immens kostenintensiv und zumeist weder den Lehrenden noch den Lernenden bekannt, sondern bedürfen mitunter auch noch technischer Anpassungen zur Verbesserung der Benutzbarkeit, insbesondere von Kindern (vgl. z. B Lauer et al. 2021). Darüber hinaus gibt es Hinweise darauf, dass AR-Brillen in ihrer jetzigen technisch möglichen Realisierung (noch[4]) zu kognitiven Mehrbelastungen bei Lernenden führen können (vgl. Buchner et al. 2021). Bisherige Studien für derzeit verfügbare AR-Brillen, wie HoloLens 2, offenbaren bereits eine vielversprechende Benutzbarkeit auch durch jüngere Lernende (vgl. Lauer et al. 2021) – wenngleich die Geräte für diese Zielgruppe noch längst nicht optimiert sind (s. o.). In Lehr-Lern-Situationen der Zukunft könnten also – bei entsprechender technischer und finanzieller Optimierung der Geräte – andere Argumente bei der Entscheidung zwischen verschiedenen AR-Technologien angeführt werden: AR-Brillen sind u. E. aufgrund der Visualisierung zusätzlicher Informationen unmittelbar am Realobjekt von Vorteil für die Förderung fachlichen Lernens, da sie – anders als Tablets oder Smartphones – kein (bewusst wahrgenommenes) Display zwischen den Lernenden und dem Lerngegenstand erzeugen (vgl. Argumentation in Lauer 2023).

AR als Medium in Lehr-Lern-Situationen

Bei der Einschätzung von Medien (wie AR) in Lehr-Lehr-Situationen wird oft auf Angebots-Nutzungs-Modellierungen (vgl. z. B. Helmke 2015) rekurriert. Ausgehend von dieser Angebots-Nutzungs-Betrachtung kann sowohl das Lernen als auch das Lehren mit (digitalen Medien wie) AR in den Blick genommen werden, wobei Lehren und Lernen i.d.R. in einem wechselseitigen Wirkungszusammenhang steht (vgl. hierzu z. B. Scheiter 2021). Die Auswahl und der Einsatz verschiedener (digitaler) Medien wie AR für eine konkrete Lehr-Lern-Situation wird oft mit dem Begriff der Orchestrierung als Berücksichtigung des Zusammenspiels der gewählten Medien bezeichnet (vgl. z. B. Prieto et al. 2011, zitiert nach Scheiter 2021). Insbesondere für Überlegungen zur Orchestrierung könnte das Model of Usefulness (Nielsen 1993, s. Abb. 1)[5] eine differenzierte Beurteilung des Werts medialer Arrangements sowie eine Abwägung zwischen verschiedenen Arrangements (vgl. Lauer et al. 2024) erlauben.

Laut diesem Modell setzt sich die Nützlichkeit („Usefulness“) aus einer technischen Benutzbarkeit („Usability“) und dem unterrichtlichen Nutzen („Utility“) zusammen. Interessant ist die explizite Trennung eines (ökonomisierten) Mehrwerts, (vgl. hierzu auch z. B. die Position von Krommer 2019) („Value added“) gegenüber einem Wert bezüglich pädagogisch-(didaktischer) Aspekte (hier „Pedagogical Usability“). Das Modell erlaubt insgesamt somit die Beurteilung des *Werts* eines medialen (AR-)Arrangements unabhängig von der technischen oder finanziellen Realisierbarkeit und kann zum inhaltlich-didaktischen Vergleich verschiedener Arrangements genutzt werden.

4 Hiermit wird auf die zuvor aufgestellte Vermutung Bezug genommen, dass bei zukünftiger technischer Verbesserung und Weiterentwicklung von AR-Brillen technische Schwierigkeiten und damit einhergehend auch mögliche Nutzungsschwierigkeiten und Ablenkungen reduziert werden könnten.

5 Wegen der Anschlussfähigkeit dieser Studie an eine vorangegangene wird hier auf dieses Modell rekurriert. Ateş & Garzon (2022) geben einen sehr detaillierten Überblick über (andere) einschlägige Modelle. Für die spätere Interpretation bzw. Diskussion der Ergebnisse könnte auch beispielsweise das TAM (vgl. Aljarrah et al. 2016) verwendet werden, da die wesentlichen Faktoren sich meist stark ähneln oder gleichen.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

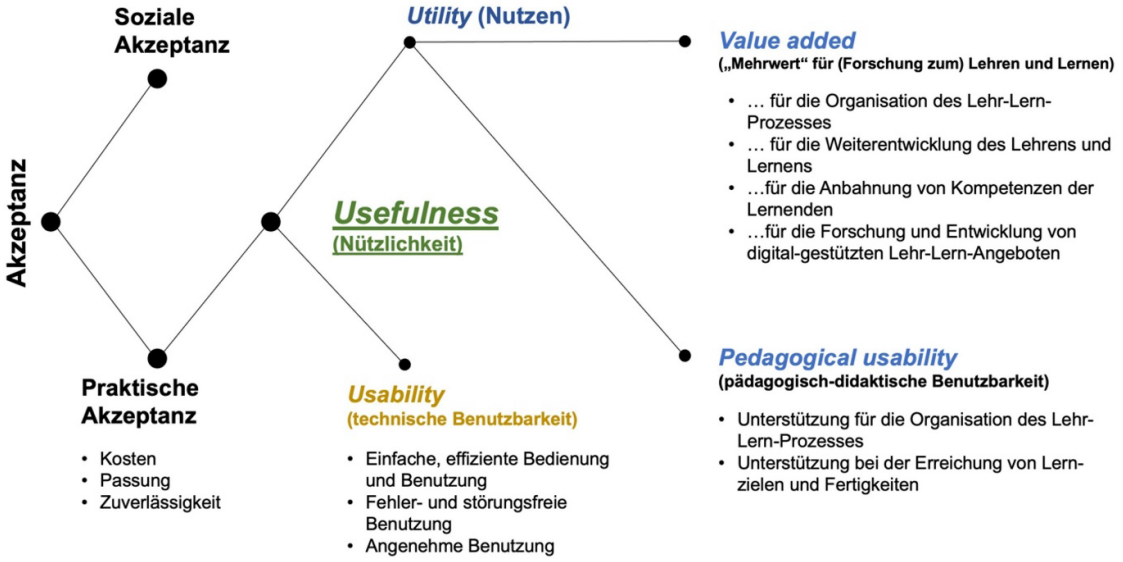


Abbildung 1: Model of Usefulness of Web-Based Learning Environments von Nielsen (1993), überarbeitet von Silius & Tervarkari (2002). Eigene Darstellung inkl. eigener Übersetzungen samt Ergänzungen.

AR in der Primarstufe und im Sachunterricht

Der Anteil der Forschung und Entwicklung zu AR in der Primarstufe ist mittlerweile gestiegen (vgl. Arici et al. 2019). Bislang finden sich jedoch noch wenige Forschungen und Entwicklungen zu AR mit Bezug zum Sachunterricht (vgl. Lauer & Peschel 2022) bzw. zu Fachthemen im Sachunterricht (s. a. Fußnote 1). Allerdings gibt es beispielsweise Untersuchungen von Haarhus et al. (2023), die die Förderung von Modellverständnissen und Fachwissen durch AR im Sachunterricht untersuchen. Insgesamt existiert dennoch weiterhin ein Desiderat zur Eruierung von Potenzialen und Grenzen des Einsatzes von AR – vor allem angesichts rasanter technischer Entwicklungen (s. o. Apple Vision oder AR-Brillen allgemein). Viele AR-Lehr-Lern-Anwendungen weisen einen spezifischen Bezug zu MINT-Themen auf (vgl. Arici et al. 2019; Cheung et al. 2019). Insbesondere dem Thema Elektrik können viele solcher Anwendungen mit Bezug zum Fach Physik zugeordnet werden (vgl. Lauer & Peschel 2020). Später wird eine AR-Anwendung zum Thema Elektrik für den Sachunterricht der Primarstufe ausführlicher vorgestellt (s. Kapitel „Exemplarische AR-Anwendung").

Zwischenfazit

AR besitzt viele Potenziale in Lehr-Lern-Situationen. Die beschriebenen Schwierigkeiten bzgl. eines Einsatzes von AR(-Technologien) in der Grundschule beziehen sich zu einem Großteil auf AR-*Brillen* (z. B. die fehlende Wirtschaftlichkeit und der Schulungsbedarf zu AR-Brillen, fehlende technische Optimierung für die Nutzung durch Kinder im Grundschulalter, die Verwaltung der Geräte, etc.) sowie die noch ungenügende Verbreitung von Lehr-Lern-Szenarien. Es besteht derzeit also ein „Gap" zwischen dem Potenzial von AR (insbesondere von AR-Brillen) aus didaktischer Sicht und praktischer Anwendbarkeit/Nützlichkeit in Lehr-Lern-Situationen.

Dennoch könnten gerade die eröffnenden Möglichkeiten der Individualisierung von Lehr-Lern-Prozessen durch AR insbesondere angesichts der großen Heterogenität in den Grundschulen den Sachunterricht der Primarstufe bereichern: Beispielsweise können Zusatzinformationen bedarfsgerecht visualisiert und Lernprozesse dadurch individualisiert und differenziert gestaltet werden.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Rolle und Relevanz der Lehrkraft auf die Gestaltung, Wirkung und Wirksamkeit von Unterricht durch AR

Im Folgenden wird die Rolle der (angehenden) Lehrkraft als „Schlüsselkomponente" in Bezug auf den (aktuellen wie zukünftigen) Einsatz von AR(-Technologien) in Lehr-Lern-Situationen des (Sach-)Unterrichts dargelegt.

In den meisten Modellierungen von Unterricht bzw. von Lehr-Lern-Situationen findet sich die Lehrkraft als wesentliches Einflusselement auf die Gestaltung und Wirkung bzw. Wirksamkeit von Unterricht wieder (vgl. z. B. Vieluf et al. 2020), wobei die meisten Modellierungen sich im Grunde auch auf das Angebots-Nutzungs-Modell von Helmke (2015) beziehen (vgl. Vieluf et al. 2020). Für den Einsatz (digitaler) Medien spezifiziert hier beispielsweise das Rahmenmodell zur didaktisch sinnvollen Integration digitaler Medien (vgl. Lachner et al. 2020), dass die professionellen Kompetenzen von Lehrkräften über die Qualität des Medieneinsatzes einen wesentlichen Einflussfaktor auf die Gestaltung von Unterricht darstellen (ebd.). Die professionellen Kompetenzen von Lehrkräften beschreiben wiederum Modellierungen[6] wie das COACTIV -Kompetenzmodell (Baumert & Kunter 2011).

Bezüglich der Akzeptanz und dem konkreten Einsatz innovativer Technologien in Lehr-Lern-Situationen haben (angehende) Lehrkräfte eine Schlüsselrolle inne (Petko & Döbeli Honegger 2011). Diese Schlüsselrolle (angehender[7]) Lehrkräfte gewinnt angesichts rasanter technischer Weiterentwicklungen der Medien, wie es bei AR der Fall ist, stärker an Gewicht (vgl. Tzima et al. 2019; Perifanou et al. 2023). Scheiter (2021) vergleicht die Rolle der Lehrkraft in Bezug auf die mediale Orchestrierung mit der eines Dirigenten bzw. einer Dirigentin.

Vor dem Hintergrund der Darstellungen im vorherigen Unterkapitel müssen die (angehenden) Lehrkräfte zur Förderung fachlichen Lernens mit Medien wie AR also entsprechende Fach-Medien-didaktisch rekonstruierte bzw. begründete Entscheidungen über die Auswahl und den Einsatz von Medien wie AR in Lehr-Lern-Situationen treffen (können).

Aus der bisherigen Forschung lassen sich – abgesehen von medienspezifischen Aspekten – folgende Erkenntnisse zu Entscheidungen und Begründungen von Lehrkräften in Bezug auf den Einsatz von digitalen Medien (insbesondere AR) zusammenfassen: Lawrence & Tar (2018) ordnen Einflussfaktoren auf die Entscheidungen für oder wider den Einsatz (digitaler) Medien in Lehr-Lern-Situationen entweder der Lehrkraft selbst, den jeweiligen Medien oder dem konkreten Lehr-Lern-Standort (meist Schule) zu. In Bezug auf Medien stellen Pareja Roblin et al. (2018) verschiedene entscheidende Faktoren heraus, die von Lehrkräften bei der Entscheidung für oder wider den Einsatz von Tablets in schulischen Lehr-Lern-Situationen genannt werden. Diese sind beispielsweise die Vertrautheit, die mögliche Verbesserung des Lehrens und Lernens, aber auch eventuelle Störungen oder Verzögerungen durch die Medien (ebd.). Auch frühere Untersuchungen konnten bereits zeigen, dass pragmatische und wirtschaftliche Gründe, wie die Verfügbarkeit entsprechender Geräte an Schulen sowie die (Un-)Bekanntheit von Geräten und deren Benutzung bei Lehrenden wie bei Lernenden, über den (Nicht-)Einsatz von Medien in Lehr-Lern-Situationen entscheiden (vgl. z. B. Oncu et al. 2008). Runge et al. (2021) nennen die von Lehrkräften empfundenen, eigenen Kompetenzdefizite als wesentliches Hindernis für die Auswahl und den Einsatz von digitalen Medien in Lehr-Lern-Situationen und folgern daraus die Bedeutsamkeit einschlägiger Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen. Forkosh-Baruch et al. (2021) heben den Mangel an (Vor-)Erfahrungen mit speziellen (innovativen) Medien als wesentliche Limitation für die Entscheidungen und Begründungen (angehender) Lehrkräfte bezüglich der Auswahl und des Einsatzes dieser Medien in Lehr-Lern-Situationen hervor.

Aus einer aktuellen Untersuchung von Perifanou et al. (2023) geht hervor, dass Lehrkräfte persönliche Kompetenzen zum Einsatz von AR in Lehr-Lern-Situationen sowie eine hinreichende Ausstattung an Schulen mit entsprechenden Geräten als die wichtigsten Gelingensfaktoren für dein Einsatz von AR in Lehr-

6 Auch für konkrete Kompetenz- und Wissensbereiche gibt es wiederum zahlreiche Modellierungen und Empfehlungen (z. B. die auf Shulman rekurrierenden TPACK bzw. DPACK-Modelle (z. B. Thyssen et al. 2023), IProDig (Irion et al. 2023, S. 96), DigCompEdu (European Commission 2017) und die KMK-Kompetenzempfehlungen für Lehrkräfte (KMK 2016), etc.

7 Spezielle Erläuterungen zur Rolle der *angehenden* Lehrkräfte folgen im weiteren Verlauf dieses Kapitels.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Lern-Situationen betrachten. Die in dieser Studie von den Lehrkräften benannte Hindernisse und Grenzen des Einsatzes von AR in Lehr-Lern-Situationen, wie wirtschaftliche Aspekte und die (Un-)Bekanntheit von Geräten samt der Benutzung durch Lehrende wie Lernende (ebd.) decken sich mit den bereits allgemein für digitale Medien dargestellten Argumenten. Nikou et al. (2024) legen unter Einbezug bisheriger Forschungen dar, dass Lehrkräfte dem Einsatz von AR in Lehr-Lern-Situationen meist positiv gegenüberstehen. Allerdings zeigt sich auch, dass Lehrkräfte ihre eigenen Kompetenzen zum Einsatz von AR in Lehr-Lern-Situationen eher gering einschätzen (ebd.). Insbesondere für AR benennen Lehrkräfte einen starken Mangel an speziell für Lehr-Lern-Situationen entwickelten Anwendungen (vgl. Perifanou et al. 2023). In einer Studie von Mirza et al. (2025) gab nur etwa ein Viertel der befragten Lehrkräfte an, im Unterricht AR-Anwendungen (für Tablet oder Smartphone) zu verwenden. Als Limitationen des Einsatzes von AR-Anwendungen nannten die Befragten unter anderem die fehlende Passung bestehender Anwendungen auf curriculare Themenvorgaben, die fehlende Berücksichtigung pädagogisch-didaktischer Gestaltungsprinzipien sowie technische Bedien- und Nutzungsschwierigkeiten samt fehlender Anpassung an das Alter der Lernenden (ebd.).Die für den Einsatz von AR beschriebenen Potenziale und Grenzen aus der Sicht der Lehrkräfte zeigen sich auch in einer Studie von Alalwan et al. (2020) speziell für die Primarstufe. Aus einer Meta-Analyse von Maulyda et al. (2024) geht hervor, dass die Bereitschaft zum Einsatz von AR in Lehr-Lern-Situationen bei Grundschullehrkräften deutlich höher ist als bei Lehrkräften höherer Bildungsstufen.

Speziell für den Sachunterricht der Primarstufe besteht noch ein erhebliches Desiderat zur Untersuchung der Entscheidungen und Begründungen von Lehrkräften für oder wider den Einsatz von AR(-Technologien) – insbesondere für AR-Brillen. Die Ergebnisse einer Studie mit praktizierenden Grundschullehrkräften zur Beurteilung der Pedagogical Usability (Nokelainen 2005, vgl. auch Model of Usefulness von Nielsen 1993) am Beispiel einer AR-Anwendung für den Sachunterricht der Primarstufe zum Thema Elektrik (s. a. später) deuten darauf hin, dass die Lehrpersonen die zuvor beschriebenen pädagogisch-didaktischen Potenziale von AR *nicht* oder *kaum* erkannten und dass sie entsprechende Unterschiede bezüglich verschiedener AR-Technologien nur *teilweise* benennen oder erkennen konnten (vgl. Lauer & Peschel 2023). Im Rahmen der Diskussion dieser Ergebnisse wurde die (fehlende) Professionalisierung der Studienteilnehmer*innen in Bezug auf den Einsatz von AR(-Technologien) als mögliche Erklärung angeführt (ebd.).

Ziele und derzeitige Realisierung der Adressierung des Einsatzes von AR in Lehr-Lern-Situationen im Curriculum der ersten Ausbildungsphase für das Lehramt an Grundschulen an der Universität des Saarlandes

Die Notwendigkeit zur Professionalisierung von Lehrkräften in Bezug auf den Einsatz innovativer und digitaler Technologien wie AR wird im wissenschaftlichen Diskurs vielfach benannt, (beispielsweise von Jang et al. 2021). Angehende Lehrkräfte kommen an einigen Hochschulen bereits während der ersten Ausbildungsphase mit innovativen Technologien wie AR in Kontakt – allerdings selten im Grundschullehramt: Im deutschsprachigen Raum haben unter anderem Gittinger & Mulders (2024) ein Konzept für eine universitäre Lehrveranstaltung zur Adressierung der Akzeptanz von AR in Lehr-Lern-Situationen für angehende Lehrkräfte mit Bezug zu (naturwissenschaftlichen) Fächern der Sekundarstufen vorgestellt. Auch praktizierende Lehrkräfte im sich an die Ausbildung anschließenden Berufsalltag können mit vielfältigen innovativen medialen Arrangements – insbesondere AR-Anwendungen – konfrontiert sein und müssen in einem solchen Fall entscheiden, ob und (wenn ja) wie sie diese in einer konkreten Lehr-Lern-Situation einsetzen. An der Universität des Saarlandes wurde ein speziell auf AR fokussierender Teil einer Lehrveranstaltung etabliert, welcher angehende Lehrkräfte befähigen soll, die aktuellen und zukünftigen Fach-Medien-didaktisch begründeten Potenziale des Einsatzes von AR(-Technologien) zu erkennen und zu nutzen. Im späteren Berufsalltag können diese Lehrkräfte dann – ergänzend zu speziellen Fortbildungsangeboten für Lehrkräfte in der zweiten und dritten Ausbildungsphase – auch als Praxismultiplikator*innen zur Weitergabe einschlägiger Kompetenzen im Kollegium fungieren (vgl. z. B. die gemeinsame Bund-Länder-Initiative „Leistung macht Schule – LemaS“, insbesondere der Forschungsverbund „LemaS-Transfer“). Im Rahmen der Lehrveranstaltung an der Universität des Saarlandes für Studierende des Lehramts für die Primarstufe („Mediales Lernen im Sachunterricht“) wird in drei aufeinanderfolgenden Sitzungen der Schwerpunkt AR in Anlehnung an Tondeur et al. (2019, zitiert nach Rubach & Lazarides 2020) adressiert: zunächst

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

werden einschlägige theoretische Grundlagen vermittelt und anschließend wird den Studierenden Raum zum Erproben und Reflektieren von AR-Anwendungen gegeben. Eine kurze Übersicht zu diesem Teil der Lehrveranstaltung bietet Anhang 8.

Ableitung der Forschungsfrage

Zuvor wurden Potenziale und (aktuelle) Grenzen des Einsatzes von Augmented Reality (AR) in Lehr-Lern-Situationen aufgezeigt. Außerdem wurden die Rolle und die Relevanz der (Grundschul-/Sachunterrichts-) Lehrkraft auf die Gestaltung, Wirkung und Wirksamkeit von Unterricht durch AR dargelegt. Vor dem Hintergrund dieser Darstellungen adressiert diese Studie die Frage, wie angehende Lehrkräfte sich für oder gegen AR(-Technologien) entscheiden und welche Begründungen sie für ihre Entscheidungen nennen. Dabei soll insbesondere untersucht werden, inwieweit die genannten Begründungen Fach-Medien-didaktisch rekonstruierte Potenziale des Einsatzes von AR(-Technologien) adressieren[8]. Auch der Einfluss des Besuchs der beschriebenen Lehrveranstaltung mit dem AR-Schwerpunkt-Baustein wird herausgearbeitet und analysiert.

Exemplarische AR-Anwendung

Die Entscheidungen und Begründungen wurden exemplarisch an einer AR-Anwendung zum Thema Elektrik für den naturwissenschaftlich-orientierten Sachunterricht der Primarstufe erhoben (vgl. Lauer et al. 2022). Die AR-Anwendung wurde im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekts (GeAR, BMBF-Förderlinie Digitalisierung im Bildungsbereich, FKZ: 01JD1811A) unter Berücksichtigung der Fach-Medien-didaktisch rekonstruierten Potenziale von AR (vgl. Lauer & Peschel 2023) entwickelt. Die Anwendung ermöglicht die Echtzeit-Visualisierung von Schaltsymboliken (Schaltsymbole und Schaltskizzen) an elektrischen Schaltungen. Es gibt eine Variante dieser Anwendung für AR-Brillen sowie eine für Tablets. Die Teilnehmenden entscheiden sich also

1. zwischen einer AR-Anwendung (ohne Festlegung der verwendeten AR-Technologie) und einer bestmöglichen Anwendung ohne AR (s. Abb. 2 (a)).
2. zwischen einer Variante der Anwendung für AR-Brillen und einer für Tablets (s. Abb. 2 (b)).

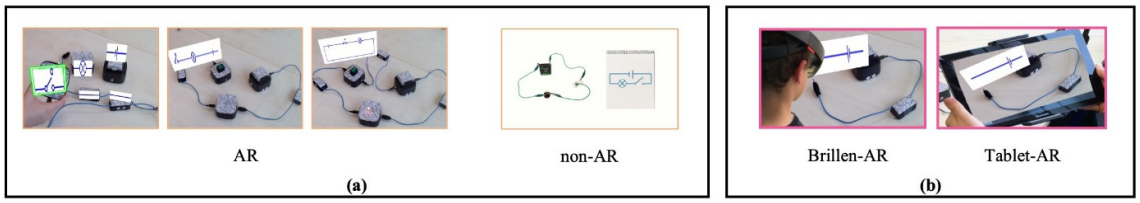


Abbildung 2: (a) Entscheidung AR – non-AR, (b) Entscheidung Brillen-AR – Tablet-AR.

Forschungsdesign

Methodologische Erläuterungen

Die formulierte Forschungsfrage („Wie entscheiden sich angehende Lehrkräfte für oder gegen AR(-Technologien) und welche Begründungen nennen sie für ihre Entscheidungen?“) erfordert durch ihr in erster Linie zunächst beschreibendes und erst in zweiter Linie strukturierendes Interesse (vgl. z. B. Bortz & Döring 2006;

8 Im Fokus der Studie steht also insbesondere nicht die Einschätzung bzgl. aktueller Limitationen der technischen Realisierung oder der pragmatischen Verfügbarkeit von Geräten in Schulen. Bei der Erläuterung des Forschungsdesigns wird das Setting auf eine hypothetische, zukünftige Situation ausgerichtet, in der AR-Technologien technisch entsprechend optimiert und an Schulen verfügbar sind.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Rost 2013) der Entscheidungen und Begründungen eine qualitative Herangehensweise.[9]. Besonders die Frage nach dem „warum" (also die Frage nach den Begründungen) erfordert einen qualitativen Forschungsansatz (vgl. z. B. Aeppli et al. 2016). Durch die qualitative Annäherung an den Forschungsgegenstand sollen die Entscheidungen der angehenden Lehrkräfte sowie möglichst vielfältige Begründungen erfasst und am Datenmaterial theoriegeleitet geordnet werden (s. folgende Unterkapitel).

Stichprobe und Design

An der Studie nahmen n = 48 Studierende (41 w, 7 m, 23,7 +/- 4,9 Jahre) verschiedener (höherer) Fachsemester des Studiengangs „Lehramt Primarstufe" an der Universität des Saarlandes teil. Die Teilnehmer*innen wiesen heterogene Vorerfahrungen bzw. Vorkenntnisse in Bezug zu AR(-Technologien) auf: Etwa die Hälfte der Teilnehmer*innen hatte zuvor bereits eine Lehrveranstaltung zum Einsatz von Medien im Sachunterricht mit Schwerpunkt AR besucht. Der Besuch dieser Lehrveranstaltung wird einen wichtigen Aspekt bei der Analyse einnehmen, s. „Datenaufbereitung und Analysen").

Die Studie wurde als Online-Befragung realisiert, da hierdurch eine Minimierung der Beeinflussung von Antworten durch eventuell wahrgenommene Erwartungshaltungen seitens der Versuchsleitung oder der Teilnehmer*innen trotz Anwesenheit der Versuchsleitung angestrebt wurde. Auch ein vorheriges Ausprobieren der im Rahmen der Studie zur Wahl stehenden Varianten an (AR-)Lehr-Lern-Anwendungen wurde nicht durchgeführt, wodurch Daten von Personen mit (Besuch des einschlägigen Seminars, s.o.) und ohne jegliche Vorerfahrung (kein einschlägiges Seminar besucht, s.o.) in Bezug auf AR in die Untersuchung einbezogen werden konnten. Die Darstellung der Limitationen dieses Designs folgen im Rahmen der Diskussion der Ergebnisse (s. spätere Kapitel).

Datengewinnung und Instrumente

Erfassung der Rohdaten

Der Ablauf der Studie wurde durch einen Online-Fragebogen (s. Anhang 4) vorgegeben, welchen die Teilnehmenden selbstständig ausfüllten. Es handelte sich um eine standardisierte, strukturierte Befragung (vgl. z. B. Rost 2013) mit teilweise offenen Antwortformaten. Diese Art der Befragung wurde gewählt, da die adressierten Konstrukte und Inhalte sehr stark spezifiziert waren und eine spezielle Reihenfolge bei der Befragung eingehalten werden musste.

Die Studie wurde zu Seminarzeiten[10] durchgeführt, sodass die Teilnehmenden in Seminarräumen saßen, während die Versuchsleitung oder ein*e von der Versuchsleitung instruierte*r Dozierende*r anwesend war, um ausschließlich bei eventuell auftretenden Rückfragen zur Verfügung stehen zu können. Die Teilnehmenden durften sich für das Ausfüllen des Fragebogens so viel Zeit nehmen, wie sie wollten bzw. brauchten. Die Teilnahme konnte bei Bedarf auch zu einem späteren Zeitpunkt (auch an einem anderen Ort) fortgesetzt werden. Ein Abbruch bzw. eine Beendigung der Teilnahme war jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne jegliche Konsequenzen für die Teilnehmenden möglich.

Alle Informationen zu den zur Auswahl stehenden (AR-)Anwendungen waren in der Online-Befragung (Bilder und ergänzende Texte, s. a. Anhang 4) enthalten, sodass währenddessen kein Eingriff oder Input durch die Versuchsleitung oder den/die Dozierende*n stattfand. Die Online-Befragung gliederte sich in eine Vorab-Befragung zur Beschreibung der Stichprobe und in die Hauptbefragung. Im Rahmen der Hauptbefragung wurde den Teilnehmenden schließlich die AR-Anwendung präsentiert. Für die Entscheidung „AR vs. non-AR" (1) wurden noch keine spezifischen Informationen zur verwendeten AR-Technologie ge-

9 Diese Studie hat insbesondere nicht das Ziel, individuelle Begründungsmuster und -strukturen einzelner angehender Lehrkräfte detailliert aufzuarbeiten, sondern ein breites Bild an Entscheidungen und Begründungen zu erfassen.

10 Die Studierenden wurden am Ende von Seminaren auf die Möglichkeit der Teilnahme an dieser Online-Befragung aufmerksam gemacht und konnten dann im Seminarraum bleiben. Die Seminare wurden hierfür ausnahmsweise früher beendet, damit die Studierenden nicht in Zeitnot gerieten.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

geben (s. a. Abb. 2 (a)). Erst danach wurden die AR-Anwendungen in der Realisierung als Brillen-Variante bzw. als Tablet-Variante gezeigt für die Entscheidung „AR-Brille vs. Tablet-AR“ (s. a. Abb. 2 (b)). Durch Formulierungen wie „Stellen Sie sich vor: Sie sind in der Schule der Zukunft und sie verfügen über AR-Brillen für Ihre Klasse…“ sollten die Teilnehmer*innen sich auf ein Zukunftsszenario beziehen, indem insbesondere die Verfügbarkeit der AR-Geräte an Schulen kein (finanzielles, technisches) Hindernis mehr darstellt.

Datenaufbereitung und Analysen

Im Fokus der Studie steht die Auswertung der qualitativen Daten zur genannten Fragestellung, wie sich angehende Lehrkräfte für oder gegen AR(-Technologien) entscheiden und welche Begründungen sie für ihre Entscheidungen nennen. Alle im Rahmen der Online-Befragung gewonnenen Rohdaten sind einsehbar in Anhang 5. Die quantitativen Daten der Vorab-Befragung wurden für die Beschreibung der Stichprobe verwendet. Die Angabe zur Belegung einer Lehrveranstaltung mit AR-Schwerpunkt wurde außerdem als differenzierende Variable für die quantitative Analyse verwendet, um etwaige Verbindungen zwischen den vergebenen Codes bzw. den identifizierten Kategorien und quantitativen Merkmalen (hier: Belegung einer einschlägigen Lehrveranstaltung) zu ermitteln (s. spätere Darstellungen zur kategorienbasierten Analyse).
Es wurde eine inhaltlich strukturierende qualitative Inhaltsanalyse durchgeführt, welche sich an dem von Kuckartz (2018) beschriebenen Vorgehen orientiert. Für diese qualitative Inhaltsanalyse wurden die Daten der Hauptbefragung genutzt.

Codierprozess zur inhaltlichen Strukturierung

Für den gesamten Codier-Prozess wurde ein Logbuch bzw. ein Codierleitfaden angefertigt (s. Anhang 7, Kurzfassung auch in Anhang 1). Aus diesem Codierprozess ist ein vornehmlich induktives Kategoriensystem entwickelt worden, welches für die kategorienbasierte Analyse (s. nächster Abschnitt) verwendet wurde. Das vollständige Kategoriensystem ist weiter unten einsehbar (s. Anhang 1) und die zur Codierung verwendete MAXQDA-Datei findet sich in Anhang 6.

Kategorienbasierte Analyse

Zunächst erfolgte die kategorienbasierte Auswertung entlang der Hauptkategorien (vgl. Kuckartz 2018) durch Darstellung der wesentlichen Ergebnisse für jede der beiden Entscheidungen der Hauptbefragung. Zusammenhänge zwischen Subkategorien (ebd.) wurden aufgrund des geringen Vorkommens verschiedener Subkategorien innerhalb der Fälle nicht untersucht. Anschließend wurden die Haupt-Kategoriensysteme „Entscheidung“, „Begründung(-sbezug“) (hier: die an der Entscheidung beteiligten Medien oder Aspekte, die die angehende Lehrkraft selbst betreffen, s. nächstes Kapitel) und „Argumentationsrichtung“ (für die gewählte Variante oder gegen die nicht gewählte Variante, s. nächstes Kapitel) mithilfe des Code-Relations-Browser in MAXQDA paarweise auf Zusammenhänge untersucht (vgl. Analyse der Zusammenhänge zwischen Kategorien, ebd.). Zuletzt wurden Verbindungen zwischen dem Besuch der einschlägigen universitären Lehrveranstaltung (quantitatives Merkmal) und vergebenen Codes bzw. festgestellten Kategorien mittels Kreuztabellen ermittelt.

Ergebnisse

Kategorienbasierte Auswertung entlang der Hauptkategorien

Nachfolgend ist zunächst eine Übersicht zum Kategoriensystem (vollständige Darstellung s. Anhang 1) aufgeführt (s. Abb. 3). Für jede der beiden zentralen Entscheidungen (AR-Variante vs. non-AR-Variante und Brillen-AR-Variante vs. Tablet-AR-Variante) sind entsprechend den Ausführungen zum Codierprozess im Codierleitfaden (s. Anhang 7) Informationen aus den Hauptkategorien „Entscheidung“, „Begründung“ und

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

„Argumentationsrichtung“[11] zu finden. Der inhaltliche Bezug der Begründungen ist – wie oben beschrieben – differenziert zwischen „an der Entscheidung beteiligte Medien“ und „Lehrkraft“. Die Subkategorien zu den Begründungsbezügen „Medium“ bzw. „Lehrkraft“ finden sich in Abb. 4.

Entsch_AR_vs_non_AR	
AR	29
non-AR	13
Kombination AR und non-AR	3
keine Entscheidung	1
keine Antwort	2

Begr_AR_vs_non_AR	
AR	
Bezug: Medium	*38*
Bezug: Lehrkraft	*1*
non-AR	
Bezug: Medium	*11*
Bezug: Lehrkraft	*6*
keine Entscheidung	
Bezug: Lehrkraft	*1*

Argumentations-Richtung	
für die gewählte Var.	45
gegen die alternative Var.	10

Entsch_Brille_vs_Tablet	
Brillen-AR	19
Tablet-AR	21
keine Entscheidung	5
keine Antwort	3

Begr_Brille_vs_Tablet	
Brillen-AR	
Bezug: Medium	*28*
Tablet-AR	
Bezug: Medium	*26*
Bezug: Lehrkraft	*3*
keine Entscheidung	
Bezug: Lehrkraft	*1*

Argumentations-Richtung	
für die gewählte Var.	40
gegen die alternative Var.	15

Abbildung 3: Übersicht zum Kategoriensystem mit Häufigkeiten der jeweils vergebenen Codes je (Sub-)Kategorie. Oben: Entscheidung AR-Variante vs. non-AR-Variante, unten: Entscheidung Brillen-AR-Variante vs. Tablet-AR-Variante. Anmerkungen: Wegen ggf. Mehrfachvergabe von Subcodes ab der zweiten Unterebene summieren sich nur die Codehäufigkeiten der Tabellen ganz links auf n = 48.

Typische codierte Datensegmente zur Entscheidung zwischen zwei zur Auswahl stehenden (AR-)Varianten sind beispielsweise:

- *„Ich würde beides kombiniere [sic]. Mit AR ausprobieten [sic] und die Ergebnisse von Hand dokumentieren“ (RG17AN37, Pos. 2)* → „Entsch_AR_vs_non_AR“ >„Kombination AR und non-AR“
- *„Beide Varianten haben Vor- und Nachteile“ (CH08KL17, Pos. 4)* → „Entsch_Brille_vs_Tablet > „Keine Entscheidung“

Aus den beiden Tabellen (links oben und links unten) in Abb. 3 wird ersichtlich, dass die erste Entscheidung deutlich zugunsten der AR-Variante ausgefallen ist, während bei der zweiten Entscheidung beide Varianten in etwa gleich oft gewählt wurden.

Die beiden mittleren Tabellen in Abb. 3 zeigen die inhaltlichen Bezüge der Begründungen für jede Entscheidungsoption. Bei den meisten Entscheidungsoptionen werden die beiden im vorherigen Teil beschriebenen inhaltlichen Bezugsebenen (an der Entscheidung beteiligte Medien, im Kategoriensystem abgekürzt mit „Medium“ bzw. die Lehrkraft) angesprochen. Eine Ausnahme bildet hierbei die Entscheidung „keine Entscheidung“, für die sich alle Begründungen inhaltlich auf die Lehrkraft selbst beziehen. Ebenso beziehen sich alle Begründungen für die Brillen-AR-Variante bei der Entscheidung Brillen-AR vs. Tablet-AR auf die an der Entscheidung beteiligten Medien. Nachfolgend sind Beispiele aus den Kategoriensystemen „Begr_…“ dargestellt, um die Zuordnung der Begründungen zu einer der beiden inhaltlichen Bezugsebenen zu veranschaulichen.

- *„Weil der Schaltkreislauf zusätzlich visualisiert wird und dies eine Hilfe darstellt.“ (EN20SA14, Pos. 3)* → „Begr_AR_vs_nonAR“ > „AR“ > „Medium“

11 Die Hauptkategorien „Entscheidung“ und „Begründung“ waren aufgrund der Fragestellung von vorneherein vorgesehen. Die Unterkategorien wurden jeweils induktiv am Material gebildet. Die Hauptkategorie „Argumentationsrichtung“ wurde auch induktiv am Material gebildet (s. a. Codierleitfaden, Anhang 7).

- *„Da Tablets mir vertrauter sind.“ (IG09EV17, Pos. 5)* → „Begr_Brille_vs_Tablet“ > „Tablet-AR“ > „Lehrkraft“

Es fällt auf, dass sich insgesamt deutlich mehr Begründungen inhaltlich auf die an der Entscheidung beteiligten Medien beziehen als auf die Lehrkraft. Bei der Entscheidung „AR-Variante vs. non-AR-Variante“ liegen überdies mehr Begründungen mit Bezug zur Lehrkraft bei der non-AR-Variante vor. Ähnliches lässt sich bei der Entscheidung „Brillen-AR-Variante vs. Tablet-AR-Variante“ beobachten in Bezug auf die Tablet-AR-Variante. Aufgrund der geringen Häufigkeiten insgesamt und aufgrund der fehlenden statistischen Repräsentativität im Rahmen des qualitativen Forschungsdesigns dürfen (solche) Häufigkeitsunterscheide allerdings nicht überinterpretiert werden.

Die Tabellen rechts oben und rechts unten (s. Abb. 3) offenbaren die Argumentationsrichtungen der Begründungen der angehenden Lehrkräfte. Es folgen Beispiele zur Erklärung.

- *„Kenne mich mit der Technik nicht aus“ (EN28IN10, Pos. 3)* → Person wählt die non-AR-Variante (ersichtlich aus Codierung des Dokuments mit dem entsprechenden Code) und begründet argumentativ gegen die nicht gewählte Variante, daher „gegen die alternative Var.“
- *„Wenn man Brillen zur Verfügung hat, denke ich ist es einfacher, man hatnicht [sic] noch ein Tablet in der Hand, durch das man „durchschaut““ (ER17BI3, Pos. 5)* → Person wählt die Brillen-AR-Variante (ersichtlich aus Codierung des Dokuments mit dem entsprechenden Code) und begründet argumentativ dafür, daher „für die gewählte Var.“

Die Argumentation für die gewählte Variante ist insgesamt am häufigsten vertreten.

Die inhaltliche Ausdifferenzierung der Begründungen für jede Entscheidungsoption und inhaltliche Bezugsebene ist in Abb. 4 zu sehen. Zu jeder bereits vorhandenen Unterkategorie „Medium“ bzw. „Lehrkraft“ für jede Entscheidungsoption wurden hierzu weitere Unterkategorien gebildet.

Beispielhafte Begründungen für die Entscheidung zwischen der AR-Variante und der non-AR-Variante:

- *„Es ist eine gute Möglichkeit, um die Individualisierung im Unterricht zu stärken, wenn die SuS dadurch in ihrem eigenen Tempo arbeiten können, ohne auf handschriftliche Zeichnungen angewiesen zu sein“ (IS12AN12, Pos. 3)* → „AR“ > „Medium“ > „Individualisierung“
- *„Weil ich mich damit weniger auf die technische Umsetzung und mehr auf die fachliche Theorie fokussieren kann“ (ER05BE99, Pos. 3)* → „non-AR“ > „Lehrkraft“ > „Zusätzliche Arbeit“

Beispielhafte Begründungen für die Entscheidung zwischen der Brillen-AR-Variante und der Tablet-AR-Variante:

- *„Es ist kein Tablet zwischen ihnen und dem was sie sehen“ (IS29AS29, Pos. 5)* → „Brillen-AR“ > „Medium“ > „Fehlende Display-Barriere“
- *„mehrere Kinder können gleichzeitig auf ein Tablet schauen (CH17EV17, Pos. 5)* → Tablet-AR > „Medium“ > Geteilte Sicht

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)



Abbildung 4: Inhaltliche Übersicht zu den Kategorien für die Begründungen der Entscheidungen. Oben: Entscheidung AR-Variante vs. non-AR-Variante; Unten: Entscheidung Brillen-AR-Variante vs. Tablet-AR-Variante.

Insgesamt zeigt sich ein sehr heterogenes Bild an Begründungsinhalten und -zusammenhängen. Einige Begründungsinhalte werden allerdings öfter genannt als andere, z. B.:

- „Verständlichkeit“ und „Verknüpfung von Schaltung und Schaltskizze“ für die AR-Variante,
- „Zeichnen von Hand wichtig“ und „fehlende AR-Kenntnisse“ für die non-AR-Variante,
- „Fehlende Display-Barriere“ und „Händefreiheit“ für die Brillen-AR-Variante sowie
- „Gerät bekannt“ für die Tablet-AR-Variante

Auffallend ist, dass „keine Entscheidung“ immer mit inhaltlichem Bezug zur Lehrkraft begründet wird. Außerdem gibt es bei der Entscheidung für non-AR-Variante mehr Begründungen mit Bezug zur Lehrkraft als bei der Entscheidung für die AR-Variante. Die gleiche Tendenz lässt sich für den Vergleich der Tablet-AR-Variante mit der Brillen-AR-Variante feststellen. Inhaltlich zeigen die Begründungen mit Bezug zur Lehrkraft oft gewisse Defizite auf, z. B. fehlende Kenntnisse oder Erfahrungen bezüglich der zur Auswahl stehenden Varianten.

Insgesamt fällt auf: Die eingangs dargelegte „Aushandlung“ zwischen (aktuellen wie zukünftigen) Fach-Medien-didaktisch rekonstruierte Gestaltungsmöglichkeiten in Lehr-Lern-Situationen durch AR, speziell durch AR-Brillen und (aktuellen) technischen Limitationen (s. Theorie-Teil) sowie die daraus ableitbaren Vor- und Nachteile einer Entscheidungsoption gegenüber einer anderen spiegeln sich auch in der Gesamtheit der Begründungen wider. Besonders deutlich wird dies bei der Entscheidung zwischen der Brillen-AR-Variante und der Tablet-AR-Variante: Hier stehen sich – trotz der in der Befragung skizzierten Situation der „Schule der Zukunft“ (s. „Erfassung der Rohdaten“) – mögliche, zukünftige Fach-Medien-didaktisch begründete Potenziale der Brillen-AR-Variante und pragmatische, aktuell für den schulischen Einsatz sehr relevante Gründe für die Tablet-AR-Variante gegenüber, z. B. das Fehlen eines permanent wahrgenomme-

nen Displays gegenüber der aktuellen Verfügbarkeit von Tablets an Schulen und der Bekanntheit der Geräte. Eine weitere Auffälligkeit, die sich auf die eingangs erläuterte „Mehrwert-Debatte“ (s. Theorieteil, vgl. die Position von Krommer 2019) bezieht, findet sich bei beiden Entscheidungen wieder: Dass die andere, zur Auswahl stehende Variante, keinen „Mehrwert“ bzw. keinen (zusätzlichen) Nutzen habe, wurde sowohl für die non-AR-Variante als auch für die Tablet-AR-Variante als Begründung genannt.[12]

Zusammenhänge zwischen den (Haupt-)Kategorien

Da die Codierungen zu den einzelnen Kategorien wie bereits beschrieben meist disjunkt sind, können Zusammenhänge zwischen den (Haupt-)Kategorien nur über das gemeinsame Auftreten in einem Dokument (Kuckartz 2018) untersucht werden. Hierzu wurden entsprechende Kombinationen von Kategorien im selben Dokument im Code-Relations-Browser von MAXQDA gesichtet. Eine vollständige Darstellung aller Informationen aus dem Code-Relations-Browser für die im Folgenden präsentierten Ergebnisse ist angehängt (s. Anhang 2).

Zusammenhänge zwischen den einander entsprechenden (Haupt-)Kategorien beider Entscheidungen: Abb. 5 zeigt einen exemplarischen Screenshot der Ansicht im Code-Relations-Browser für die Analyse des Zusammenhangs zwischen den gewählten Entscheidungsoptionen für beide Entscheidungen („AR-Variante vs. non-AR-Variante“ und „Brillen-AR vs. Tablet-AR“).

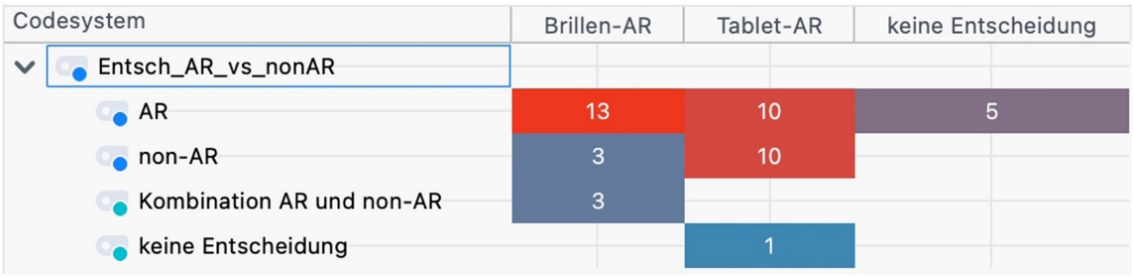


Abbildung 5: Code-Relations-Browser in MAXQDA (Screenshot). Zeilen: Entscheidungsoptionen für die Entscheidung „AR-Variante vs. non-AR-Variante“, Spalten: Entscheidungsoptionen für die Entscheidung „Brillen-AR-Variante vs. Tablet-AR-Variante“.

Folgende Ergebnisse sind aus der Untersuchung der Zusammenhänge der Kategorien „Entsch_…“ und „Begr_…“ im Code-Matrix-Browser hervorgegangen:

- Die „AR-Variante“ und die „AR-Brillen-Variante“ werden häufig gemeinsam gewählt. Eine weitere häufige Kombination an Entscheidungen ist „non-AR-Variante“ und „Tablet-Variante“ (s. Abb. 5).
- Die Begründung der Entscheidung für die AR-Variante mit Bezug zum Medium tritt oft auf mit der Begründung anhand des Mediums bei der zweiten Entscheidung (sowohl bei der Wahl der Brillen-AR-Variante als auch bei der Wahl der Tablet-AR-Variante) (s. Online-Anhang 2, Punkt 2).

Zusammenhänge zwischen verschiedenen (Haupt-)Kategorien über beide Entscheidungen hinweg: Bezüglich des Zusammenhangs zwischen der gegebenen Begründung und der Argumentationsrichtung (s. Anhang 2, Punkt 6) zeigt sich – wie bei den Erläuterungen zu Abb. 4 bereits angedeutet –, dass der Trend der Argumentation für die gewählte Variante nicht zu finden ist, wenn mit Bezug zur Lehrkraft argumentiert wird.

12 Mit Verweis auf die Ausführungen im Theorieteil sei nochmal betont, dass das dort aufgeführte Model of Usefulness (Nielsen 1993) eben keine ökonomisierte Beurteilung eines Mehrwerts erfordert, sondern auch eine (u. E. bevorzugte) Beurteilung eines Werts (s. a. Lauer et al. 2024).

Verbindungen zwischen quantitativen Merkmalen und ermittelten Kategorien

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Gegenüberstellungen der Kategorien in Bezug auf die von den Studienteilnehmer*innen besuchte(n) Lehrveranstaltung(en) zu Medien, ggf. auch mit Schwerpunkt AR, dargestellt. Die Teilnehmer*innen der Studie haben …

- entweder zuvor eine Lehrveranstaltung zu Medien mit *Schwerpunkt AR* (23 verwertbare Datensätze)
- oder eine Lehrveranstaltung zu Medien *ohne* Schwerpunkt AR (20 verwertbare Datensätze)
- oder *keine* Lehrveranstaltung zu Medien besucht (4 verwertbare Datensätze)

Wie bereits beschrieben, wurden für die Gegenüberstellung der Ergebnisse bezüglich der vorherigen Belegung einer einschlägigen Lehrveranstaltung Kreuztabellen in MAXQDA erzeugt und für die Analyse herangezogen. Eine vollständige Darlegung aller Daten und daraus abgeleiteten Ergebnisse ist angehängt (s. Anhang 3).

Mit Blick auf die jeweils getroffene Wahl bei den Entscheidungen zeigt sich, relativ gesehen, dass sich ein größerer Anteil der Studienteilnehmer*innen *mit* zuvor besuchter Medien-Lehrveranstaltung mit AR-Schwerpunkt (17/23) für die AR-Variante entscheidet (s. Anhang 3, Tab. A1). Die Teilnehmer*innen mit zuvor besuchter Lehrveranstaltung zu Medien *mit* AR-Schwerpunkt entscheiden sich häufiger für die Brillen-AR-Variante als die anderen Teilnehmer*innen (s. Anhang 3, Tab. A2).

Bei den Bezügen der Begründungen erscheint interessant, dass alle Entscheidungen für die non-AR-Variante, die mit Bezug zur Lehrkraft begründet wurden, von Teilnehmer*innen ohne besuchte Medien-Lehrveranstaltung bzw. mit besuchter Medien-Lehrveranstaltung *ohne* AR-Schwerpunkt stammen (s. Anhang 3, Tab. A3). Bezüglich der Begründungsinhalte (s. Anhang 3, Abb. A10) ist festzustellen: Die Begründungen für die AR-Variante und für die AR-Brillen-Variante bestehen bei den Teilnehmer*innen, die die Lehrveranstaltung mit *Schwerpunkt AR* besucht haben, zu einem großen Teil aus den wesentlichen Argumenten für AR bzw. für Brillen-AR, die auch in dieser Lehrveranstaltung thematisiert wurden (z. B. die Verknüpfung von Schaltung und Schaltskizze durch AR). Die Inhalte der Begründungen mit Bezug zur Lehrkraft für die non-AR-Variante sind „fehlende AR-Kenntnisse“ (3) und „Zusätzliche Arbeit durch AR“ (1) bei Studierenden ohne absolvierte Medien-Lehrveranstaltung.

Bezüglich der Argumentationsrichtung fällt auf, dass der Anteil an Argumentation *gegen* die alternative Variante bei Teilnehmer*innen mit einer besuchten Medien-Lehrveranstaltung (mit oder ohne AR-Schwerpunkt) höher ist als bei Teilnehmer*innen ohne besuchte Medien-Lehrveranstaltung (s. Anhang 3, Tab. A5).

Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse

Nachfolgend werden die zentralen Ergebnisse der Studie mit Blick auf die Forschungsfrage zusammengefasst (vgl. Kuckartz 2018): Wie entscheiden sich angehende Lehrkräfte für oder gegen AR(-Technologien) und welche Begründungen nennen sie für ihre Entscheidungen?

<u>Entscheidungen:</u>

- Die „AR-Variante“ wird häufiger gewählt als die „non-AR-Variante“, „Brille-AR-Variante“ und „Tablet-AR-Variante“ etwa gleich häufig. Fach-Medien-Didaktisch rekonstruierte Potenziale des Einsatzes von AR(-Brillen) und aktuelle, meist pragmatische Grenzen des Einsatzes von AR(-Brillen) in Lehr-Lern-Situationen halten sich die Waage – trotz explizitem Framing der Befragung in Hinblick auf ein Zukunftsszenario, in dem sowohl Tablets als auch AR-Brillen in Schulen etabliert sind.
- Teilnehmer*innen mit zuvor besuchter Lehrveranstaltung zu Medien mit Schwerpunkt AR entscheiden sich häufiger für die AR-Variante und für die Brillen-AR-Variante als andere Teilnehmer*innen.

<u>Begründungen:</u>

- Insgesamt herrscht eine sehr heterogene Begründungslage vor. Es beziehen sich mehr Begründungen auf die an der Entscheidung beteiligten Medien als auf die Lehrkraft selbst.
- Sowohl für die non-AR-Variante als auch für die Tablet-Variante wurde als Begründung genannt, dass die andere zur Auswahl stehende Variante (AR-Variante bzw. Brillen-AR-Variante) keinen Mehrwert gegenüber der gewählten Variante habe.
- Begründungen mit Bezug zur Lehrkraft, die inhaltlich Defizit-orientiert sind (insbesondere bei der Entscheidung für non-AR-Variante), stammen in der Regel von Teilnehmer*innen ohne zuvor besuchte Medien-Lehrveranstaltung mit AR-Schwerpunkt.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Diskussion

Diskussion bzgl. der Potenziale und (aktuellen) Grenzen des Einsatzes von Augmented Reality (AR) in Lehr-Lern-Situationen

Während die Entscheidung „AR-Variante vs. non-AR-Variante" deutlich zugunsten der AR-Variante ausfiel, wählen die Teilnehmer*innen in etwa gleich häufig die Brillen-AR-Variante und Tablet-AR-Variante. Letzteres kann so gedeutet werden, dass sich (zumindest aktuell) Vor- und Nachteile für beide technische AR-Realisierungen die Waage halten. Die Begründungsinhalte gehen einher mit den im Theorie-Teil dargestellten bisherigen Befunden zu (Entscheidungen und) Begründungen für oder wider den Einsatz innovativer Technologien (wie AR) in Lehr-Lern-Situationen durch angehende und praktizierende Lehrkräfte. Es sei (noch einmal) betont, dass die Studienteilnehmer*innen wahrscheinlich das für sie erstbeste Argument bzw. die für sie relevantesten Argumente angegeben haben. Es könnte also sein, dass auf Nachfrage noch andere Argumente angeführt worden wären. Außerdem fällt auf, dass – trotz entsprechendem Framing im Online-Fragebogen – auf ein Zukunftsszenario, in dem alle zur Auswahl stehen technischen Realisierungen in der Schule einsetzbar und die Geräte verfügbar sind, Argumente wie „Tablets sind als Geräte in Schulen verfügbar" genannt werden und sich gegen die Brillen-AR-Variante entschieden wird. Dies ist entweder damit zu erklären, dass die betreffenden Teilnehmer*innen den entsprechenden Abschnitt in der Online-Befragung nicht (richtig) gelesen haben, oder sich das Zukunftsszenario nicht richtig vorstellen konnten oder damit, dass die aktuelle(!) Verfügbarkeit der Tablets in Schulen (als Exempel für derzeit bestehende Einsatzschwierigkeiten, s. auch Theorieteil) für sie als Argument heraussticht.

Vor dem Hintergrund der eingangs dargestellten Modelle: Vor allem die Teilnehmer*innen mit zuvor besuchter Medien-Lehrveranstaltung mit AR-Schwerpunkt nennen gehäuft Argumente mit Bezug zur an der Entscheidung beteiligten Medien Bezug, die nach dem Model of Usefulness (Nielsen 1993) der Utility, speziell der Pedagogical Usability zugeschrieben werden können (z. B. Händefreiheit durch die AR-Brille, Verknüpfung von Schaltung und Schaltskizze durch AR).

Dass auch der (teilweise nicht wahrgenommene) „Mehrwert" ein Argument für oder gegen eine der zur Auswahl stehenden Varianten war, zeigt, dass für (zumindest einige) angehende Lehrkräfte – trotz Thematisierung einer *Wert*-Betrachtung statt eines rein ökonomischen Mehrwerts (s. Theorie-Teil) in der Lehrveranstaltung – eine ökonomische Abwägung stattgefunden hat. Die häufige Argumentation über einen (nicht) vorhandenen Mehrwert geht einher mit Befunden aus einer vorangegangenen Studie (vgl. Lauer & Peschel 2023), in der viele Befragte von sich aus keinen Mehrwert von beispielsweise AR gegenüber einer technischen Realisierung ohne AR oder von der AR-Brillen-Variante gegenüber der Tablet-AR-Variante ansprachen.

Diskussion bzgl. der Rolle und Relevanz der Lehrkraft auf die Gestaltung, Wirkung und Wirksamkeit von Unterricht durch AR sowie bzgl. der Implikationen für die Gestaltung des Curriculums der ersten Ausbildungsphase für das Lehramt an Grundschulen an der Universität des Saarlandes

Rolle und Relevanz der Lehrkraft: In Bezug auf die eingangs dargestellten möglichen zukünftigen Fach-Medien-didaktisch rekonstruierten Potenziale und die derzeit bestehenden (technischen oder finanziellen) Limitationen des Einsatzes und der Wirkungen von AR-(Visualisierungs-)Technologien können „zukunftsgewandte Optimist*innen" als auch „gegenwartsorientierte Pragmatiker*innen" unterschieden werden (als Vorschlag zur Charakterisierung der beiden Entscheidungskombinationen). Dass bei Begründungen mit Bezug zur Lehrkraft insgesamt mehr *gegen* die alternative Variante argumentiert (statt für die gewählte Variante) geht damit einher, dass diese Begründungen inhaltlich gewisse persönlich empfundene Defizite adressieren (vgl. kategorienbasierte Analyse). Persönliche (empfundene) Defizite der angehenden Lehrkräfte haben die Entscheidungen also deutlich beeinflusst (vgl. Ausführungen im Theorieteil). Die von den Teilnehmer*innen *ohne* besuchte Medien-Lehrveranstaltung angeführten, auf die Lehrkraft bezogenen Begründungen der Entscheidung gegen die AR-Variante bzw. gegen die Brillen-AR-Variante könnten nach Modellierungen wie dem COACTIV-Kompetenzmodell (Baumert & Kunter 2011) größtenteils auf das Professionswissen bezogen werden (fehlende Kenntnisse bzgl. AR bzw. Brillen-AR), welches „prinzipiell erlern- und veränderbar ist" (Kunter et al. 2011, S. 55). Es wurde festgestellt, dass Teilnehmer*innen mit zuvor

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

besuchter Lehrveranstaltung zu Medien mit Schwerpunkt AR sich häufiger für die AR-Variante und für die Brillen-AR-Variante entschieden haben als andere Teilnehmer*innen. Sie führen häufiger Begründungen für ihre Entscheidungen an, die in der AR-bezogenen Medien-Lehrveranstaltung thematisiert wurden. Dass die Teilnehmer*innen mit zuvor besuchter Medien-Lehrveranstaltung (mit oder ohne AR-Schwerpunkt) insgesamt gegen die nicht gewählte Variante argumentieren, könnte dadurch erklärt werden, dass diese Teilnehmer*innen durch die besuchten Lehrveranstaltungen bereits (mehr) differenzierte Abwägungen zwischen verschiedenen technischen Realisierungen herstellen. Demgegenüber steht der Befund, dass die Begründungen mit Bezug zur Lehrkraft, die inhaltlich Defizit-orientiert sind (insbesondere bei der Entscheidung für non-AR-Variante), i.d.R. von Teilnehmer*innen *ohne* zuvor besuchte Medien-Lehrveranstaltung. Außerdem zeigte sich, dass sich in den Begründungen der Teilnehmenden mit zuvor besuchter Medien-Lehrveranstaltung mit AR-Schwerpunkt gehäuft Fach-Medien-didaktisch rekonstruierte Argumente wiederfanden, wie sie auch in der Lehrveranstaltung thematisiert wurden (z. B. die Verknüpfung von Schaltung und Schaltskizze durch AR, die Händefreiheit durch AR-Brillen, etc.).

Implikationen für die Gestaltung des Curriculums: Im vorherigen Abschnitt wurde der Einfluss der Lehrkraft auf die Entscheidungen und Begründungen bei der Wahl zwischen der AR- und der non-AR-Variante bzw. zwischen der Brillen-AR-Variante und der Tablet-AR-Variante erläutert. Dabei zeigte sich der positive Einfluss des Besuchs der einschlägigen Lehrveranstaltung auf Fach-Medien-Didaktisch begründete Entscheidungen. Ebenso wurde erläutert, dass von den angehenden Lehrkräften (i.d.R. ohne vorherigen Besuch einer solchen Lehrveranstaltung) beschriebene Defizite in Kompetenz- bzw. Wissensbereiche fallen, die durch (universitäre) (Aus-)Bildungsangebote adressiert werden können. Eine Verankerung solcher Lehrveranstaltungen im verbindlichen Curriculum (bislang Teil des Wahlpflichtbereichs) erscheint daher sinnvoll.

Limitationen der Studie

Wenngleich die Realisierung der Datengewinnung mittels der Online-Befragung im Sinne der Intention der erläuterten (Nicht-)Beeinflussung der Entscheidungen und Begründungen der Studienteilnehmer*innen erfolgte, so birgt dieses Vorgehen auch einige Limitationen: Zunächst besteht keine direkte Möglichkeit der Nachfrage bei unklaren Antworten oder wenn eine Antwort eine interessante Nachfrage nahelegen würde. Zusätzlich ist von Wichtigkeit für die Interpretation der Ergebnisse, dass die Studienteilnehmer*innen die zur Entscheidung stehenden technischen Realisierungen nicht ausprobieren konnten, *bevor* sie ihre Entscheidungen fällten bzw. ihre Gründe nannten. Dafür konnten mit der gewählten Verfahrensweise auch Entscheidungen und Begründungen, die eben genau auf diese mangelnden Vorerfahrungen zurückzuführen sein könnten, erfasst werden. Darüber hinaus ist anzumerken, dass trotz der fehlenden Möglichkeit des Ausprobierens die Gesamtheit der Begründungen für oder gegen die eine oder die andere Variante sich nicht wesentlich zu denen in der vorangegangenen Studie (vgl. Lauer & Peschel 2023) unterscheidet.
Natürlich kann nicht ausgeschlossen werden, dass zumindest einige Teilnehmer*innen eher Argumente anführten, die ihnen in der Lehrveranstaltung als zentral vermittelt wurden, anstatt ihre persönliche Präferenz bzw. ihre persönlich als zentral empfundenen Begründungen zu nennen. Es sei aber noch einmal betont, dass durch die Realisierung der Datengewinnung über eine Online-Befragung versucht wurde, Effekte der Beeinflussung durch z. B. in einem persönlichen Interview empfundene Erwartungshaltung seitens der Teilnehmer*innen zu minimieren.

Fazit/Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der Studie war es, Implikationen für die Anbahnung einschlägiger AR-bezogener Kompetenzen bei den Studierenden in der Hochschullehre abzuleiten. Insgesamt geht aus dieser Studie hervor, dass die Abwägung bzw. die Konkurrenz zwischen Fach-Medien-didaktisch rekonstruierten Potenzialen von AR(-Technologien) sich in den Entscheidungen und Begründungen der Studienteilnehmer*innen widerspiegelt. Durch die (Teil-)Ergebnisse ist zudem ersichtlich geworden, dass der Besuch der Studierenden in einer Medien-Lehrveranstaltung mit Schwerpunkt AR die Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf AR(-Technologien)-Nutzung deutlich beeinflusst hat: Studienteilnehmer*innen, die diese Lehrveranstaltung zuvor

besucht hatten, wählen eher technische Realisierungen mit Fach-Medien-didaktisch rekonstruierten Aspekten als andere Teilnehmer*innen und argumentierten differenzierter und inhaltlich anhand der Fach-Medien-didaktisch rekonstruierten Gestaltungsaspekte. Dies zeigt, dass viele Teilnehmer*innen (=angehende Lehrkräfte) zukünftig bei technischer Machbarkeit auf AR-(Visualisierungs-)Technologien im Unterricht zurückgreifen würden.

Auf der anderen Seite stammen alle Begründungen mit Bezug zu empfundenen Erfahrungs- oder Kompetenzdefiziten bzgl. der technischen/medialen Realisierungen von Studienteilnehmer*innen *ohne* besuchte Medien-Lehrveranstaltung. Dies untermauert (erneut), dass die Ziele der Lehrveranstaltung erreicht wurden.

Zur Einordnung muss allerdings betont werden, dass es keinesfalls Ziel ist, angehenden Lehrkräften den Gebrauch von AR(-Technologien) „aufzudrängen". Es geht darum, für eine Fach-Medien-didaktisch begründete Wahl und Integration von Medien in Lehr-Lern-Situationen zu sensibilisieren (s. Ende des Theorieteils und Anhang 8).

AR und insbesondere AR-Brillen können aktuell noch nicht adäquat dem fachdidaktischen Anspruch in (schulischen) Lehr-Lern-Situationen zum Einsatz kommen. Oft wird dieser Einsatz – insbesondere bei AR-Brillen – durch pragmatische Aspekte wie die Wirtschaftlichkeit und durch technische Usability-Aspekte erschwert. Dennoch sollte an die positiven Befunde zur Auswirkung der besuchten Medien-AR-Lehrveranstaltung produktiv angeknüpft und parallel an der Verringerung aktueller Hindernisse pragmatischer und technischer Natur gearbeitet werden. Hierzu werden neben pädagogisch-didaktischer Expertise auch technische Expertise benötigt. Ebenso wichtig ist eine Expertise zur Einschätzung/Beurteilung der Wirkung technischer Realisierungen von fachdidaktischen Elementen auf das Lernen. Dies spricht dafür, dass bei einschlägigen (universitären) Lehrveranstaltungen die produktive Verzahnung von Expertisen aus verschiedenen Disziplinen (Pädagogik, Didaktik, Hard- und Softwareingenieurswesen usw.) bei Lehrenden (und Forschenden) sowie bei Lernenden verstärkt werden sollte.

Hinweis: Alle Anhänge sind zu finden im Forschungsdatenrepositorium der Universität Hildesheim: Lauer, L. (2026): Supplement zu „Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften", https://doi.org/10.25625/DNUVAN, GRO.data, V1.

Literatur

Aeppli, J., Gasser, L., Gutzwiller, E. & Tettenborn, A. (2016): *Empirisches wissenschaftliches Arbeiten – Ein Studienbuch für die Bildungswissenschaften* (4. Aufl.). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Akçayır, M. & Akçayır, G. (2017): Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review, 20*, S. 1-11.

Alalwan, N., Cheng, L., Al-Samarraie, H., Yousef, R., Ibrahim Alzahrani, A. & Sarsam, S. M. (2020): Challenges and Prospects of Virtual Reality and Augmented Reality Utilization among Primary School Teachers: A Developing Country Perspective. *Studies in Educational Evaluation, 66*, S. 100876.

Aljarrah, E., Elrehail, H. & Aababneh, B. (2016): E-voting in Jordan: Assessing readiness and developing a system. *Computers in Human Behavior, 63*, S. 860-867.

Anderson, C. L. & Anderson, K. M. (2019): Wearable Technology: Meeting the Needs of Individuals with Disabilities and Its Applications to Education. In I. Buchem, R. Klamma & F. Wild (Hrsg.), *Perspectives on Wearable Enhanced Learning (WELL)* (S. 59-77). Cham: Springer International Publishing.

Arici, F., Yildirim, P., Caliklar, Ş. & Yilmaz, R. M. (2019): Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. *Computers & Education, 142*, S. 103647.

Ateş, H. & Garzón, J. (2022): An integrated model for examining teachers' intentions to use augmented reality in science courses. *Education and Information Technologies, 28*(2), S. 1299-1321.

Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S.J. & MacIntyre, B. (2001): Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications, 21*(6), S. 34-47.

Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R. & Kinshuk (2018): Insights Into the Factors Influencing Student Motivation in Augmented Reality Learning Experiences in Vocational Education and Training. *Frontiers in Psychology, 9*, S. 1486.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Baumert, J. & Kunter, M. (2011): Das Kompetenzmodell von COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29-54). Münster: Waxmann.

Bortz, J. & Döring, N. (2006): *Forschungsmethoden und Evaluation.* Berlin, Heidelberg: Springer.

Buchner, J., Buntins, K. & Kerres, M. (2021): A Systematic Map of Research Characteristics in Studies on Augmented Reality and Cognitive Load. *Computers and Education Open*, S. 100036.

Cheung, S. K. S., Jiao, J., Lee, L.-K., Zhang, X., Li, K. C. & Zhan, Z. (Hrsg.) (2019): *Technology in Education: Pedagogical Innovations: 4th International Conference, ICTE 2019*. Guangzhou, China, March 15-17, 2019, Revised Selected Papers. Singapore: Springer Singapore. (= Communications in Computer and Information Science).

Dörner, R., Broll, W., Grimm, P. & Jung, B. (Hrsg.) (2019): Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität (2. Aufl.). Berlin: Springer Vieweg.

Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M. & Parchmann, I (2012): The Model of Educational Reconstruction – a framework for improving teaching and learning science. In D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research and Practice in Europe. Retrospective and Prospective* (S.13–37). Rotterdam u. a.: Sense Publishers.

Dunleavy, M. (2014): Design Principles for Augmented Reality Learning. *TechTrends, 58*(1), S. 2834.

European Commission (2017*): European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu.* LU: Publications Office.

Forkosh-Baruch, A., Phillips, M. & Smits, A. (2021): Reconsidering teachers' pedagogical reasoning and decision making for technology integration as an agenda for policy, practice and research. *Educational Technology Research and Development, 69*(4), S. 2209-2224.

Garzón, J., K., Baldiris, S., Gutiérrez, J. & Pavón, J. (2020): How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review, 31*, S. 100334.

Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (Hrsg.) (2013): *Perspektivrahmen Sachunterricht* (vollst. überar. u. erw. Aufl.). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Gesellschaft für Fachdidaktik (GFD) (2018): *Fachliche Bildung in der digitalen Welt – Positionspapier der Gesellschaft für Fachdidaktik.* https://www.fachdidaktik.org/wordpress/wp-content/uploads/2018/07/GFD-Positionspapier-Fachliche-Bildung-in-der-digitalen-Welt-2018-FINAL-HP-Version.pdf (Abfrage: 03.04.2020).

Gittinger, M. & Mulders, M. (2024): Using Augmented Reality for Teaching: A Hands-on Seminar Concept to Enhance Acceptance in Future Teachers. *Weizenbaum Journal of the Digital Society, 4*(4). https://doi.org/10.34669/wi.wjds/4.4.7

Haarhus, L., Holzapfel, M. & Brückmann, M. (2023): *AR-Dinosaurier-Modelle im naturwissenschaftlichen Sachunterricht* (Poster). https://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.13343.74407 (Abfrage: 13.04.2025).

Helmke, A (2015): *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität: Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts* (6. überar. Aufl.). Seelze: Klett/Kallmeyer.

Huang, T.-C. & Tseng, H.-P. (2025): Extended Reality in Applied Sciences Education: A Systematic Review. *Applied Sciences, 15*(7), S. 4038.

Irion, T., Kammerl, R., Böttinger, T., Brüggen, N., Dertinger, A., Martschinke, S., Niederberger, M., Pfaff-Rüdiger, S., Stephan, M., Thumel, M. & Ziegler, K. (2023): Professionalisierung für das Primat des Pädagogischen in der Digitalen Grundbildung Projekteinführung und -überblick zum BMBF-Projekt „Grundsatzfragen und Gelingensbedingungen in der Professionalisierung von pädagogischen Akteur:innen für Kinder im Grundschulalter" (P3DiG). In T. Irion, T. Böttinger & R. Kammerl (Hrsg.), *Professionalisierung für Digitale Bildung im Grundschulalter. Ergebnisse des Forschungsprojekts P³DiG* (S. 77-112). Münster, New York: Waxmann.

Jang, J., Ko, Y., Shin, W. S. & Han, I. (2021): Augmented Reality and Virtual Reality for Learning: An Examination Using an Extended Technology Acceptance Model. *IEEE Access, 9*, S. 6798-6809.

Kamińska, D., Zwoliński, G., Laska-Leśniewicz, A., Raposo, R., Vairinhos, M., Pereira, E., Urem, F., Ljubić H. M., Haamer, R. E. & Anbarjafari, G. (2023): Augmented Reality: Current and New Trends in Education. *Electronics, 12*(16), S. 3531.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Krommer, A. (2019): Wider den Mehrwert! Argumente gegen einen überflüssigen Begriff. In A. Krommer, M. Lindner, D. Mihajlovic, J. Muuß-Merholz & P. Wampfler (Hrsg.), Routenplaner #DigitaleBildung. Auf dem Weg zu zeitgemäßem Lernen. Eine Orientierungshilfe im digitalen Wandel. Hamburg: ZLL21, S. 115-123.

Kuckartz, U. (2018): *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4. Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz Juventa.

Kuhn, J., Lukowicz, P., Hirth, M. & Weppner, J. (2016): gPhysics - Using Google Glass as Experimental Tool for Wearable-Technology Enhanced Learning in Physics. *Ambient Intelligence and Smart Environments*, S. 212-219.

Kultusministerkonferenz (KMK) (2016): Auf dem Weg zum digitalen Lernen und Lehren. https://www.kmk.org/aktuelles/artikelansicht/auf-dem-weg-zum-digitalen-lernen-und-lehren.html (Abfrage: 20.01.2021).

Kunter, M., Kleickmann, T., Klusmann, U. & Richter, D. (2011): Die Entwicklung professioneller Kompetenz von Lehrkräften. In M. Kunter, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 55-68). Münster u.a.: Waxmann.

Lachner, A., Scheiter, K. & Stürmer, K. (2020): Digitalisierung und Lernen mit digitalen Medien als Gegenstand der Lehrerinnen- und Lehrerbildung. In C. Cramer, J. König, M. Rothland & S. Blömeke (Hrsg.), *Handbuch Lehrerinnen- und Lehrerbildung* (1. Aufl., S. 67-75). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Lauer, L., Irion, T. & Peschel, M. (2024): Mehrwert-Diskurse als Werte-Diskurse – Usefulness als didaktischer Gesichtspunkt im medialen Sachunterricht. *GDSU-Journal, 15*, S. 83-96.

Lauer, L. (2023): Augmentierungen für das Erlernen von Schaltsymboliken im naturwissenschaftlich-orientierten Sachunterricht der Primarstufe (Dissertation). Universität des Saarlandes. https://dx.doi.org/10.22028/D291-41400 (Abfrage: 13.04.2025).

Lauer, L. & Peschel, M. (2023): ‹Pedagogical Usability› von Augmented Reality zum Thema Elektrik: Eine qualitative Studie zum Potenzial des Einsatzes von AR im (naturwissenschaftlich-orientierten) Sachunterricht der Primarstufe. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, 51*, S. 25-64.

Lauer, L., Peschel, M., Fischer, M. & Peifer, P. (2023): Augmented Reality als Mittler im naturwissenschaftlich-orientierten Sachunterricht. In H. van Vorst (Hrsg.), Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? (S. 525-527). Kiel. https://markus-peschel.de/files_neu/publikationen/Lauer%20et%20al.%20%282023%29%20-%20Augmented%20Reality%20als%20Mittler.pdf (Abfrage: 13.04.2025).

Lauer, L., Peschel, M., Javaheri, H., Lukowicz, P., Altmeyer, K., Malone, S. & Brünken, R. (2022): Augmented Reality-Toolkit for Real-Time Visualization of Electrical Circuit Schematics. In G. S. Carvalho, A. S. Afonso & Z. Anastácio (Hrsg.), *Fostering Scientific Citizenship in an Uncertain World – ESERA 2021 e-Proceedings* (S. 291-296). Braga: CIEC, University of Minho. https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/81443/1/ESERA2021-Proceedings_Book.pdf (Abfrage: 20.01.2023).

Lauer, L. & Peschel, M. (2022): Praxisideen für Augmented Reality (AR) im naturwissenschaftlich-orientierten Sachunterricht. In B. Brandt, L. Bröll & H. Dausend (Hrsg.), *Digitales Lernen in der Grundschule III – Fachdidaktiken in der Diskussion* (S. 227-238). Münster, New York: Waxmann.

Lauer, L., Altmeyer, K., Malone, S., Barz, M., Brünken, R., Sonntag, D. & Peschel, M. (2021): Investigating the Usability of a Head-Mounted Display Augmented Reality Device in Elementary School Children. *Sensors, 21*(19), S. 6623.

Lauer, L. & Peschel, M. (2020): Gestaltung von Lehr-Lernumgebungen mit Augmented Reality (AR). In C. Maurer, K. Rincke & M. Hemmer (Hrsg.), *Fachliche Bildung und digitale Transformation – Fachdidaktische Forschung und Diskurse. Fachtagung der Gesellschaft für Fachdidaktik 2020* (S. 64-67). Regensburg: pedocs.

Lawrence, J. E. & Tar, U. A. (2018): Factors that influence teachers' adoption and integration of ICT in teaching/learning process. *Educational Media International, 55*(1), S. 79-105.

Liu, S., Toreini, P. & Maedche, A. (2025): Mixed Reality Learning Systems with Head-Mounted Displays in Higher Education: A Systematic Review. *Technology, Knowledge and Learning.* https://doi.org/10.1007/s10758-025-09912-z

Maulyda, M. A., Sugiman, S. & Wuryandani, W. (2024): Integration of Augmented Reality Technology For Learning. An Qualitative Meta-Analysis Study. *Progres Pendidikan, 5*(3), S. 260-273.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Milgram, P. & Kishino, F. (1994): A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information Systems E77-D*, 12.

Mirza, T., Dutta, R., Tuli, N. & Mantri, A. (2025): Leveraging augmented reality in education involving new pedagogies with emerging societal relevance. *Discover Sustainability, 6*(1), S. 77.

Nielsen, J. (1993): *Usability Engineering.* San Diego, CA; USA: Academic Press.

Nikou, S. A., Perifanou, M. & Economides, A. A. (2024): Exploring Teachers' Competences to Integrate Augmented Reality in Education: Results from an International Study. *TechTrends, 68*(6), S. 1208-1221.

Nokelainen, P. (2005): The Technical and Pedagogical Usability Criteria for Digital Learning Material. *Proceedings of ED-MEDIA 2005--World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications. Waynesville, NC: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE),* S. 1011-1016. https://www.learntechlib.org/primary/p/20212/ (Abfrage: 13.04.2025).

Oncu, S., Delialioglu, O. & Brown, C. A. (2008): Critical Components for Technology Integration: How Do Instructors Make Decisions? *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching, 27*(1), S. 19-46.

Pareja Roblin, N., Tondeur, J., Voogt, J., Bruggeman, B., Mathieu, G., & van Braak, J. (2018): Practical considerations informing teachers' technology integration decisions: the case of tablet PCs. *Technology, Pedagogy and Education, 27*(2), S. 165-181.

Perifanou, M., Economides, A. A. & Nikou, S. A. (2023): Teachers' Views on Integrating Augmented Reality in Education: Needs, Opportunities, Challenges and Recommendations. *Future Internet, 15*(1), S. 20.

Petko, D. & Döbeli Honegger, B. (2011): Digitale Medien in der schweizerischen Lehrerinnen- und Lehrerbildung: Hintergründe, Ansätze und Perspektiven. *Beiträge zur Lehrerbildung, 29*(2), S. 155-171.

Prieto, L. P., Holenko Dlab, M., Gutiérrez, I., Abdulwahed, M. & Balid, W. (2011): Orchestrating technology enhanced learning: a literature review and a conceptual framework. *International Journal of Technology Enhanced Learning, 3*(6), S. 583-598. https://doi.org/10.1504/IJTEL.2011.045449

Radu, I. & Schneider, B. (2019): What Can We Learn from Augmented Reality (AR)?: Benefits and Drawbacks of AR for Inquiry-based Learning of Physics. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 1-12. https://doi.org/10.1145/3290605.3300774

Rost, D. H. (2013*): Interpretation und Bewertung pädagogisch-psychologischer Studien: eine Einführung* (3. vollst. überarb. und erw. Aufl.). Stuttgart: UTB.

Rubach, C. & Lazarides, R. (2020): Digitale Kompetenzeinschätzungen von Lehramtsstudierenden fördern. *Journal für LehrerInnenbildung, 20*(1), S. 88-97. https://doi.org/10.25656/01:19393

Runge, I., Rubach, C. & Lazarides, R. (2021): Selbsteingeschätzte digitale Kompetenzen von Lehrkräften – Welche Bedeutung haben Schulausstattung und Fortbildungsteilnahme angesichts aktueller Herausforderungen der COVID-19-Pandemie? In S. G. Huber (Hrsg.), *Jahresbuch Schulleitung 2021* (S. 228-242). Kronach: Carl Link Verlag.

Scheiter, K. (2021): Lernen und Lehren mit digitalen Medien: Eine Standortbestimmung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 24*(5), S. 1039-1060.

Seibert, J., Lauer, L., Marquardt, M., Peschel, M. & Kay, C. W. M. (2020): deAR: didaktisch eingebettete Augmented Reality. In K. Kaspar, M. Becker-Mrotzek, S. Hofhues, Sandra, J. König & D. Schmeinck (Hrsg.), *Bildung, Schule, Digitalisierung* (S. 451-456). Münster, New York: Waxmann.

Silius, K. & Tervakari, A.-M. (2002): *An Evaluation of the Usefulness of Web-Based Learning Environments – The Evaluation Tool into the Portal of Finnish Virtual University.* http://www.mit.jyu.fi/OPE/kurssit/TIES462/Materiaalit/Silius_Tervakari.pdf (Abfrage: 30.04.2022).

Stürmer, K. & Lachner, A. (2017): Unterrichten mit digitalen Medien. In K. Scheiter & T. Riecke-Baulecke (Hrsg.), *Lehren und Lernen mit digitalen Medien. Strategien, internationale Trends und pädagogische Orientierungen* (S. 82-95). München: Oldenbourg.

Thyssen, C., Huwer, J., Irion, T. & Schaal, S. (2023): From TPACK to DPACK: The "Digitality-Related Pedagogical and Content Knowledge"-Model in STEM-Education. *Education Sciences, 13*(8), S. 769.

Tondeur, J., Scherer, R., Baran, E., Siddiq, F., Valtonen, T. & Sointu, E. (2019): Teacher educators as gatekeepers: Preparing the next generation of teachers for technology integration in education. *British Journal of Educational Technology, 50*(3), S. 1189-1209.

Tzima, S., Styliaras, G. & Bassounas, A. (2019): Augmented Reality Applications in Education: Teachers Point of View. *Education Sciences, 9*(2), S. 99.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Vieluf, S., Praetorius, A.-K., Rakoczy, K., Kleinknecht, M. & Pietsch, M. (2020): Angebots-Nutzungs-Modelle der Wirkweise des Unterrichts. Ein kritischer Vergleich verschiedener Modellvarianten. In A.-K. Praetorius, J. Grünkorn & E. Klieme (Hrsg.), *Empirische Forschung zu Unterrichtsqualität. Theoretische Grundfragen und quantitative Modellierungen* (1. Aufl., S. 63-80). Basel: Beltz Juventa. https://doi.org/10.25656/01:25864

Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y. & Liang, J.-C. (2013): Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education, 62*, S. 41-49.

Luisa Lauer & Markus Peschel (2026): Entscheidungen und Begründungen in Bezug auf den Einsatz von Augmented Reality(-Technologien) von angehenden Lehrkräften. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 154-176. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Hildesheim: Universitätsverlag Hildesheim.

Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Ein Fazit

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken

In den hier vorgestellten Beiträgen wurde sich auf unterschiedliche Weise dem Thema "Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen" genähert. In diesem Fazit werden zunächst Gemeinsamkeiten bzgl. der Lehr- und Lern-Konzepte und der durch die Begleitforschung gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst. Anschließend werden weitere übergreifende Implikationen skizziert.

Zwei Beiträge stellten heraus, dass die praktische Arbeit mit digitalen Technologien das Interesse, Fähigkeitsselbstkonzepte sowie Selbstwirksamkeitserwartungen von Lernenden positiv beeinflussen kann. So konnten Beudels und Hanses in ihrem Beitrag zeigen, dass die praktische Erprobung von Bestimmungsapps (z. B. für Pflanzen) für den Sachunterricht zu einer signifikanten Zunahme CK- und PCK-bezogener Fähigkeitsselbstkonzepte und des Sachinteresses an der Arbeitsweise „Bestimmen" und am Thema Bestimmungsapps geführt hat. Außerdem wurde von den Studierenden durch die aktive Auseinandersetzung die Relevanz der Bestimmungsapps für das Lernen im Unterricht erkannt. Ähnliches berichten Hahn et al., die zeigten, wie der Einsatz stummer Experimentiervideos zu einer signifikanten Steigerung der Selbstwirksamkeitserwartung von Studierenden hinsichtlich der Durchführung von Demonstrationsexperimenten im Physikunterricht führte. Die eingesetzten digitalen Methoden (Eye-Tracking, stumme Videos) wurden dabei als wertvoll für die Professionalisierung der Studierenden wahrgenommen.

Darüber hinaus zeigten drei Beiträge, wie Lernenden die digital gestützte Erkenntnisgewinnung nahegebracht werden kann. Eine tiefergehende fachdidaktische Auseinandersetzung mit dem Experimentieren wurde durch ein Seminarkonzept in der Chemiedidaktik bei Forster et al. erreicht. Hierbei erkannten die Studierenden nach dem Seminar deutlich mehr Einsatz- und Unterstützungsmöglichkeiten digitaler Assistenten in Form interaktiver E-Books im unterrichtlichen Erkenntnisgewinnungsprozess. Im Bereich der Biologie konnte Wilken durch ihr Seminarkonzept den Studierenden eine intensive Erprobung digitaler Messmethoden in der Humanbiologie ermöglichen. Allerdings erlebten die Studierenden in diesem konkreten Fall auch, dass der Einsatz digitaler Technologien in Lehr-Lern-Situationen herausfordernd sein kann. Das Seminarkonzept von Kärcher thematisierte ebenso die Erkenntnisgewinnung, konkret: das Modellieren. Auch in diesem Seminar setzten sich die Studierenden aktiv mit ihrem Verständnis von Erkenntnisgewinnung und dem Einsatz digitaler Technologien im Prozess des Modellierens auseinander. Die Evaluation zeigte ebenfalls punktuelle Herausforderungen der Studierenden wie z. B. anfängliche Unsicherheiten im Umgang mit den eingesetzten Technologien.

Zwei Beiträge arbeiteten anhand ihrer Forschungsergebnisse heraus, wann man sich in Lehr- und Lern-Prozessen für digitale Technologien im Bereich der Augmented Reality (AR) entscheiden sollte. Lauer und Peschel zeigten, wie Studierende des Sachunterrichts kritisch zu einer solchen Entscheidung kommen und welche Voraussetzungen den Entscheidungsprozess beeinflussen. Syskowski et al. setzten sich in ihrem Beitrag mit dem Einsatz von AR im Schulkontext auseinander: Sie zeigten durch die detaillierte Analyse von Lernenden-Interaktionen mit AR-Modellen, welche konkreten Potenziale die Nutzung von AR beim Experimentieren für die interaktive Wissenskonstruktion von Schüler*innen im Chemieunterricht hat.

Anhand der Beiträge in diesem Themenheft zeigt sich, dass digitale Technologien in den Naturwissenschaftsdidaktiken in doppelter Rolle auftreten: Erstens dienen digitale Technologien zur Unterstützung

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Ein Fazit. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 177-180. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

fachlichen und fachdidaktischen Lernens und zweitens benötigen Lehrkräfte digitale Kompetenzen zum lernförderlichen Einsatz digitaler Technologien im Schulunterricht.

In allen Beiträgen wurden konkrete Themen der Naturwissenschaften aufgegriffen, die digital unterstützt durch Lernende erarbeitet werden müssen: Von humanbiologischen und botanischen Grundlagen, über die Säure-Base-Chemie bis hin zu naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen wie Experimentieren und Modellieren können die vorgestellten Konzepte konkrete Ansatzpunkte für die Ausbildung von angehenden Lehrkräften, aber auch das Lehren und Lernen an Schulen bieten. Dabei wird deutlich, dass die eingesetzten digitalen Technologien nicht als technisches „Add-On" zu sehen sind, sondern die Erarbeitung der fachlichen und fachdidaktischen Inhalte unterstützen können und Beispiele für ein Lernen *mit* und *über* digitale(n) Technologien sind.

Um ein solches Lernen in die Schule tragen zu können, müssen angehende Lehrkräfte die didaktische Implikation erlernen (bspw. Huwer et al. 2019). Dies verdeutlichen die Autor*innen der Beiträge, die sich mit der Konzeption von Lehrveranstaltungen in der Hochschullehre auseinandersetzen. Bei der Evaluation dieser Konzepte zeigte sich, dass das Lernen *über* digitale Technologien integraler Bestandteil der Förderung digitaler Kompetenzen von angehenden Lehrkräften ist.

Bei diesem Lernen über digitale Technologien wird in vielen Beiträgen auch deutlich, dass sich angehende Lehrkräfte mit ihren Überzeugungen und ihrer eigenen Rolle auseinandersetzen müssen. Die Professionalisierung von Lehrkräften umfasst nicht nur das Erlernen der reinen Bedienkompetenzen, sondern ebenso affektiv-motivationale Dispositionen (u. a. Vogelsang et al. 2019). Dies kann abschließend auch anhand des Stufenmodells von Wildt (2006) verdeutlicht werden:

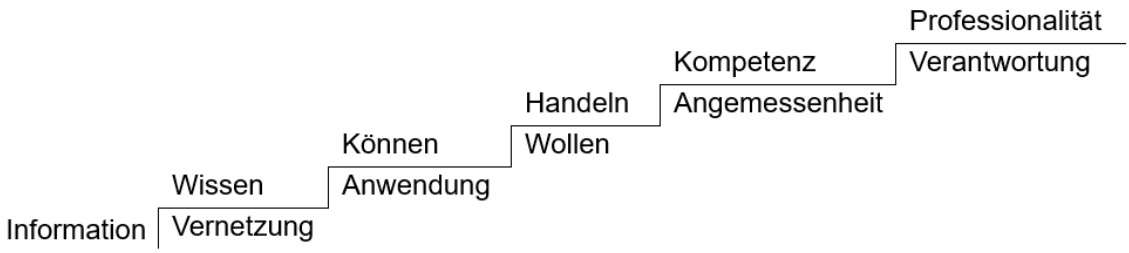


Abbildung 1: Stufen der professionellen Kompetenz nach Wildt (2006, S. 7)

Auf den ersten beiden Stufen (Wissen und Können) hin zur Professionalisierung erlernen angehende Lehrkräfte zunächst die nötigen Grundlagen, auch in der Handhabung digitaler Technologien. Sehen sie dann einen Anlass zum Einsatz und haben die nötige Motivation, erreichen sie die Stufe des Handelns. Kompetent werden Lehrkräfte dann, wenn sie eine begründete Entscheidung für oder gegen den Einsatz digitaler Technologien treffen können. Für die Stufe der Professionalität müssen Lehrkräfte abschließend ihre Verantwortung gegenüber den Schüler*innen und der Gesellschaft miteinbeziehen – letztlich die Forderung des Primats der Pädagogik, das bereits in der Strategie der Kultusministerkonferenz aus dem Jahr 2016 formuliert wurde (Kultusministerkonferenz 2016).

Hieran wird deutlich, dass die vorgestellten Seminarkonzepte den Versuch unternehmen, angehende Lehrkräfte auf diesen Stufen zu begleiten. Allerdings zeigen die Evaluationsergebnisse einiger Beiträge, dass Studierende auf den ersten Stufen (Wissen, Können und Handeln) bereits mit vielen Herausforderungen konfrontiert werden (bspw. sinkende Motivation bei Wilken, Rückmeldung zum Stresserleben bei Kärcher und „gegenwartsorientierte Pragmatiker*innen" bei Lauer & Peschel). Hierbei scheint in der konkreten Umsetzung solcher Ideen der "Praxisschock" (Dicke et al. 2016) einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Einstellung gegenüber digitalen Technologien zu haben.

Gleichzeitig ermöglicht die intensive Auseinandersetzung mit digitalen Technologien im Hochschulumfeld, dass angehende Lehrkräfte die Relevanz ihres Einsatzes für ihren späteren Beruf erkennen. Dies dürfte auch mit der grundsätzlich ähnlichen Anlage der vorgestellten Seminare zusammenhängen. Eine Gemeinsamkeit liegt in der engen Verzahnung fachwissenschaftlicher und fachdidaktischer Lerninhalte. Damit begegnen die Konzepte einer in der Lehrkräftebildung vielfach kritischen Betrachtung der strukturellen Trennung beider Bereiche (u. a. Schecker & Ralle 2009). Zugleich weisen die Lehr- und Lern-Konzepte einen hohen Praxisbezug auf, etwa durch die Arbeit mit schultypischen Materialien und Arbeitsweisen,

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Ein Fazit. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 177-180. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

die Anbindung an curriculare Inhalte, fachdidaktische Reflexionsimpulse sowie zum Teil durch Arbeit mit Schüler*innen. Methodisch verbindend zeigt sich über alle vorgestellten Konzepte in der Hochschullehre zudem das sog. Constructive Alignment (Biggs & Tang 2007), das es den Studierenden ermöglicht, selbst die intendierten Lehr-Lern-Aktivitäten mit digitalen Technologien zu durchleben. Durch die aktive und intensive Beschäftigung mit den digitalen Technologien können sich die Studierenden kritisch mit den Einsatzmöglichkeiten und ihrer Einstellung gegenüber diesen auseinandersetzen. Dabei erleben sie sich einerseits als selbstwirksam, andererseits erkennen sie die Relevanz digitaler Technologien für Lehr- und Lern-Prozesse, finden tiefergehende Anknüpfungspunkte an fachliche Konzepte und können fundierte, kritische Entscheidungen über den Einsatz der digitalen Technologien treffen.

Zugleich machen die Beiträge deutlich, dass die langfristige Implementierung solcher Lehr- und Lern-Konzepte in die Hochschullehre nicht voraussetzungslos ist. Je nach Konzept erfordern die Seminare eine mehr oder weniger aufwändige und kostenintensive technische Ausstattung, zeitliche und personelle Ressourcen sowie organisatorische Abstimmungen, etwa bei der Arbeit mit Schüler*innen. Dies veranschaulicht, dass die nachhaltige Verankerung solcher Professionalisierungsangebote nicht allein eine didaktische, sondern auch eine strukturelle Entwicklungsaufgabe ist.

Mit diesem Themenheft wird insgesamt die Bedeutung interdisziplinärer Zusammenarbeit innerhalb der Naturwissenschaftsdidaktiken sichtbar. In der Synthese der Ergebnisse ergeben sich zwei weiterführende Perspektiven: Zum einen, dass die Erfassung digitaler Kompetenzen mitsamt technologiebezogenem Professionswissen und motivational-affektiven Dispositionen herausfordernd ist (Blömeke et al. 2015). Zum anderen, dass die Integration digitaler Technologien stets im naturwissenschaftlichen Fachkontext gedacht werden muss (Hillmayr et al. 2020).

In den Beiträgen werden dabei methodische Herausforderungen deutlich, die in zukünftigen Forschungsarbeiten weiter betrachtet werden sollten. Während einige Beiträge zur Evaluation der Lehrveranstaltungen motivational-affektive Dispositionen und Selbstauskünfte über digitale Kompetenzen herangezogen haben (Beudels & Hanses; Forster et al.; Hahn et al.; Wilken) bleibt offen, inwiefern sich digitale Kompetenzen insgesamt entwickelt haben. Da neben motivational-affektiven Facetten auch technologiebezogenes Professionswissen (Koehler & Mishra 2009) sowie handlungsbezogene Fertigkeiten zur Umsetzung der Dispositionen in Performanz bedeutsam sind (Blömeke et al. 2015), sollte in zukünftigen Studien die Entwicklung digitaler Kompetenzen in ihrer Gesamtheit untersucht werden. Darüber hinaus drängen sich Fragen bezüglich der Genauigkeit von Selbsteinschätzungen auf (Von Kotzebue 2022). Beispielsweise zeigen aktuelle Arbeiten, dass leistungsbasiert ermitteltes Professionswissen über den Einsatz digitaler Technologien ein signifikanter Prädikator für die Qualität der Planung technologiegestützten Unterrichts ist, während dies bei selbst eingeschätztem Professionswissen nicht der Fall ist (Von Kotzebue 2022). Es bleibt offen, inwiefern sich die digitalen Kompetenzen der Lernenden im Verlauf der Lehrveranstaltungen entwickelt haben und inwiefern die Lernenden diese Entwicklung mittels Selbsteinschätzung abbilden können.

Darüber hinaus verdeutlichen die Beiträge die Relevanz einer naturwissenschaftsspezifischen Perspektive auf Technologieintegration. In den Lehrveranstaltungen zeigte sich, dass die Integration digitaler Technologien im Unterricht nicht losgelöst vom Fachinhalt betrachtet werden kann (Hillmayr et al. 2020). Stattdessen wird der Umgang mit digitalen Technologien im jeweiligen naturwissenschaftlichen Kontext ausdifferenziert, etwa beim digital gestützten Experimentieren (Forster et al.; Hahn et al.), bei Modellierungen (Kärcher), bei digitaler Datenerhebung und -verarbeitung (Beudels & Hanses; Wilken) sowie bei der AR-gestützten Vermittlung von Fachwissen (Lauer & Peschel; Syskowski et al.). Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung domänenspezifischer Ansätze für die Förderung digitaler Kompetenzen angehender Lehrkräfte (Petko et al. 2025; Von Kotzebue 2022; Wilken et al. 2025). Für zukünftige Studien stellt sich die Frage, inwiefern naturwissenschaftliche digitale Kompetenzen fachübergreifend adressiert und zugleich spezifiziert werden können, beispielsweise anhand gemeinsamer Arbeitsweisen wie der digital gestützten Datenerhebung und -verarbeitung (Becker et al. 2020), oder ob abhängig von der jeweiligen Fachdomäne unterschiedliche Foki notwendig sind, etwa aufgrund von Unterschieden in spezifischen fachlichen Arbeitsweisen (z. B. Organpräparationen in der Biologie).

Insgesamt wird mit diesem Themenheft eine Breite an Lehrveranstaltungen vorgestellt, die die digitalen Kompetenzen von Lernenden in den Naturwissenschaften Biologie, Chemie und Physik sowie im Sachunterricht fördern sollen. Zugleich gehen aus den Projekten erprobte und frei verfügbare Materialien, Lehr-Lern-Bausteine und konzeptionelle Impulse hervor, die für andere Fächer sowie verschiedenste Lehr- und Lern-Settings adaptiert werden können. Auf diese Weise entfaltet das Themenheft seinen Mehrwert nicht

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Ein Fazit. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 177-180. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)

nur in der Zusammenschau von Forschungsergebnissen, sondern auch in der Bereitstellung transferfähiger Ansätze für Lehre an Schulen und Hochschulen sowie fachdidaktische Entwicklungsarbeit. Damit wird eine Grundlage für die Weiterentwicklung von Professionalisierung geschaffen, die über einzelne Disziplinen oder Kompetenzfacetten hinausgeht und als aktueller Ansatzpunkt für die Konzeption, Weiterentwicklung und Adaption von Lehrveranstaltungen und Forschungsvorhaben verstanden werden kann.

Literatur

Becker, S., Meßinger-Koppelt, J. & Thyssen, C. (2020): *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften [digital competences: orientations and practical examples for university sciences teacher education]*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung. https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/user_upload/JHS_Digitale_Basiskompetenzen_Naturwissenschaften_Web.pdf.

Biggs, J. B. & Tang, C. S.-K. (2007): *Teaching for quality learning at university. What the student does* (3. Aufl.). Maidenhead: McGraw-Hill Open Univ. Press (SRHE and Open University Press Imprint).

Blömeke, S., Gustafsson, J.-E. & Shavelson, R. J. (2015): Beyond dichotomies: Competence viewed as a continuum. *Zeitschrift für Psychologie, 223*(1), S. 3-13. https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000194

Dicke, T., Holzberger, D., Kunina-Habenicht, O., Linniger, C., Schulze-Stocker, F., Seidel, T., Terhart, E., Leutner, D. & Kunter, M. (2016). „Doppelter Praxisschock" auf dem Weg ins Lehramt? Verlauf und potentielle Einflussfaktoren emotionaler Erschöpfung während des Vorbereitungsdienstes und nach dem Berufseintritt. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 63*(4), S. 244-257. https://doi.org/10.2378/peu2016.art20d

Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I. & Reiss, K. M. (2020): The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers & Education, 153*, 103897. https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2020.103897

Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019): Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU Journal, 72*(5), S. 358-364.

Koehler, M. & Mishra, P. (2009): What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education, 9*(1), S. 60-70.

Kultusministerkonferenz (2016): *Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz.* https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2016/2016_12_08-Bildung-in-der-digitalen-Welt.pdf.

Petko, D., Mishra, P. & Koehler, M. J. (2025): TPACK in context: An updated model. *Computers and Education Open, 8*, 100244. https://doi.org/10.1016/j.caeo.2025.100244

Schecker, H. & Ralle, B. (2009): Naturwissenschaftsdidaktik und Lehrerbildung – Chancen und Risiken aktueller Entwicklungen. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 2*(9), S. 73-83.

Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D. & Thyssen, C. (2019): Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 25*(1), S. 115-129. https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6

Von Kotzebue, L. (2022): Beliefs, Self-reported or Performance-Assessed TPACK: What Can Predict the Quality of Technology-Enhanced Biology Lesson Plans? *Journal of Science Education and Technology, 31*, S. 570-582. https://doi.org/10.1007/s10956-022-09974-z

Wildt, J. (2006): Kompetenzen als "Learning Outcome". *Journal Hochschuldidaktik, 17*(1), S. 6-9.

Wilken, S., Mahler, D. & Heuckmann, B. (2025): Exploring technology-related belief structures: domain-specific and domain-general beliefs of preservice science teachers. *International Journal of Science Education*, S. 1-24. https://doi.org/10.1080/09500693.2025.2571132

Melanie Beudels, Katharina Forster, Larissa Hahn, Kevin Kärcher, Luisa Lauer, Sabrina Syskowski & Sarah Wilken (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. Ein Fazit. In: Melanie Beudels et al. (Hrsg.) (2026): Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften digital unterstützen – Beiträge aus Forschung, Schule und Hochschullehre. S. 177-180. (https://dx.doi.org/10.18842/hibsu-s-4)