

Kompetenzrahmen zur Gestaltung von Experimentierphasen

- Literatur-Review basierte Entwicklung eines Modells -

Teresa Tewordt*, Lisa Stinken-Rösner*

*Universitätsstraße 25, 33615, Bielefeld
ttewordt@physik.uni-bielefeld.de

Kurzfassung

Experimentieren im Physikunterricht kann das konzeptuelle Verständnis, die Aneignung naturwissenschaftlicher Methoden sowie die Entwicklung experimenteller Fähigkeiten auf Seiten der Lernenden fördern (Idris et al., 2022; Kreitler & Kreitler, 1974; Li et al., 2023). Hierfür müssen Experimentierphasen von der Lehrkraft geplant und gezielt in den Unterrichtskontext eingebettet werden. Dies erfordert spezifische Kompetenzen, welche bisher theoretisch jedoch erst wenig bis gar nicht ausdifferenziert wurden (von Aufschnaiter & Blömeke, 2010). Dabei sollte gerade das Wissen über jene Kompetenzen den Ausgangspunkt zur Gestaltung und Evaluation der Wirksamkeit von (fachdidaktischen) Lehrangeboten für angehende Physiklehrkräfte auf universitärer Ebene darstellen. Anhand eines KI-gestützten integrativen Literatur-Reviews (Tewordt & Stinken-Rösner, in Vorbereitung) wurde ein Erwartungsmodell mit operationalisierbaren (Teil-)Kompetenzen für die Gestaltung von Experimentierphasen im Physikunterricht formuliert. Dieses Erwartungsmodell wurde in Interviews von Expert:innen auf Vollständigkeit, sowie Passung überprüft und fehlende Inhalte ergänzt. Das Modell bildet eine Grundlage, um die Kompetenzentwicklung angehender Physiklehrkräfte im Studium zu beschreiben.

1. Kontext und Motivation

Experimente sind ein zentraler Bestandteil des Physikunterrichts, da sie sowohl das konzeptionelle Verständnis als auch die Fähigkeit zur Durchführung wissenschaftlicher Untersuchungen fördern (Stinken-Rösner, 2020; Tesch & Duit, 2004). Mit den vielfältigen Einsatzszenarien von Experimenten im Physikunterricht (Girwidz, 2020) geht eine große Bandbreite an Anforderungen an (angehende) Lehrkräfte einher. Lehrkräfte stehen beim schulischen Experimentieren vor der Herausforderung, wissenschaftliche Genauigkeit mit pädagogischen Erfordernissen in Einklang zu bringen. Dies erfordert nicht nur experimentelle Kompetenzen, sondern auch die Fähigkeit, Experimente didaktisch sinnvoll in den Unterricht zu integrieren (Kunter & Baumert, 2011). Dafür benötigen Lehrkräfte entsprechende Kompetenzen, um experimentelle Phasen zu strukturieren und durchzuführen. Allerdings fehlt bislang eine allgemein anerkannte Definition von Experimentierkompetenz bei Lehrkräften (von Aufschnaiter & Blömeke, 2010).

2. Theoretischer Hintergrund

Bitzenbauer und Meyn (2021) verorten Experimentierkompetenz im Rahmen der professionellen Kompetenz von Lehrkräften, wie sie von Baumert und Kunter (2006) beschrieben wurde. Ihr Modell unterteilt die experimentellen Kompetenzen in drei Bereiche: (i) Überzeugungen und Werte über Lehren und Lernen, (ii) professionelles Wissen und (iii) motivationale Orientierung. Die Überzeugungen und Werte beeinflussen, wie Lehrkräfte Experimente in den Un-

terricht integrieren. Die motivationale Orientierung bestimmt, in welchem Maße sie ihre experimentellen Fähigkeiten tatsächlich einsetzen. Das professionelle Wissen basiert auf Shulmans Konzept des pädagogischen Inhaltswissens (PCK; Shulman, 1986) und umfasst:

- a) Pädagogisches Wissen (PK): Wissen über Lehr- und Lernprozesse unabhängig vom Fach.
- b) Inhaltliches Wissen (CK): Fachspezifisches Wissen und Hintergrundinformationen.
- c) Pädagogisches Inhaltswissen (PCK): Wissen darüber, wie fachspezifische Inhalte vermittelt und typische Lernschwierigkeiten adressiert werden können.

Koehler und Mishra (2009) erweiterten Shulmans Ansatz, indem sie Technologisches Wissen (TK) ergänzten. Die Integration von TK in den PCK-Rahmen führte zu vier weiteren Wissensbereichen:

- d) Technologisches Wissen (TK): Wissen über technische Geräte und Vorgänge.
- e) Technologisches Inhaltswissen (TCK): Wissen über den Einsatz digitaler Werkzeuge in fachlichen Kontexten.
- f) Technologisch-pädagogisches Wissen (TPK): Wissen über die Nutzung digitaler Werkzeuge in der Unterrichtsgestaltung.
- g) Technologisch-pädagogisches Inhaltswissen (TPaCK): Wissen darüber, wie digitale Werkzeuge das fachspezifische Lernen und Lehren unterstützen können.

Auch Osborne (2014) hebt zentrale Kompetenzen hervor, die Lehrkräfte benötigen, um wissenschaftliche Experimentierpraktiken zu vermitteln und diese in einen Unterrichtskontext einzubetten. Basierend auf den Next Generation Science Standards (NGSS; National Research Council, 2013) beschreibt er drei wesentliche Kompetenzbereiche: prozedurales Wissen (Handlungswissen über den Ablauf einer Experimentierphase), epistemisches Wissen (die Fähigkeit, Daten zu sammeln, um Fragestellungen zu beantworten) und professionelles Wissen (im Sinne von PCK nach Shulman, 1986). Schreiber et al. (2009) schlagen zudem einen dreistufigen Prozess vor, um experimentelle Kompetenz zu operationalisieren: Planung, Durchführung und Auswertung. Während sich spätere Studien verstärkt auf die Experimentierkompetenz von Lernenden konzentrieren (z. B. Schreiber et al., 2009), bleiben die spezifischen Anforderungen an Lehrkräfte, insbesondere bei der Planung von Experimenten, oft unberücksichtigt.

Darüber hinaus hat die zunehmende Digitalisierung die experimentelle Praxis sowohl in der Forschung als auch in der Bildung grundlegend verändert. Dennoch wird die Integration digitaler Technologien in experimentelle Phasen in den meisten Studien und Modellen kaum thematisiert. Bestehende Rahmenwerke wie die von Bitzenbauer und Meyn (2021) oder Osborne (2014) konzentrieren sich auf das PCK-Modell nach Shulman (1986), während die Dimension des TPaCK nach Koehler und Mishra (2009) weitgehend unberücksichtigt bleibt.

3. Forschungsfrage

Das Entwerfen, Planen und Durchführen von Experimenten sind wesentliche Bestandteile des Physikunterrichts in der Schule, die für das Erreichen der Lehrplanziele und die Förderung des naturwissenschaftlichen Denkens wichtig sind. Um diesen umfassenden Prozess der Gestaltung von Experimentierphasen im Unterricht erfolgreich umsetzen zu können, benötigen Lehrkräfte spezifische Kompetenzen. Da in der Literatur kein Konsens darüber besteht, welche expliziten Kompetenzen für eine erfolgreiche Umsetzung von Experimentierphasen notwendig sind, ergibt sich folgende Forschungsfrage: Welche Kompetenzen benötigen (angehende) Physiklehrkräfte, um Experimentierphasen im Unterricht erfolgreich umzusetzen?

4. Forschungsmethode und -design

In dieser Studie wurde ein integratives Literatur-Review nach Torraco (2005) als Methode gewählt. Diese Methode ermöglicht einen systematischen Überblick über den aktuellen Forschungsstand (vgl. Abb. 1), von dem ausgehend Kompetenzerwartungen an (angehende) Lehrkräfte identifiziert werden können. In einem zweiten Schritt wird eine qualitative Inhaltsanalyse durchgeführt (Torraco, 2005). Ziel ist es, bestehende Modelle und Konzepte zu identifizieren, zu vergleichen, ein neues ganzheitliches

Rahmenkonzept abzuleiten und gleichzeitig Desiderate im Forschungsstand zu erkennen.

Die Suchanfrage umfasste die Schlüsselwörter: experiment*, Kompetenz*, Lehr* und Physik (Tewordt & Stinken-Rösner, accepted). Synonyme wurden ausgewählt und einbezogen, um ein breites Spektrum relevanter Publikationen zu erfassen. Die Suche wurde auf Englisch und Deutsch durchgeführt, um die internationale Forschungslage zu berücksichtigen. Folgende Datenbanken wurden durchsucht: Scopus, ERIC, FIS Bildung sowie die Bielefeld Academic Search Engine (BASE). Die Suchanfrage wurde am 20.06.2024 durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in ein Literaturverwaltungsprogramm eingepflegt und für das Titel- und Abstract-Screening aufbereitet.

Das Abstract-Screening erfolgte mithilfe künstlicher Intelligenz (KI) über die Software ASReview (Van De Schoot et al., 2021). Der Einsatz von KI hat das Potenzial die Effizienz, Systematik und Reproduzierbarkeit des Screenings zu erhöhen, da KI in der Lage ist, die Datenanalyse unbefangen zu automatisieren und zu optimieren (Van De Schoot et al., 2021). Die Software ermöglicht durch die Reduktion des Zeitaufwands und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse die Durchführung des Reviews durch eine Einzelperson. Die KI wurde zunächst mit einer Auswahl relevanter Literatur trainiert. Anschließend sortierte sie alle Publikationen nach vorhergesagter Relevanz und optimierte diese Reihenfolge fortlaufend während des Screenings. So konnte die Zahl der manuell zu prüfenden Publikationen reduziert werden. Der Zeitpunkt des Abbruchs des Screening-Prozesses wurde nach Van Haastrecht et al. (2021) festgelegt. Die Abbruchregel basiert auf folgender Formel (1):

$$R \approx N \cdot \left(\frac{r}{r + i} \right) \cdot 0,95 \quad (1)$$

Dabei bezeichnet R die Mindestanzahl identifizierter relevanter Artikel, die zur Beendigung des Screenings erforderlich ist, N die Gesamtstichprobengröße, r die Anzahl der in einer Teilstichprobe als relevant identifizierten Abstracts und i die Anzahl der irrelevanten Abstracts. Um ein Oversampling relevanter Abstracts zu vermeiden, wird die geschätzte Zahl R mit dem Faktor 0,95 multipliziert.

Für die qualitative Inhaltsanalyse wurde der inhaltsstrukturierende Ansatz nach Kuckartz (2018) verwendet. Die Hauptkategorien wurden sowohl induktiv als auch deduktiv aus der relevanten Literatur abgeleitet. Diese Mischform eignet sich besonders für die strukturierte Kategorisierung von Inhalten.

Im ersten Analyseschritt wurden relevante Textpassagen (operationalisierte Kompetenzerwartungen) mit der Software MAXQDA (MAXQDA, 2025) markiert. Im zweiten Schritt wurden thematische Hauptkategorien gebildet. Dabei wurden Kategorien aus der Literatur (Bitzenbauer & Meyn, 2021; Koehler & Mishra, 2009; Schreiber et al., 2009) teilweise übernommen und inhaltlich erweitert. Im dritten Schritt wurden die kodierten Textstellen den vordefi-

nierten Hauptkategorien zugeordnet, bevor induktiv Unterkategorien gebildet wurden. Hinsichtlich des professionellen Wissens erfolgte die Unterkategorisierung deduktiv durch die Erweiterung des PCK-Modells zu TPaCK. In einem vierten Schritt wurde das Material erneut unter Anwendung des Kategoriensystems analysiert. Das finale Kategoriensystem wurde anschließend visualisiert (vgl. Abb. 2).

Zur Validierung des Modells wurden zwei Expert:innen konsultiert, die in der zweiten Phase der Lehramtsausbildung (Referendariat) als Fachseminarleitungen für die Ausbildung angehender Lehrkräfte verantwortlich und gleichzeitig selbst aktive Physiklehrkräfte sind. Beide verfügen über langjährige Praxiserfahrung als Mentor:innen, Prüfer:innen und Anleiter:innen im Fach Physik. Ihre Rückmeldungen wurden zur Validierung und Erweiterung des Kategoriensystems genutzt. Im Rahmen von Einzelinterviews wurden die Expert:innen gebeten, die vorab knapp erläuterten Hauptkategorien aus Sicht der Unterrichtspraxis ausdifferenzieren. Im Anschluss wurden die Kategorien sukzessive geöffnet und die Unterkategorien zur Diskussion gestellt. In diesem Kontext wurden sämtliche Punkte aus dem integrativen Literatur-Review reflektiert und auf ihre Eignung und die jeweilige Platzierung im Modell geprüft.

5. Ergebnisse

Die Ergebnisse des integrativen Literatur-Reviews sowie eine Übersicht über die Anzahl der in den einzelnen Screening-Schritten ausgeschlossenen Artikel und die jeweiligen Ausschlussgründe sind in Abb. 1 dargestellt.

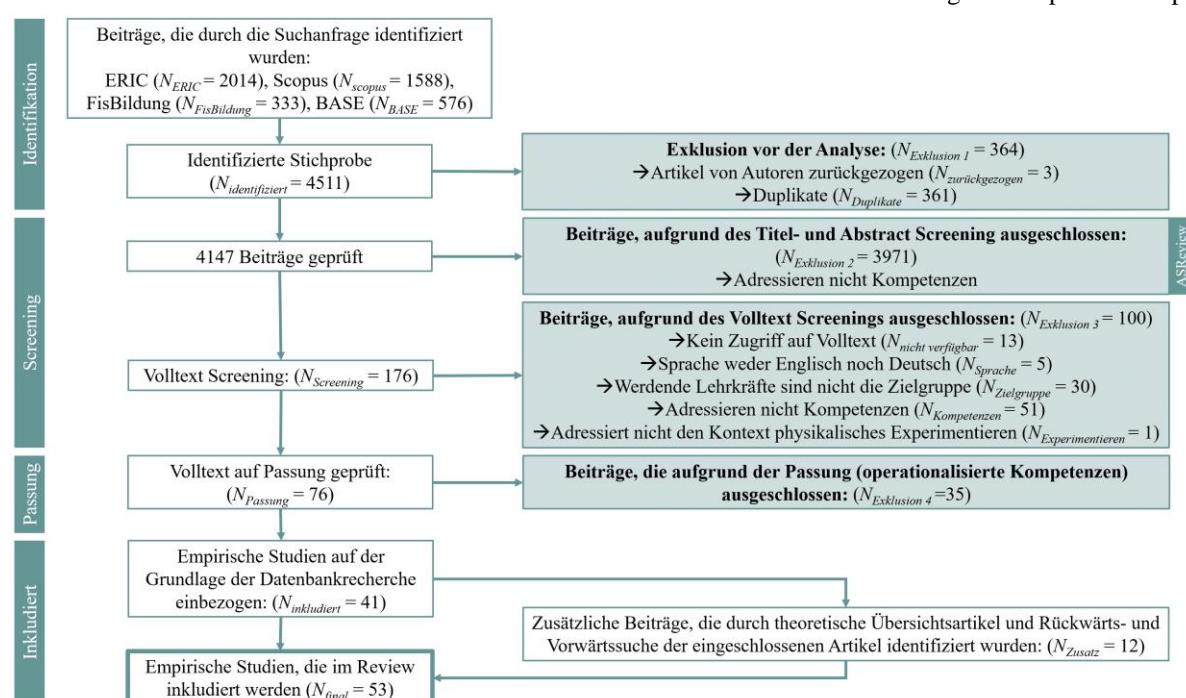


Abb. 1: Vorgehensweise beim integrativen Literatur-Review (Abbildung adaptiert nach Moher et al., 2009; Wörner et al., 2022)

Mit der Suchanfrage wurden 4511 Publikationen identifiziert. Nach dem Entfernen von 361 Duplikaten sowie drei zurückgezogenen Artikeln verblieben 4147 Artikel in der Stichprobe. Das KI-gestützte Titel- und Abstract-Screening wurde nach knapp einem Drittel der Stichprobe mit $N_{\text{Screening}} = 176$ relevanten Beiträgen abgeschlossen (vgl. van Haastrecht et al. (2021) mit $N_{\text{Teil}} = 1355$, $r = 60$). Es wurden 3971 Beiträge als thematisch nicht relevant eingestuft.

Im Volltext-Screening wurden die verbleibenden Artikel hinsichtlich Verfügbarkeit, sprachlicher Eignung, thematischer Passung und Zielgruppenrelevanz geprüft (vgl. Abb. 1). In diesem Schritt wurden weitere 100 Beiträge ausgeschlossen.

Weitere 35 Beiträge wurden ausgeschlossen, da sie zwar allgemein Kompetenzen thematisierten, diese jedoch weder operationalisierten noch differenzierten. Somit waren sie für die Beantwortung der Forschungsfrage nicht geeignet. Darüber hinaus wurden zwölf weitere Artikel durch Rückwärts- und Vorwärtssuchen ergänzt oder nachträglich in die Stichprobe integriert, da sie zum Zeitpunkt der Suchanfrage noch nicht publiziert waren, jedoch im Nachhinein als relevant klassifiziert wurden. Die endgültige Stichprobe für die Synthese umfasst damit $N_{\text{final}} = 53$ Artikel. Die Expert:innen hatten keine Einwände gegen die ermittelten Kategorien. Es wurden jedoch Details und Blickpunkte ergänzt, die aus der Literatur des integrativen Reviews nicht hervorgegangen waren. Dies eröffnet eine wichtige neue Perspektive auf blinde Flecken der Forschung in der Didaktik.

Aus den Erkenntnissen des integrativen Literatur-Reviews konnten neben den Kompetenzen, die eine Lehrkraft für die Gestaltung von Experimentierpha-

sen benötigt (im professionellen Wissen zusammengefasst), zwei weitere relevante Faktoren identifiziert werden, die maßgeblichen Einfluss auf die Gestaltung von Experimentierphasen nehmen: Die Rahmenbedingungen des schulischen Umfelds (z. B. finanzielle und materielle Ressourcen, Teamarbeit) und die Persönlichkeit der Lehrkraft (z. B. Leidenschaft, Praxisnähe).

Das daraus entwickelte Modell für das Designen von Experimentierphasen (DEP-Modell) (**Abb. 2**) bietet eine praxisnahe Grundlage, um universitäre Lehrangebote so zu gestalten, dass sie angehende Lehrkräfte gezielt auf die Anforderungen beim Experimentieren im Unterricht vorbereiten. Subkategorien, die durch die Expert:innen im DEP-Modell ergänzt wurden, werden in der folgenden Aufzählung durch die Quellenangabe „Expert:innen“ gekennzeichnet.

Der erste Faktor „Rahmenbedingungen“ umfasst vier Subkategorien:

- 1) Verfügbarkeit und Eignung von Materialien (u. a. Juhássová & Kireš, 2024)
- 2) Zusammenarbeit und Informationsaustausch (u. a. Adlim et al., 2018; Barbenza & Miguel, 1972)
- 3) Professionalisierung und Lebenslanges Lernen (u. a.; Adlim et al., 2018; Cildir, 2024; Suliyannah et al., 2019)
- 4) Logistik und Verwaltung (Expert:innen)

Der zweite Faktor „Professionelles Wissen“ umfasst sieben Subkategorien:

- 1) PK mit sechs Sub-Subkategorien
 - a) Planung von Unterricht (u. a. Akuma & Callaghan, 2020; Durmaz, 2016; Girwidz et al., 2022; Pusch et al., 2024; Schröder et al., 2020; Suliyannah et al., 2019)
 - b) Kommunikationsfähigkeit (u. a. Aminoto et al., 2021; Cildir, 2024; Durmaz, 2016; Gkioka, 2019; Pusch et al., 2024; Suliyannah et al., 2019;)
 - c) Berücksichtigung individueller Voraussetzungen (u. a. Kurniawan & Indrawati, 2019; Pusch et al., 2024; Schröder et al., 2020; Suliyannah et al., 2019)
 - d) Lehr- Lerntheorien (u. a. Riese et al., 2022; Suliyannah et al., 2019;)

- e) Classroommanagement (u. a. Bitzenbauer & Meyn, 2021; Vogelsang et al., 2020)
- f) Formatives und summatives Assessment (Expert:innen)

2) CK mit drei Sub-Subkategorien

- a) Fachwissen (u. a. Bagno et al., 2006; Bitzenbauer & Meyn, 2021; Schödl & Göhring, 2015; Schröder et al., 2020; Vogelsang et al., 2020)
- b) Wissenschaftliche Arbeitsweisen (u. a. Limatahu et al., 2018; Schreiber et al., 2009; Schreiber, 2012)
- c) Nature of Science (u. a. Adlim et al., 2018; Akuma & Callaghan, 2020; Al-Salamat, 2023)

3) TK ohne Sub-Subkategorien (Becker et al., 2020)

4) PCK mit sechs Sub-Subkategorien

- a) Adressat:innengerechte Erklärung (u. a.: Akuma & Callaghan, 2020; Cildir, 2024; Kulgemeyer, 2020; Pusch et al., 2024)
- b) Elementarisierung und didaktische Reduktion (u. a.: Pusch et al., 2024; Riese et al., 2022)
- c) Schüler:innenvorstellungen (u. a. Pusch et al., 2024; Riese et al., 2022)
- d) Kontextualisierung von Inhalten (Suliyannah et al., 2019; Araújo & Dias, 2020; Kulgemeyer, 2020; Pusch et al., 2024; Schröder et al., 2020)
- e) Funktion und Merkmale von Experimenten (u. a. Riese et al., 2022; Schreiber et al., 2009; Schröder et al., 2020)
- f) Darstellung und Einsatz von Fragestellungen (Schröder et al., 2020)

5) TCK mit zwei Sub-Subkategorien

- a) Datenerfassung (u. a. Aminoto et al., 2021; Al-Salamat, 2023; Becker et al., 2020)
- b) Datenverarbeitung (u. a. Aminoto et al., 2021; Al-Salamat, 2023; Becker et al., 2020)

6) TPK mit zwei Sub-Subkategorien

- a) Wissen über Gestaltungskriterien von Medien im Unterricht (u. a. Kulgemeyer, 2019; Pusch et al., 2024; Suliyannah et al., 2019;)



Abb. 2: DEP-Modell (Designen von Experimentierphasen im Unterricht)

- b) Wissen über digitale Medien für den Unterricht (u. a. Wolf & Kulgemeyer, 2016)
- 7) TPaCK mit zwei Sub-Subkategorien
- a) Nutzung digitaler Unterrichtsmaterialien (u. a. Sulyanah et al. 2019, Akuma & Callaghan, 2020; Aminoto et al., 2021; Becker et al., 2020; Isaeva et al., 2024; Juhászová & Kireš, 2024)
 - b) Gestaltung digitaler Unterrichtsmaterialien (u. a. Becker et al., 2020)

Der dritte Faktor „Persönlichkeit“ hat fünf Subkategorien:

- 1) Soziale Kompetenzen (u. a. Al-Salamat, 2023; Cildir, 2024; Sulyanah et al., 2019)
- 2) Leidenschaft (u. a.: Akuma & Callaghan, 2020; Bitzenbauer & Meyn, 2021; Pusch et al., 2024; Vogelsang et al., 2020)
- 3) Engagement und Initiative (u. a. Adlim et al., 2018; Akuma & Callaghan, 2020; Barbenza & Miguel, 1972; Sujarittham et al., 2019)
- 4) Überzeugungen und Werte (u. a. Bitzenbauer & Meyn, 2021; Cildir, 2024; Corlu & Corlu, 2012; Kurniawan & Indrawati, 2019)
- 5) Reflektion und Exploration (u. a. Baxter & Lederman, 1999; DPG, 2014)

Die Kombination eines integrativen Literatur-Reviews, Expert:inneninterviews und bestehenden theoretischen Rahmenwerken im DEP-Modell ermöglicht einen differenzierten Überblick über die Einflussfaktoren und Kompetenzen, die für die Planung und Durchführung effektiver Experimentierphasen im Physikunterricht erforderlich sind. Die Ergebnisse verdeutlichen das Zusammenspiel von schulspezifischen Kontextfaktoren mit den Persönlichkeitsmerkmalen und dem professionellen Wissen der jeweiligen Lehrkraft.

Der primäre Wirkungsbereich in der universitären Ausbildung liegt in der Förderung der Dimension des professionellen Wissens angehender Physiklehrkräfte – insbesondere durch Seminare, Vorlesungen und Laborkurse. Das vorgelegte Modell gibt gezielte Anhaltspunkte dafür, welche Fähigkeiten systematisch aufgebaut werden können.

Zudem wird die Entwicklung eines geeigneten Instruments zur Erfassung dieser Kompetenzen derzeit vorangetrieben. Die Ergebnisse aus kommenden Erhebungen sollen künftig dabei helfen, das Modell weiter zu validieren und konkrete Empfehlungen für die Lehre abzuleiten.

Diese Forschung leistet damit einen Beitrag zur Weiterentwicklung des Bildungsbereichs, indem sie die Lücke zwischen theoretischen Modellen und praktischen Unterrichtsanforderungen schließt.

6. Diskussion und Grenzen

Die Ergebnisse dieser Studie verdeutlichen die Komplexität der Faktoren, welche die Gestaltung von Ex-

perimentierphasen im Physikunterricht beeinflussen. Das vorgeschlagene DEP-Modell differenziert zwischen drei Faktoren: Rahmenbedingungen, Professionellem Wissen und Persönlichkeit und liefert damit eine umfassende Struktur, die die spezifischen Anforderungen des Experimentierens im schulischen Kontext berücksichtigt. Besonders hervorzuheben ist die Verzahnung dieser Dimensionen: Professionelles Wissen ist nicht losgelöst von äußeren Rahmenbedingungen und persönlichen Eigenschaften der Lehrkräfte zu betrachten. Das unterstreicht die Forderung nach einer ganzheitlichen Lehrkräfteausbildung, die sowohl fachdidaktische als auch persönliche Kompetenzen adressiert und zugleich institutionelle Bedingungen reflektiert.

Es soll an dieser Stelle betont werden, dass das vorliegende Modell nicht statisch sein kann. Lehrpläne, technische Entwicklungen und gesellschaftliche Anforderungen verändern sich kontinuierlich, weshalb auch das Kompetenzverständnis fortlaufend angepasst werden muss. Das DEP-Modell bietet hier eine belastbare Grundlage, deren Anwendbarkeit und Relevanz jedoch regelmäßig überprüft werden sollte, insbesondere da es Publikationen nach dem Zeitpunkt der Suchanfrage nicht berücksichtigt.

Ein weitere Limitation ist die inhärente Subjektivität der Literaturauswahl und -bewertung, trotz der transparenten Darstellung des Review-Prozesses und der Beteiligung von Interrater:innen bei der Entwicklung der Suchanfrage und Expert:innen im iterativen Modellbildungsprozess. Besonders die Entwicklung der Suchanfrage stellt eine Einschränkung dar, da sie naturgemäß bestimmte Fokussierungen vorgibt (Tewordt & Stinken-Rösner, in Vorbereitung).

Ein technischer Aspekt betrifft den Einsatz von KI beim Titel- und Abstract-Screening. Die Präzision der Ergebnisse hängt stark von den eingegebenen Parametern und Trainingsdaten ab. Es besteht daher das Risiko von Verzerrungen oder blinden Flecken im Screening-Prozess.

Obwohl das Modell in einer Interviewstudie mit zwei Expert:innen diskutiert und ergänzt wurde, kann die Allgemeingültigkeit des DEP-Modells nicht ohne Weiteres vorausgesetzt werden. Weitere Validierungsstudien in unterschiedlichen Kontexten sind notwendig, um die Übertragbarkeit und Praxistauglichkeit zu überprüfen.

7. Fazit & Ausblick

Das DEP-Modell bietet eine Grundlage für die Weiterentwicklung der Physiklehrkräftebildung. Es liefert konkrete Ansatzpunkte für die curriculare Gestaltung von Seminaren, Vorlesungen und Laborkursen. Besonders vielversprechend erscheint der Einsatz des Modells für die Entwicklung diagnostischer Instrumente, die die Professionalisierung angehender Lehrkräfte erfassen und fördern können.

Zukünftige Forschung sollte das Modell in realen Unterrichtskontexten evaluieren, um seine Praxistaug-

lichkeit zu überprüfen. Zudem wäre eine Übertragung auf andere MINT-Fächer denkbar, um fächerübergreifende Faktoren zu identifizieren. Ein weiterer Fokus könnte auf der Entwicklung von Lehrkräftefortbildungen zur digital gestützten Gestaltung von Experimentierphasen im Physikunterricht (z. B. Ziegler & Stinken-Rösner, 2024) liegen, die gezielt die im Modell verankerten Kompetenzen adressieren.

8. Literatur

- Adlim, M., Nuzulia, R., & Nurmaliah, C. (2018). The effect of conventional laboratory practical manuals on pre-service teachers' integrated science process skills. *Journal of Turkish Science Education*, 15(4), 116–129.
- Akuma, F. V., & Callaghan, R. (2020). Gaps in teacher competencies linked to inquiry-based practical work in certain resource-constrained South African physical sciences classrooms. *Journal of Physics: Conference Series*, 1512(1), 012035.
- Al-Salamat M. K. M. (2023) Correction: Scientific and engineering practices aligned with the NGSS in the performance of secondary stage physics teachers. PLOS ONE 18(10): e0292771. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275158>
- Aminoto, T., Pujaningsih, F. B., Dani, R., & Riantoni, C. (2021). Assessing pre-service physics teachers' competencies in designing photoelectric effect experiment using PhET simulation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1876(1), 012065.
- Araújo, R., & Dias, V. S. (2020). An analysis of the influence of the international masterclasses hands on particle physics on the self-efficacy beliefs of physics teachers. *Journal of Physics: Conference Series*, 1512(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1512/1/012041>
- Bagno, E., Levy, S., & Eylon, B.-S. (2006). How Can a Website for Physics Teachers Serve as a Tool for Professional Development? *Journal of Science Education and Technology*, 15, 215–219. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9000-z>
- Barbenza, G. H., & Miguel, O. (1972). A Teaching Strategy to Develop Physicist's Skills Early. *American Journal of Physics*, 40(2), 256–259. <https://doi.org/10.1119/1.1986504>
- Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520. <https://doi.org/10.1007/s11618-006-0165-2>
- Baxter, J. A., & Lederman, N. G. (1999). Assessment and Measurement of Pedagogical Content Knowledge. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Hrsg.), *Examining Pedagogical Content Knowledge: Science & Technology Education Library*, vol 6. (S. 147–161). Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-47217-1_6
- 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.
- Bitzenbauer, P., & Meyn, J. P. (2021). Fostering experimental competences of prospective physics teachers. *Physics Education*, 56(4), 045020. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abfd3f>
- Cildir, S. (2024). Improving the Professional Competencies of Physics Teacher Candidates Through Service Learning. In S. Valarmathi, J. Kareem, V. Tantia, K. Babu, & P. Lucas (Hrsg.), *Enhancing Curricula with Service Learning Models* (pp. 221-241). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-5933-4.ch011>
- Corlu, M. A., & Corlu, M. S. (2012). Scientific Inquiry Based Professional Development Models in Teacher Education. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 12(1), 514–521.
- Deutsche Physikalische Gesellschaft (Hrsg.). (2014). *Das Lehramtsstudium Physik in Deutschland*. https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/studien-der-dpg/pix-studien/dpg-studie_das_lehramtsstudium_physik_in_deutschland.pdf
- Durmaz, H. (2016). The Effect of an Instructional Intervention on Enhancement Pre-Service Science Teachers' Science Processes Skills. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 17(2), 1–29.
- Girwidz, R. (2020). Experimente im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik / Grundlagen*. (S. 263–291). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_7
- Girwidz, R., Theyßen, H., & Widenhorn, R. (2022). Experiments in physics teaching. In H. Fischer & R. Girwidz (Hrsg.), *Physics Education*.

- Challenges in Physics Education* (S. 269–296). Springer International Publishing.
- Gkioka, O. (2019). Preparing pre-service secondary physics teachers to teach in the physics laboratory: Results from a three-year research project. *AIP Conference Proceedings*, 2075(1), AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.5091406>
- Idris, N., Talib, O., & Razali, F. (2022). Strategies in mastering science process skills in science experiments: A systematic literature review. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(1), 155–170. <https://doi.org/10.15294/jpii.v11i1.32969>
- Isaeva, R., Omaralieva, Z., Moldoiarova, Z., & Kyzyl, G. B. (2024). Didactic training of future physics teachers to apply innovative technologies in educational process in the Kyrgyz Republic. *Scientific Herald of Uzhhorod University. Series Physics*, 55, 1569–1579. <https://doi.org/10.54919/physics/55.2024.156ys9>
- Juhászová, A., & Kireš, M. (2024). Developing the experimental skills of pre-service physics teachers. *Journal of Physics: Conference Series*, 2715(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2715/1/012021>
- Koehler, M., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)?. *Contemporary issues in technology and teacher education*, 9(1), 60–70.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*, 4. Auflage, Beltz Juventa.
- Kulgemeyer, C. (2019). Qualitätskriterien zur Gestaltung naturwissenschaftlicher Erklärvideos. In C. Maurer (Hrg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe* (S. 258–288). Universität Regensburg.
- Kulgemeyer, C. (2020). Erklären im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik / Grundlagen*. (S. 403–426). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_11
- Kreitler, H., & Kreitler, S. (1974). The role of the experiment in science education. *Instructional Science*, 3, 75–88. <https://doi.org/10.1007/BF00117027>
- Kurniawan, D. A., & Indrawati, P. S. (2019). Science process skills and motivation. *Humanities and Social Sciences Reviews*, 7(5), 48–56. <https://doi.org/10.18510/hssr.2019.756>
- Li, C., Zhu, J., Wang, Y., & Zhang, D. (2023). Research on Simulated Apparatus for Physics Velocity Experiments. *Academic Journal of Engineering and Technology Science*, 6(9), 26–30. <https://doi.org/10.25236/ajets.2023.060905>
- Limatahu, I., Wasis, Sutoyo, S., & Prahani, B. K. (2018). Development of CCDSR Teaching Model to Improve Science Process Skills of Pre-Service Physics Teachers. *Journal of Baltic Science Education*, 17(5), 812–827.
- MAXQDA, 2025, Software für qualitative Datenanalyse, 1989 – 2025, VERBI Software. Consult. Sozialforschung GmbH, Berlin, Deutschland.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- National Research Council (2013) *Next Generation Science Standards: For States, By States*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18290>
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196.
- Kunter, M., & Baumert, J. (2011). Das COACTIV-Forschungsprogramm zur Untersuchung professioneller Kompetenz von Lehrkräften—Zusammenfassung und Diskussion. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 345–366). Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830974338>
- Pusch, A., Ubben, M. S., Schlummer, P., & Welberg, J. (2024). *Demonstrationsexperimente gestalten: Konzeption und Umsetzung in Theorie und Praxis*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-68520-4>
- Riese, J., Vogelsang, C., Schröder, J., Borowski, A., Kulgemeyer, C., Reinhold, P., & Schecker, H. (2022). The development of lesson planning skills in the subject of physics: What influence does professional knowledge have? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 25(4), 843–867. <https://doi.org/10.1007/s11618-022-01112-0>
- Schödl, A. M., & Göhring, A. (2015). Fachspezifische Lehrerkompetenzen (FALKO) - Teilprojekt Physik. *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung*, DD 19.02. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/644>

- Schreiber, N., Theyßen, H., & Schecker, H. (2009). Experimentelle Kompetenz messen?!. *PhyDid A – Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 3(8), 092–101.
- Schreiber, N. (2012). *Diagnostik experimenteller Kompetenz: Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells* (Vol. 139). Logos Verlag.
- Schröder, J., Riese, J., Vogelsang, C., Borowski, A., Buschhäuser, D., Enkrott, P., ... & Schecker, H. (2020). Die Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung im Fach Physik mit Hilfe eines standardisierten Performanztests. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 26(1), 103–122.
- Shulman, L.S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educ. Res.*, 15, 4–14.
- Stinken-Rösner, L. (2020). Simulations in science education—status quo. *Progress in Science Education*, 3(1), 26–34.
- Sujarittham, T., Yeung, A., & Tanamatayarat, J. (2019). Training science teachers in using guided inquiry-based learning to develop experimental design skills in laboratories. *Journal of Physics: Conference Series*, 1380(1), 012070. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1380/1/012070>
- Suliyanah, Admoko, S., Prahani, B. K., Yusrizal, Astutik, S., & Pangastuti, R. (2019). Analysis of physics teacher competence in post-SM-3T teacher education program. *Journal of Physics: Conference Series*, 1171, 012052. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1171/1/012052>
- Tesch, M., & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht-Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften: ZfDN*, 10, 51–69.
- Tewordt, T. & Stinken-Rösner, L. (accepted). Entwicklung eines Kompetenzrahmens experimenteller Fähigkeiten. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor*.
- Tewordt, T. & Stinken-Rösner, L. (in Vorbereitung). A Literature-Review-Based Model of the Factors that Influence the Design of Experimental Phases in Physics Lessons.
- Torraco, R. J. (2005). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human Resource Development Review*, 4(3), 356–367.
- Van De Schoot, R., De Bruin, J., Schram, R., Zahedi, P., De Boer, J., Weijdema, F., ... & Oberski, D. L. (2021). An open source machine learning framework for efficient and transparent systematic reviews. *Nature Machine Intelligence*, 3(2), 125–133.
- Van Haastrecht, M., Sarhan, I., Yigit Ozkan, B., Brinkhuis, M., & Spruit, M. (2021). SYMBALS: A systematic review methodology blending active learning and snowballing. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 6, 685591.
- Vogelsang, C., Borowski, A., Kugelmeyer, C., Riese, J., Buschhäuser, D., Enkrott, P., Kempin, M., Reinhold, P., Schecker, H., & Schröder, J. (2020). Development of prospective physics teachers' professional knowledge and skills during a one-semester school internship. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, H.A. Pant, M. Toepper & C. Lautenbach (Hrsg.). *Student Learning in German Higher Education: Innovative Measurement Approaches and Research Results* (S. 105–123). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27886-1_6
- Von Aufschnaiter, C. & Blömeke, S. (2010). Professionelle Kompetenz von (angehenden) Lehrkräften erfassen—Desiderata. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 361–367.
- Wolf, K. D., & Kulgemeyer, C. (2016). Lernen mit Videos? Erklärvideos im Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 27(152), 36–41.
- 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), 911–952.
- Ziegler, M., & Stinken-Rösner, L. (2024). Lernen mit (interaktiven) Experimentiervideos: Schülerlabore als Orte der Lehrkräftefortbildungen (LFB). *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, DD 14.01*. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1443>