

## Entwicklung eines Seminars zur Förderung des Konzeptverständnisses mittels digitaler Medien

David Weiler\*, Jan-Philipp Burde\*, Andreas Lachner<sup>+</sup>, Josef Riese<sup>=</sup>, Thomas Schubatzky<sup>§</sup>, Rike Große-Heilmann<sup>=</sup>

\*Eberhard Karls Universität Tübingen, AG Didaktik der Physik, Auf der Morgenstelle 14, 72076 Tübingen;

<sup>+</sup>Eberhard Karls Universität Tübingen, Abteilung Schulpädagogik, Keplerstraße 17, 72074 Tübingen;

<sup>=</sup>Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Didaktik der Physik und Technik, Sommerfeldstraße 16, 52074 Aachen;

<sup>§</sup>Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik, Universitätsplatz 5, 8010 Graz;  
david-christoph.weiler@uni-tuebingen.de; jan-philipp.burde@uni-tuebingen.de; andreas.lachner@uni-tuebingen.de; riese@physik.rwth-aachen.de; thomas.schubatzky@uni-graz.at; grosse-heilmann@physik.rwth-aachen.de;

### Kurzfassung

Die Digitalisierung stellt Schule und Gesellschaft vor neue Herausforderungen, bietet jedoch gleichzeitig auch enorme Chancen. Im Physikunterricht können digitale Medien z.B. dazu beitragen, Schülerinnen und Schülern das Verständnis physikalischer Konzepte zu erleichtern. Im Rahmen des DiKoLeP-Verbundprojekts an den Universitäten Aachen, Graz und Tübingen wird daher ein Seminar entwickelt und evaluiert, dessen Ziel es ist, Studierende zum fachdidaktisch sinnvollen Einsatz von digitalen Medien zur Förderung des physikalischen Konzeptverständnisses zu befähigen. Trotz der Verankerung des Einsatzes von digitalen Medien in den KMK-Bildungsstandards haben viele Lehrkräfte nach eigenen Angaben nicht die notwendigen Kenntnisse und Erfahrungen, digitale Medien lernwirksam einzusetzen. Das neue Seminar soll daher angehenden Lehrkräften in der ersten Phase der Lehramtsausbildung die Möglichkeit geben, diese Kenntnisse und Kompetenzen zu erlangen und in komplexitätsreduzierten Unterrichtssequenzen zu erproben. Dieser Beitrag behandelt die Konzeption des Seminars und stellt die Forschungsfragen des DiKoLeP-Verbundprojekts u.a. in Zusammenhang mit der Evaluation des Seminars vor. Zusätzlich werden die Erhebungsinstrumente und die Struktur der Evaluation dargestellt.

### 1. Ausgangslage

#### 1.1. Verständnisschwierigkeiten im Unterricht

Die fachdidaktische Forschung der vergangenen Jahrzehnte zeigt, dass es vielen Lernenden in ihrer Schullaufbahn nicht gelingt, ein angemessenes Verständnis grundlegender physikalischer Konzepte und Zusammenhänge zu entwickeln. Diese Verständnisschwierigkeiten sind oftmals auf Schülervorstellungen zurückzuführen, die etwa durch Alltagserfahrungen oder aus physikalischer Sicht problematische Sprachbilder der Alltagssprache (z.B. „Stromverbrauch“) hervorgerufen werden können [1, 2, 3]. Es spielen aber auch lehrbedingte Schwierigkeiten eine Rolle, bei der Schülervorstellungen z.B. aus ungeeigneten ikonografischen Darstellungen von physikalischen Inhalten und Zusammenhängen durch die Lehrkraft hervorgerufen werden können [2].

#### 1.2. Digitale Medien

Der Einsatz digitaler Medien stellt eine Möglichkeit dar, derartigen Lernschwierigkeiten entgegenzuwirken und Schülerinnen und Schüler beim Erlernen von physikalischen Konzepten zu unterstützen. Viele di-

gitale Medien bieten eine neue Qualität der Anschauung, die beim Lernprozess einen positiven Einfluss haben kann [4]. So können beispielsweise Animationen dazu beitragen, fehlende interne kognitive Prozesse external durch die Animation vorzuführen [4]. Digitale Messwerterfassungssysteme können genutzt werden, um die Messwertaufnahme in den Hintergrund zu rücken, wodurch sich Lernende dem zu untersuchenden physikalischen Phänomen intensiver widmen können, was für das konzeptuelle Verständnis förderlich ist [5]. Es ist daher nicht verwunderlich, dass auf Grundlage dieser Potenziale die Kultusministerkonferenz den Einsatz digitaler Medien in den Bildungsstandards festgehalten hat [6].

Digitale Medien sind aber keine „Selbstläufer“, sondern es braucht professionelle Lehrkräfte, die sie lernwirksam und fachdidaktisch sinnvoll im Unterricht einsetzen und die Schülerinnen und Schüler somit beim Aufbau physikalischer Konzepte unterstützen. Um Schülerinnen und Schüler nicht zu überfordern, benötigt es auf Seiten der Lehrkräfte ausreichend Kenntnisse und Kompetenzen im Umgang mit digitalen Medien und deren fachdidaktisch überlegtem Ein-



**Abb. 1:** Design-Based-Research-Ansatz für das Projekt

satz. Allerdings zeigt sich, dass nur sehr wenige Lehrkräfte in ihrer Aus- und Fortbildung gelernt haben, wie digitale Medien im Unterricht fachdidaktisch sinnvoll und lernwirksam eingesetzt werden können, z.B. um Schülerinnen und Schülern die Begriffsentwicklung zu erleichtern [7].

Es ist davon auszugehen, dass digitale Medien immer mehr Einzug in den Physikunterricht finden werden – eine qualitativ hochwertige Implementierung digitaler Medien gelingt aus fachdidaktischer Perspektive aber nur dann, wenn Lehrpersonen auch dahingehend professionalisiert sind. Angehende Lehrkräfte benötigen daher bereits im Studium Gelegenheiten sich dahingehend zu qualifizieren, fachspezifische digitale Medien schülergerecht und lernwirksam einzusetzen [8].

## 2. Das Verbundprojekt DiKoLeP

Zu diesem Zweck haben sich die Universitäten Aachen, Graz und Tübingen zum Kooperationsprojekt „Digitale Kompetenzen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik“ (DiKoLeP) zusammengeschlossen. Dabei ist das primäre Ziel des Projekts die universitäre Ausbildung von Lehramtsstudierenden in Bezug auf den fachdidaktisch sinnvollen Einsatz von digitalen Medien im Physikunterricht an den Standorten zu verbessern. Hierzu werden im Rahmen des Verbundprojektes entsprechende Seminarkonzepte für Studierende des Lehramts Physik konzipiert und empirisch evaluiert, wobei an allen Projektstandorten die folgenden Kerninhalte in den Seminaren abgedeckt werden: lernpsychologische Grundlagen zum Medieneinsatz; fachdidaktische Grundlagen zum Einsatz von Simulationen, interaktiven Bildschirmexperimenten, digitalen Messwerterfassungssystemen, Videoanalysen und Erklärvideos. Nach dieser theoretischen Einführung sind praxisorientierte, fachdidaktische Lerngelegenheiten vorgesehen, die sich jedoch an den Projektstandorten leicht unterscheiden. So fokussiert der praktische Anteil des Seminars an der RWTH Aachen vor allem auf die Entwicklung und Durchführung von Lernzirkeln an Schulen (vgl.

[9] in diesem Band), während die Studierenden in Graz und Tübingen im Rahmen des Seminars Unterrichtsskizzen zum fachdidaktisch sinnvollen Einsatz digitaler Medien planen, durchführen und gemeinsam reflektieren.

Um die Lernwirksamkeit in Hinblick auf die Facette "Digitale Medien" des FDW evaluieren zu können, wird ein entsprechender Test benötigt. Ein Test in dieser Form existiert noch nicht, da bisher überwiegend mit Selbsteinschätzungen gearbeitet wurde [10]. In enger Zusammenarbeit mit den Projektbeteiligten wird am Standort Aachen deshalb ein Kompetenztest entwickelt, der die Facette „Digitale Medien“ aus dem Kompetenzmodell für das Fachdidaktische Wissen in Physik [11] operationalisiert [12]. Am Standort Graz wird auf Grundlage der gemeinsam erhobenen Daten die Rolle der Facette „Digitale Medien“ des Fachdidaktischen Wissens im Rahmen der Theory of Planned Behaviour [8] für den Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht untersucht.

In Tübingen liegt der Schwerpunkt auf der Konzeption und Evaluation eines entsprechenden Seminars zur Förderung des Konzeptverständnisses mit digitalen Medien im Physikunterricht, das in identischer Form in Graz und Tübingen stattfindet. Dabei soll den Studierenden nicht nur aufgezeigt werden, welches didaktische Potenzial digitale Medien zur Förderung des Konzeptverständnisses haben. Vielmehr zielt das Seminar darauf ab, den Studierenden fachdidaktische Lerngelegenheiten zu bieten, den Einsatz digitaler Medien praxisorientiert zu planen, umzusetzen und zu reflektieren. Diese Verknüpfung von Theorie und Praxis hat sich bisher für den Aufbau von technologiebezogenen fachdidaktischen Kompetenzen als besonders wirksam erwiesen [13, 14].

## 3. Forschungsfragen in Bezug auf die Seminarentwicklung

In Zusammenhang mit dem primären Ziel des Tübinger Teilprojekts der Entwicklung und Evaluation eines bedarfsorientierten und lernwirksamen Seminars

ergeben sich mehrere Forschungsfragen, die am Standort Tübingen im Rahmen des DiKoLeP-Verbundprojekts beantwortet werden sollen:

- I. Über welche Vorerfahrungen und Interessen in Bezug auf einzelne digitale Medien verfügen Studierende typischerweise?
- II. Wie entwickelt sich die professionelle Handlungskompetenz (in Anlehnung an [15]) während des Seminars in Bezug auf...
  - a. ... die Facetten „Digitale Medien“ und „Schülvorstellungen“ des Fachdidaktischen Wissens (FDW)?
  - b. ... ausgewählte Motivationale Orientierungen?
  - c. ... selbstregulative Fähigkeiten?
- III. Welche Lernvoraussetzungen (z.B. Motivationale Orientierungen, FDW) begünstigen die Entwicklung der Facette „Digitale Medien“ des FDW?
- IV. Inwiefern sind Studierende am Ende des Seminars in der Lage, einen aus fach- und mediendidaktischer Perspektive qualitätsvollen Unterricht mittels digitaler Medien zu planen und in exemplarischen Unterrichtssequenzen umzusetzen?
- V. Welche Aspekte des Seminars tragen aus Sicht der Studierenden maßgeblich zu dessen Qualität bei?

#### 4. Konzeption des Seminars

Die Seminar-konzeption und -evaluation erfolgt nach dem Design-Based Research Ansatz (DBR) [16, 17, 18], wobei das Seminar in Zyklen von Design, Evaluation und Re-Design systematisch entwickelt und evaluiert wird (siehe Abb. 1). Dem DBR Ansatz folgend, basiert die Seminar-konzeption auf einem theorie- und forschungsgeleiteten Vorgehen. Neben einer fundierten Literaturrecherche wird eine Bedarfsanalyse bei Studierenden durchgeführt.

In der Bedarfsanalyse wird neben den Vorerfahrungen mit einzelnen digitalen Medien auch erhoben, wie sehr die Studierenden an den einzelnen Medien interessiert sind und woher diese Vorerfahrungen stammen. Die Items der Bedarfsanalyse sind dabei an den verwendeten Items zur Ermittlung der lernbezogenen Vorerfahrungen von [8] angelehnt. Zur Eingrenzung der thematischen Inhalte des Seminars wurde unter anderem der Orientierungsrahmen „Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN)“ herangezogen [19].

Aus den fachspezifischeren Kompetenzen des DiKoLAN-Rahmens hat sich herauskristallisiert, dass im Seminar u.a. die Themen *Digitale Messwerterfassungssysteme*, *Videoanalyse*, *Simulationen und Animationen* sowie *Interaktive Bildschirmexperimente* eine zentrale Stellung einnehmen sollten. Die allgemeineren Kompetenzen des DiKoLAN-Rahmens führten zu den Themengebieten *Augmented Reality*,

*Virtual Reality*, *Erklärvideos* sowie den allgemeineren *Grundlagen des Multimedialen Lernens* nach [20].

Bei der Ausgestaltung des Seminars und der einzelnen Seminarsitzungen wird auf den *synthesis of qualitative evidence* Ansatz (SQD) zurückgegriffen [21]. Dieses Modell liefert evidenzbasiert Gelingensbedingungen für die Ausgestaltung von Seminaren im Hinblick auf die Förderung der Medienintegration (siehe Abb. 2).

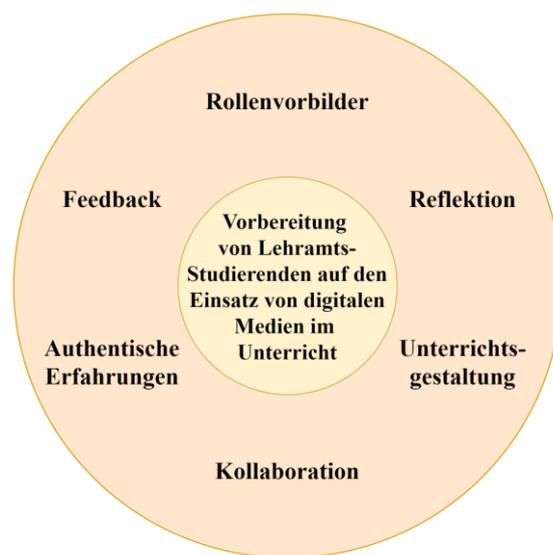


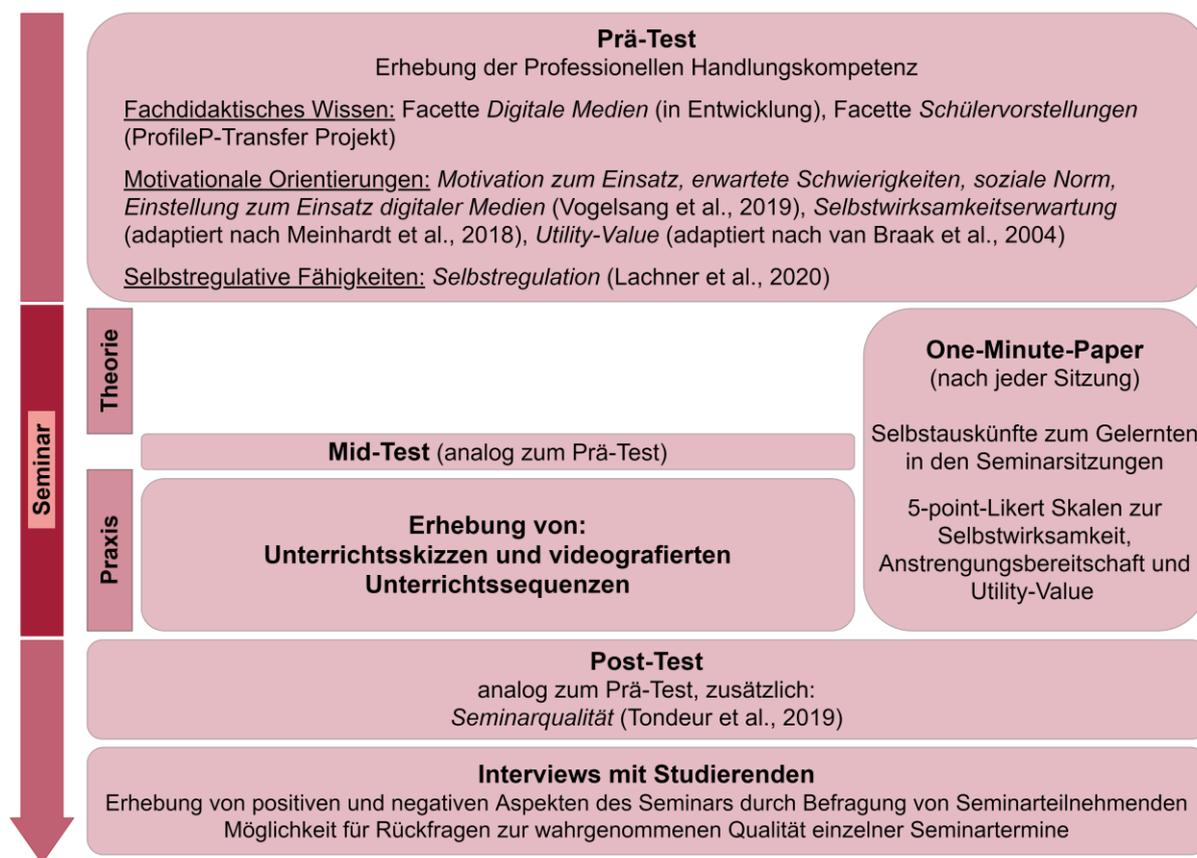
Abb. 2: SQD-Modell auf Seminarebene

Entsprechend des SQD-Modells ist es in Seminaren unter anderem zentral, dass die Studierenden Feedback erhalten, damit sie Gelegenheit zum Reflektieren und Zusammenarbeiten bekommen und dass sie authentische Erfahrungen mit digitalen Medien machen können.

Vor Beginn des Seminars erhalten die Studierenden in Online-Lernmodulen die Möglichkeit, sich mit den zuvor im Verlauf des Studiums behandelten Themengebieten *Schülvorstellungen* und *Kriterien guten Physikunterrichts* auseinanderzusetzen. Dies dient primär der Wiederholung, soll aber auch das benötigte Wissen reaktivieren, das die Studierenden bei der Planung von Unterricht benötigen.

Das Seminar ist in zwei Phasen aufgeteilt. In der ersten Phase werden die theoretischen Grundlagen zu den einzelnen digitalen Medien behandelt, wobei neben Einsatzmöglichkeiten auch notwendige Gestaltungsmerkmale und empirische Befunde zu den Medien thematisiert werden. Hier werden dem SQD-Ansatz folgend erste exemplarische Anwendungen durch die Lehrperson aufgezeigt und den Studierenden die Möglichkeit gegeben, erste Erfahrungen mit den Medien zu sammeln.

Nach der theoretischen Auseinandersetzung mit den digitalen Medien folgt die praktische Auseinandersetzung, bei der die Studierenden Zeit bekommen, sich mit digitalen Medien vertieft zu beschäftigen. Dabei



**Abb. 3:** Erhebungsplan und Erhebungsinstrumente

werden den Studierenden online Lernmaterialien sowie die Geräte zur praktischen Benutzung an der jeweiligen Universität zur Verfügung gestellt. Darauf folgend erstellen die Studierenden in Kleingruppen Unterrichtsskizzen (= kurze Unterrichtsentwürfe) zu einer fiktiven Schulstunde. In der geplanten Unterrichtsstunde nutzen sie das Medium, mit dem sie sich im Rahmen des Seminars ausgiebig auseinandergesetzt haben, um das konzeptionelle Verständnis zu einem von ihnen gewählten physikalischen Thema zu fördern (durch die COVID19-Pandemie muss der Kontakt während der Pilotierung auf feste Partnerarbeit reduziert werden).

Ausschnitte aus diesen Unterrichtsskizzen, in denen das jeweilige Medium eingesetzt wird, werden in komplexitätsreduzierten exemplarischen Unterrichtssequenzen im Seminar durchgeführt. Diese Unterrichtssequenzen werden im Seminar videografiert und gemeinsam analysiert. Die Studierenden haben hier die Möglichkeit, sich sowohl gegenseitig als auch von der Lehrperson Feedback geben zu lassen. Zudem ist die Peer-Feedback-Phase dazu geeignet, ihr eigenes Handeln mithilfe der videografierten Unterrichtssequenzen zu reflektieren [22].

### 5. Geplante Evaluation und Weiterentwicklung des Seminars

Neben der inhaltlichen Weiterentwicklung des Seminars auf Basis einer Triangulation von quantitativen

und qualitativen Daten liegt ein besonderer Schwerpunkt der Begleitforschung auf der Frage, inwiefern das Seminar zu einer Steigerung zentraler Aspekte des Fachdidaktischen Wissens, Motivationaler Aspekte, Selbstregulation und Überzeugungen als Teil der professionellen Handlungskompetenz von Lehrkräften beitragen kann.

Vor der ersten Implementation des Seminars wurde eine Bedarfsanalyse an mehreren Standorten durchgeführt, bei der die Vorerfahrungen und Interessen von Lehramtsstudierenden mit und an digitalen Medien im Physikunterricht erhoben wurden (z.B. "Ich habe schon Erfahrung mit interaktiven Bildschirmexperimenten." - "Ich interessiere mich für interaktive Bildschirmexperimente."). Zusätzlich wurde im Zuge der Bedarfsanalyse eine Skala pilotiert, welche die Selbstwirksamkeitserwartung zur Förderung des konzeptionellen Verständnisses von Schülerinnen und Schülern mit und ohne digitale Medien erheben soll (z.B. "Ich kann Medien so auswählen, dass diese zu einem besseren konzeptionellen Verständnis im Unterricht beitragen."). Dabei wurden Items aus schon erprobten Selbstwirksamkeitsskalen [23, 24, 25] auf die Fragestellung angepasst.

In einem Prä-Mid-Post-Test-Design (siehe Abb. 3) werden mit quantitativen Items das Fachdidaktische Wissen, die Motivationalen Orientierungen und die selbstregulativen Fähigkeiten während der Implementation des Seminars erhoben. Dadurch sollen die

Entwicklungsverläufe in den untersuchten Bereichen der Professionellen Handlungskompetenz nachgezeichnet werden. Dabei wird zur Erhebung des Fachdidaktischen Wissens für die Facette „Schülervorstellungen“ der Test von Riese, Gramzow & Reinhold [26] aus dem ProfileP-Transfer-Projekt genutzt, wobei die ursprünglich offenen Antworten in ein geschlossenes Format überführt wurden. Für die Facette „Digitale Medien“ wird auf einen Test zurückgegriffen, der wie oben beschrieben im Rahmen des Verbundprojekts DiKoLeP am Standort Aachen entwickelt wird [9]. Dieser wird in der ersten Implementation pilotiert und erst in der Haupterhebung zur Gewinnung von Erkenntnissen über die Lernzuwächse genutzt.

Der Bereich der Motivationalen Orientierungen umfasst die Skalen Motivation zum Einsatz, Erwartete Schwierigkeiten, Soziale Norm und Einstellung zum Einsatz digitaler Medien, wobei hier die Items von [8] genutzt werden. Zusätzlich wird die Selbstwirksamkeitserwartung, wie sie schon in der Bedarfsanalyse genutzt wurde, und der Utility-Value in Anlehnung an [27] erhoben (z.B. „Ich finde, dass digitale Medien nützlich für den Unterricht sind.“).

Zur Erhebung der selbstregulatorischen Fähigkeit, die eigenen Leistungen einschätzen zu können, wird für die genannten Tests zu den beiden Facetten Fachdidaktischen Wissens vor und nach der Testteilnahme eine Einschätzung der eigenen Leistung erbeten („Im Folgenden werden Sie einen Kompetenztest zum Umgang mit Schülervorstellungen im Physikunterricht machen. Geben Sie bitte an, wie viel Prozent der maximal zu erreichenden Punkte Sie in diesem Test erreichen werden.“).

Neben der Professionellen Handlungskompetenz wird im Post-Test noch die wahrgenommene Seminarqualität durch die Studierenden quantitativ mit 5-stufigen-Likert Skalen erhoben. Dazu wird ein bereits erprobter Test auf Basis des SQD-Modells genutzt [28]. Darüber hinaus werden auch die einzelnen Seminarsitzungen untersucht. Hier werden die Abläufe der einzelnen Seminartermine von den Studierenden eingeschätzt, indem sie sog. One-Minute-Paper (d.h. Selbsterklärungen der Studierenden zum gelernten Inhalt der jeweiligen Seminartermine und Skalen zu Selbstwirksamkeit, Anstrengungsbereitschaft und Utility-Value) nach jeder Sitzung ausfüllen. Neben der Möglichkeit zur Reflexion des Gelernten werden auch noch offene Fragen und die Einschätzung des Sitzungsablaufs erhoben. Dies kann zur Ausschärfung der einzelnen Seminartermine beitragen.

Zusätzlich soll nach jedem Seminartermin die Selbstwirksamkeitserwartung (adaptiert nach [29], z.B. „Als ich in diesem Seminar digitale Medien eingesetzt habe, hatte ich das Gefühl, gut mit der Nutzung von digitalen Medien klarzukommen.“), die Anstrengungsbereitschaft (adaptiert nach [30]; z.B. „... war der Einsatz der digitalen Medien eine richtige Herausforderung für mich.“) und der Utility-Value (adaptiert

nach [31]) als Indikatoren für den Beitrag einzelner Seminartermine auf die genannten Konstrukte erhoben werden.

Die Forschungsfrage IV zur Kompetenz der Studierenden, einen aus fach- und mediendidaktischer Perspektive qualitätsvollen Unterricht mit digitalen Medien zu planen, soll durch eine qualitative Analyse der Unterrichtsskizzen und videografierten Unterrichtssequenzen erfolgen. Zur Identifikation von besonders gelungenen und geeigneten Lerngelegenheiten als auch Problemstellen werden mit den Studierenden abschließende Interviews nach Ende des Seminars durchgeführt. Somit besteht für die Forschenden auch noch einmal die Möglichkeit, Rückfragen zu Rückmeldungen und der wahrgenommenen Qualität des Seminars und einzelner Seminartermine sowie zu den Lernmaterialien zu stellen (siehe Abb. 3).

Ergänzend zu den Evaluationsmöglichkeiten im Seminar an den Standorten wird eine Expertenbefragung nach der Erprobung des Seminars angestrebt, um hierdurch das Seminar weiter verbessern zu können.

## 6. Ausblick

Nach der bisherigen Literaturrecherche und der Bedarfsanalyse an den Standorten des DiKoLeP-Verbundprojekts wurde der Pilot des Seminars geplant und befindet sich im Sommersemester 2021 in der Erprobung. Die Bedarfsanalyse wurde auf weitere Standorte erweitert, um die Selbstwirksamkeitserwartungsskala zu evaluieren. Aus den Ergebnissen der Pilotierung und der anstehenden Expertenbefragung werden Implikationen für das Seminar gewonnen, um die Qualität und Lernwirksamkeit des Seminars zu verbessern. In den kommenden Semestern wird das Seminar erneut in überarbeiteter und ausdifferenzierter Form durchgeführt und dessen Lernwirksamkeit für den kompetenten Einsatz von digitalen Medien im Physikunterricht, im Sinne der professionellen Handlungskompetenz, erhoben.

## 7. Literatur

- [1] Duit, R. (2002). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In E. Kircher & W. B. Schneider (Eds.), *Physikdidaktik in der Praxis* (pp. 1–26). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-56386-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-56386-7_1)
- [2] Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., & Duit, R. (Eds.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Berlin Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- [3] Wiesner, H., Schecker, H., & Hopf, M. (Eds.). (2017). *Physikdidaktik kompakt* (3. Auflage). Aulis Verlag.
- [4] Kircher, E., Girwidz, R., & Fischer, H. E. (Eds.). (2020). *Physikdidaktik | Grundlagen*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2>

- [5] Lampe, H.-U. (2015). Innovativer naturwissenschaftlicher Unterricht mit digitalen Werkzeugen: Experimente mit Messwerterfassung in den Fächern Biologie, Chemie, Physik (1. Aufl.). MNU-Themenreihe Bildungsstandards. Seeberger.
- [6] Kultusministerkonferenz (Ed.). (2016). *Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“*. [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2016/2016\\_12\\_08-Bildung-in-der-digitalen-Welt.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2016/2016_12_08-Bildung-in-der-digitalen-Welt.pdf)
- [7] Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., & Vahrenhold, J. (Eds.). (2019). *ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking*. Waxmann.
- [8] 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), 115–129. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6>
- [9] Große-Heilmann, R., Riese, J., Burde, J., Schubatzky, T., Weiler, D. (2021). Erwerb und Messung physikdidaktischer Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien. *PhyDid B-Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1* (2021).
- [10] Wang, W., Schmidt-Crawford, D., & Jin, Y. (2018). Preservice Teachers' TPACK Development: A Review of Literature. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 34(4), 234–258. <https://doi.org/10.1080/21532974.2018.1498039>
- [11] Gramzow, Y., Riese, J., & Reinhold, P. (2013). Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 19, 7–30.
- [12] Große-Heilmann, R., & Riese, J. (2021). Erwerb physikdidaktischen Wissens zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht. In Sebastian Habig (Chair), *47. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP): Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* Symposium conducted at the meeting of Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP), online.
- [13] Starkey, L. (2020). A review of research exploring teacher preparation for the digital age. *Cambridge Journal of Education*, 50(1), 37–56. <https://doi.org/10.1080/0305764X.2019.1625867>
- [14] Schmid, M., Krannich, M., & Petko, D. (2020). Technological Pedagogical Content Knowledge. Entwicklungen und Implikationen. *Journal Für LehrerInnenbildung Jlb 01-2020 Digitalisierung*. Advance online publication. [https://doi.org/10.35468/jlb-01-2020\\_10](https://doi.org/10.35468/jlb-01-2020_10)
- [15] Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*. Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2009. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 97*. Logos-Verl.
- [16] Sandoval, W. A., & Bell, P. (2004). Design-Based Research Methods for Studying Learning in Context: Introduction. *Educational Psychologist*, 39(4), 199–201. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep3904\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep3904_1)
- [17] Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15–42. [https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_2)
- [18] Jahn, D. (2014). Durch das praktische Gestalten von didaktischen Designs nützliche Erkenntnisse gewinnen: Eine Einführung in die Gestaltungsforschung. *Wirtschaft Und Erziehung*, 66.
- [19] Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen: 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 – DiKo-LAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt, & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*, (S. 14–43). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- [20] Mayer, R. (2014). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (Second edition). *Cambridge handbooks in psychology*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369>
- [21] Tondeur, J., van Braak, J., Sang, G., Voogt, J., Fisser, P., & Ottenbreit-Leftwich, A. (2012). Preparing pre-service teachers to integrate technology in education: A synthesis of qualitative evidence. *Computers & Education*, 59(1), 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.009>
- [22] Franke, U., Fabian, A., Preiß, J., & Lachner, A. (2020). TPACK 4.0 – interdisziplinäre, praxisorientierte und forschungsbasierte Förderung von fachspezifischem mediendidaktischem Wissen bei angehenden Lehrpersonen. In K. Kaspar, M. Becker-Mrotzek, S. Hofhues, J. König, & D. Schmeink (Eds.), *Bildung, Schule, Digitalisierung* (pp. 178–184). Waxmann Verlag GmbH.

- [23] Meinhardt, C. (2016). *Selbstwirksamkeitserwartungen in physikdidaktischen Handlungsfeldern. Skalendokumentation. Version 1.0 (Februar 2016)*.
- [24] Schmidt, D. A., Baran, E., Thompson, A. D., Mishra, P., Koehler, M. J., & Shin, T. S. (2009). Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): The Development and Validation of an Assessment Instrument for Preservice Teachers. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(2), 123–149. <https://doi.org/10.1080/15391523.2009.10782544>
- [25] Schwarzer, R., & Schmitz, G. S. (2002). *Wirk-Lehr - Skala Lehrer-Selbstwirksamkeit*. <https://doi.org/10.23668/PSYCHARCHIVES.4600>
- [26] Riese, J., Gramzow, Y., & Reinhold, P. (2017). Die Messung fachdidaktischen Wissens bei Anfängern und Fortgeschrittenen im Lehramtsstudiengang Physik. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 23(1), 99–112. <https://doi.org/10.1007/s40573-017-0059-2>
- [27] van Braak, J., Tondeur, J., & Valcke, M. (2004). Explaining different types of computer use among primary school teachers. *European Journal of Psychology of Education*, 19(4), 407–422. <https://doi.org/10.1007/BF03173218>
- [28] Tondeur, J., Scherer, R., Siddiq, F., & Baran, E. (2020). Enhancing pre-service teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK): a mixed-method study. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 319–343. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09692-1>
- [29] Rigotti, T., Schyns, B., & Mohr, G. (2008). A Short Version of the Occupational Self-Efficacy Scale: Structural and Construct Validity Across Five Countries. *Journal of Career Assessment*, 16(2), 238–255. <https://doi.org/10.1177/1069072707305763>
- [30] Kunter, M., Baumert, J., Leutner, D., Terhart, E., Seidel, T., Dicke, T., Holzberger, D., Kunina-Habenicht, O., Linninger, C., Lohse-Bossenz, H., Schulze-Stocker, F., & Stürmer, K. (2017). *Dokumentation der Erhebungsinstrumente der Projektphasen des BilWiss-Forschungsprogramms von 2009 bis 2016: Bildungswissenschaftliches Wissen und der Erwerb professioneller Kompetenz in der Lehramtsausbildung (BilWiss); die Bedeutung des bildungswissenschaftlichen Hochschulwissens für den Berufseinstieg von Lehrkräften (BilWiss-Beruf)*. Goethe-Universität; Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg.
- [31] 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 technol-

ogy-enhanced lesson plans. *Learning and Instruction*, 66, 101300.

<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101300>

### Danksagung

Die Entwicklung und Evaluation eines Seminars zum Thema „Förderung des Konzeptverständnisses mit digitalen Medien im Physikunterricht“ ist Teil des Projekts „TPACK 4.0 - interdisziplinäre, praxisorientierte und forschungsbasierte Förderung mediendidaktischer Kompetenzen von Lehrkräften“, das im Rahmen des Förderprogramms zur Entwicklung innovativer Strukturen, Formate und Lehrinhalte bzw. -angebote in der Lehrerbildung des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg gefördert wird. Hierfür möchten wir uns bedanken.