

Digitale Medien im Physikunterricht: Entwicklung eines Seminarkonzepts

David Weiler*, Jan-Philipp Burde*, Andreas Lachner⁺, Rike Große-Heilmann⁻, Josef Riese⁻,
Thomas Schubatzky[§]

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

⁺Eberhard Karls Universität Tübingen, Abteilung Schulpädagogik, Keplerstraße 17, 72074 Tübingen;

⁻Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Didaktik der Physik und Technik, Sommerfeldstraße 14, 52074 Aachen;

[§]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

Vor dem Hintergrund der Forderung der Kultusministerkonferenz nach einer fundierten, wissenschaftlich begründeten Lehrkräfteausbildung für das Lehren in einer digital geprägten Welt (KMK, 2021) ist es wichtig, Lehramtsstudierenden die Möglichkeit zu bieten, fachspezifische digitalisierungsbezogene Kompetenzen zu erwerben (Vogelsang et al., 2019). Daher wurde im Verbundprojekt DiKoLeP (Digitale Kompetenzen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik) der RWTH Aachen, Universität Graz und Universität Tübingen ein Lehrkonzept mit standortspezifischen Ausprägungen entwickelt und evaluiert. In die Konzeption sind die evidenzbasierten Erkenntnisse aus fachunspezifischen Gelingensbedingungen für die Ausgestaltung von Seminaren zur Medienintegration des Synthesis of Qualitative Evidence (SQD) Ansatzes (Tondeur et al., 2012), fachübergreifende Kompetenzziele für Lehramtsstudierende der Naturwissenschaften (Becker et al., 2020), sowie physikspezifische Inhalte zum fachdidaktisch begründeten Einsatz digitaler Medien eingeflossen. Dieser Beitrag stellt das standortspezifische Seminarkonzept, das in Graz und Tübingen durchgeführt wird, vor. Darüber hinaus werden erste Ergebnisse der qualitativen Evaluation des Seminarkonzepts aus dem Sommersemester 2021 und Wintersemester 2021/22 vorgestellt und ein Ausblick auf die Überarbeitung des Konzepts gegeben.

1. Einleitung

Die letzten Jahrzehnte fachdidaktischer Forschung konnten zeigen, dass der Aufbau eines grundlegenden Verständnisses von zentralen physikalischen Konzepten vielen Lernenden in ihrer Schullaufbahn nicht gelingt. Als ein Grund für die auftretenden Verständnisschwierigkeiten konnten unter anderem Schülervorstellungen identifiziert werden, die das Lernen behindern können. Diese Schülervorstellungen sind zum Teil von Alltagserfahrungen geprägt (wie dem Spüren der Zentrifugalkraft bei Kreisbewegungen) oder werden durch physikalisch problematische Sprachbilder in der Alltagssprache (z.B. „Stromverbrauch“, „Er hat Kraft“, ...) hervorgerufen (Duit, 2002; Schecker et al., 2018). Ferner kann auch der Gebrauch von inadäquaten ikonografischen oder sprachlichen Darstellungen von physikalischen Inhalten und Zusammenhängen durch die Lehrkraft zur Bildung physikalisch inkorrekt Vorstellungen führen (Schecker et al., 2018).

Eine Möglichkeit, das konzeptionelle Verständnis physikalischer Größen und Zusammenhänge gezielt zu fördern, ist der fachdidaktisch begründete Einsatz von (digitalen) Medien. In diesem Beitrag sollen daher die Potenziale digitaler Medien zum Aufbau eines korrekten Verständnisses von grundlegenden physikalischen Konzepten beispielhaft aufgezeigt werden,

welche Kompetenzen bei Lehrkräften für den Einsatz digitaler Medien benötigt werden und wie diese schon in der ersten Phase der Lehrkräftebildung gefördert werden können. Dazu wird ein im Verbundprojekt DiKoLeP (Digitale Kompetenzen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik) entwickeltes Seminarkonzept zum fachdidaktisch begründeten Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht vorgestellt und es werden Ergebnisse einer ersten curricularen Begutachtung durch Fachleute und Rückmeldungen von Seminarteilnehmenden zum Pilotierungsdurchgang berichtet.

2. Theoretische Grundlagen

Für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht hat sich der Einsatz digitaler Medien als gewinnbringend sowohl für die Lernleistung als auch die Motivation von Lernenden erwiesen (Hillmayr et al., 2020). Dies kann unter anderem daran liegen, dass viele digitale Medien eine neue Qualität der Anschauung bieten (Girwidz, 2020). Fehlende interne kognitive Prozesse können beispielsweise durch externe Prozesse wie Animationen vorgeführt werden (Girwidz, 2020). Messwertaufnahmen können durch den Einsatz digitaler Messwerterfassung in den Hintergrund rücken, um so Raum für eine intensivierte

Auseinandersetzung mit physikalischen Phänomenen zu bieten (Lampe, 2015).

Jedoch stellt der bloße Einsatz digitaler Medien nicht automatisch einen Mehrwert für den Unterricht dar. Hierfür benötigt es professionalisierte Lehrkräfte, die die Medien lernwirksam und fachdidaktisch begründet einsetzen. Daher benötigen schon angehende Lehrkräfte in ihrem Studium Lerngelegenheiten, um Kompetenzen im Umgang mit digitalen Medien erwerben zu können.

Einen evidenzbasierten Ansatz zur Förderung digitaler Kompetenzen von angehenden Lehrkräften in einem Hochschulsetting stellt das Synthesis of Qualitative Evidence (SQD) Modell dar (Tondeur et al., 2012). Hier wurden sieben Schlüsselaspekte für Seminare identifiziert, die dabei helfen, angehende Lehrkräfte auf die spätere Integration von digitalen Medien in den Unterricht vorzubereiten.

- SQD1. Enge Verzahnung von Theorie und Praxis (aligning theory and practice)
- SQD2. Erleben von Vorbildern (role models)
- SQD3. Möglichkeit zur Reflexion der Rolle von digitalen Medien im Unterricht (reflection)
- SQD4. Eigenständiges Entwerfen von Lernarrangements mit digitalen Medien (instructional design)
- SQD5. Zusammenarbeit mit Peers (collaboration)
- SQD6. Sammeln authentischer Erfahrungen (authentic experiences)
- SQD7. Erhalten von Feedback zum eigenen Einsatz digitaler Medien

Die aufgeführten Kriterien haben sich bereits in empirischen Untersuchungen bewährt (Lachner et al., 2021), spezifizieren allerdings die Anforderungen an physikspezifische Seminare nicht auf inhaltlicher Ebene. Im Weiteren soll daher dargelegt werden, wie unter Berücksichtigung dieser evidenzbasierten Kriterien ein physikspezifisches Seminarkonzept entwickelt wurde.

3. Die Entwicklung des Seminarkonzepts

Für die systematische Entwicklung und Weiterentwicklung des Seminarkonzepts wurde ein Vorgehen gewählt, das einem Design-Based Research (DBR) Ansatz (Jahn, 2014; Sandoval & Bell, 2004) in Grundzügen folgt. Dabei wird das Seminar theoriegeleitet sowie bedarfsorientiert entwickelt und iterativ in Hinblick auf unterschiedliche Aspekte auf Basis von begleitenden Evaluationen ausgeschärft.

3.1. Auswahl der Seminarinhalte

Zu Beginn wurde eine Sichtung des aktuellen Forschungsstands zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht und damit einhergehender notwendiger

Kompetenzen von angehenden Lehrkräften durchgeführt. Ein erster Überblick über die für die Naturwissenschaften relevanten digitalen Medien und den damit verbundenen Kompetenzen für Lehrkräfte bietet der Orientierungsrahmen „Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN)“ (Becker et al., 2020). Hier finden sich in Abgrenzung zu allgemeinen digitalen Medien, wie z. B. Tabellenkalkulationen, als fachspezifische Medien Digitale Messwerterfassungssysteme, Videoanalyse sowie Simulationen und Animationen. Neben diesen für alle naturwissenschaftliche Fächer geeigneten digitalen Medien ergeben sich aus der Literatur noch weitere, die speziell für den Physikunterricht einen Mehrwert darstellen. Dazu zählen Interaktive Bildschirmexperimente (Brell, 2008; Kirstein & Nordmeier, 2013), Augmented und Virtual Reality (Altmeyer et al., 2020; Teichrew & Erb, 2020; Thees et al., 2020) und Erklärvideos (Findeisen et al., 2019; Kulgemeyer, 2018; Kulgemeyer & Peters, 2016).

3.2. Bedarfsanalyse

Neben einer Literaturrecherche zur Identifikation von potentiellen Seminarinhalten (siehe 3.1) wurde eine Bedarfsanalyse durchgeführt (Weiler et al., 2022), in der neben Vorerfahrungen mit und Interesse an digitalen Medien auch die Selbstwirksamkeitserwartung, digitale Medien im Physikunterricht einsetzen zu können, erhoben wurde. Neben einem Bedarf wurde ebenso ein hohes Bedürfnis auf Seiten der Studierenden nach einem fachspezifischen Seminar zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht identifiziert. Auf Grund der erfassten hohen Heterogenität in den Vorerfahrungen der Studierenden mit digitalen Medien sollte es im Seminar sowohl die Möglichkeit geben, eine Vertrautheit mit bisher unbekanntem digitalen Medien zu erlangen, als auch sich vertieft mit bereits bekannten digitalen Medien auseinanderzusetzen.

Auffällig war auch eine festgestellte hohe Selbstwirksamkeitserwartung zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht vor dem Hintergrund der zum Teil sehr geringen Vorerfahrungen mit einzelnen digitalen Medien. Dies könnte auf eine Selbstüberschätzung der eigenen Kompetenz hindeuten, wie es schon Eickelmann et al. (2019) bei Lehrkräften festgestellt hatte. Im Rahmen des Seminars sollten Studierende daher die Möglichkeit haben, die eigene Kompetenz in Bezug auf den fachdidaktisch begründeten Einsatz digitaler Medien in unterrichtsnahen Anwendungssituationen zu reflektieren.

3.3. Konkrete Lernziele

Angelehnt an den Orientierungsrahmen DiKoLAN wurden globale Lernziele für die Studierenden im Seminar aufgestellt.

Die Studierenden sollen ...

- ... mit unterschiedlichen, für den Physikunterricht spezifischen digitalen Medien umgehen können.

- ... Einsatzszenarien von unterschiedlichen digitalen Medien für den Physikunterricht unter Berücksichtigung von Vor- und Nachteilen sowie fachdidaktischen Forschungsbefunden bewerten können.
- ... lernwirksame Unterrichtsszenarien unter Einbindung von unterschiedlichen digitalen Medien und der Berücksichtigung von fachdidaktischen Erkenntnissen planen und durchführen können.

Somit soll ein reflektierter Umgang mit physikspezifischen digitalen Medien gefördert werden. Die Lernziele wurden für die einzelnen digitalen Medien themenspezifisch operationalisiert (z.B. „Die Studierenden sollen Vor- und Nachteile von unterschiedlichen digitalen Messwerterfassungssystemen beschreiben und reflektieren können.“).

3.4. Seminaraufbau

Basierend auf diesen Erkenntnissen und Vorarbeiten aus dem TPACK 4.0 Projekt (Lachner et al., 2021) entstand ein bedarfsorientiertes Seminarkonzept (siehe Abb. 1). Theoretische Kernelemente sind mit dem Verbundpartner an der RWTH Aachen abgestimmt und gleich gehalten, jedoch werden auf Grundlage von standortspezifischen curricularen Unterschieden die Praxisphasen in unterschiedlicher Form durchgeführt (Schubatzky et al., 2022).

Das Seminarkonzept für die Standorte Graz und Tübingen ist gekennzeichnet durch eine Zweiteilung in eine theoretische und eine praktische Phase (SQD 1: aligning theory and practice). In der theoretischen Phase werden die digitalen Medien, die sich für den Einsatz im Fach Physik eignen, besprochen. Dabei gleicht der strukturelle Aufbau der einzelnen Seminarsitzungen einander.

Nach einer Einführung in die fachdidaktischen Eigenschaften des jeweiligen Mediums (z.B. Kriterien guter Erklärvideos, Voraussetzungen für die Durchführung von Videoanalysen, ...) werden beispielhafte Einsatzszenarien der Medien diskutiert (z.B. Veran-

schaulichung physikalischer Konzepte wie der Beschleunigung mit Hilfe von Vektoren im Rahmen einer Videoanalyse zur Adressierung von Schülervorstellungen, Visualisierung von Energieübertragungen in innere bzw. thermische Energie mit Hilfe von Wärmebildkameras, ...) und zum Teil vorgeführt (SQD 2: role models). Die Studierenden erhalten danach die Möglichkeit, die jeweiligen digitalen Medien in Partnerarbeit (SQD 5: collaboration) schon in der theoretischen Phase auszuprobieren (z.B. Simulationen durchführen, digitale Messwerterfassungsgeräte zur Aufzeichnung großer Datenmengen in kurzer Zeit nutzen, ...), um so erste Erfahrungen mit den Medien machen zu können (SQD 6: instructional design). Den Abschluss der Seminarsitzungen bildet die Betrachtung und Diskussion (SQD 3: reflection) von ausgewählten Forschungsergebnissen zu den digitalen Medien (z.B. Kulgemeyer und Peters (2016), Becker et al. (2019), ...).

In der praktischen Phase des Seminars haben die Studierenden die Möglichkeit, sich eigenständig zweimal intensiv mit jeweils einem digitalen Medium auseinanderzusetzen. Dazu stehen den Studierenden online Lernmaterialien zu einzelnen digitalen Medien zu Verfügung. So erhalten die Studierenden, die sich beispielsweise mit Erklärvideos beschäftigen, Informationen, worauf man bei der Erstellung eines Erklärvideos achten muss und sie werden schrittweise durch den Prozess der Erstellung von Erklärvideos geleitet. Die Auswahl der Themen wurde im ersten Durchgang auf die Hälfte der digitalen Medien beschränkt (Erklärvideos, Simulationen und Animationen, Digitale Messwerterfassungssysteme), wohingegen im zweiten Durchgang die andere Hälfte an digitalen Medien angeboten wird (Interaktive Bildschirmexperimente, Videoanalyse, Augmented und Virtual Reality).

Nach der vertieften Auseinandersetzung mit dem von den Studierenden gewählten Medium erstellen diese zu zweit eine Unterrichtsskizze zu einem fachlichen Thema ihrer Wahl (SQD 4: instructional design). Da-

Phase des Seminars		Seminarinhalte
Theorie	Theoretische Auseinandersetzung	Einführung und psychologische Hintergründe (SAMR, Cognitive Load Theory, Multimedia Learning, ...)
		Erklärvideos und Interaktive Bildschirmexperimente
	(empirische Befunde, Gestaltungsmerkmale, Einsatzmöglichkeiten)	Digitale Messwerterfassungssysteme und Videoanalyse
		Simulationen und Animationen, Augmented und Virtual Reality
Praxis	(2x) Praktische Auseinandersetzung	Vertiefte Auseinandersetzung mit einzelnen digitalen Medien
		Entwicklung einer Unterrichtsskizze zur Adressierung von Schülervorstellungen mittels digitaler Medien
		Vorführung von exemplarischen Unterrichtssequenzen auf Basis der Unterrichtsskizzen und Reflektion

Abb. 1: Aufbau der ersten Seminarkonzeption mit Seminarinhalten

bei gilt die Vorgabe, dass das digitale Medium fachdidaktisch sinnvoll in den Unterricht mit eingebaut werden muss. Die Freiheit, das fachliche Thema selbst wählen zu können, hat den Vorteil, dass die Studierenden sich physikalische Inhaltsbereiche suchen können, in denen das jeweilige Medium einen besonderen Mehrwert bietet.

Im Anschluss an die Planungsphase des Unterrichts stellen die Studierenden ihre Unterrichtsskizze im Seminar vor. Danach führen sie den Teil der Unterrichtsskizze, in dem das jeweilige Medium zum Einsatz kommt, mit ihren Kommilitoninnen und Kommilitonen, die sich in die Rolle von Schülerinnen und Schülern hineinversetzen, durch. Nach der Durchführung bekommen die Studierenden Rückmeldung von ihren Kommilitoninnen und Kommilitonen sowie von den Dozierenden bzgl. der Integration des Mediums in den geplanten Unterricht (SQD 7: feedback). Ergänzend steht den Studierenden eine Videographie der gehaltenen Stunde zur Verfügung, mit der die Studierenden ihr eigenes Lehrendenhandeln reflektieren können. Diese Abfolge von Vertiefung, Unterrichtsplanung, ausschnittsweiser Durchführung des Unterrichts und Reflektion wird daraufhin mit einem anderen digitalen Medium wiederholt.

Ein Vorteil dieses Vorgehens ist, dass die Studierenden nicht an einen Inhaltsbereich wie z.B. bei einem klassischen Lehr-Lern-Labor gebunden sind.

Das Seminarkonzept wurde in dieser Form im Sommersemester 2021 und Wintersemester 2021/22 pilotiert. Für die Weiterentwicklung des Seminars wurden unter anderem qualitative Befragungen der Studierenden und von Fachleuten für digitale Medien durchgeführt (Weiler et al., 2021). Das Vorgehen wird im nächsten Abschnitt erläutert.

4. Evaluationsmethodik

4.1. Erfassung der Studierendenperspektive

Zur Weiterentwicklung des Seminars wurden die Studierenden nach jeder Theoriesitzung und nach jedem Praxiszyklus mit Hilfe von One-Minute-Papern (OMP) befragt. In diesen kurzen Selbstauskünften wurde um eine Rückmeldung zum Ablauf der jeweiligen Seminarsitzung gebeten, welche Fragen nach dem theoretischen Input noch offen sind und was die Studierenden aus der Seminarsitzung für ihre spätere Lehrtätigkeit mitgenommen haben. Die Teilnahme an den OMP, die jeweils auf einen Zeitumfang von etwa drei bis fünf Minuten angelegt waren, war freiwillig und schwankte stark.

Ergänzend konnten nach dem Seminar im Sommersemester 2021 in Tübingen $N = 6$ Studierende, die das Seminar belegt hatten, für ein leitfadengestütztes Interview gewonnen werden. Hier konnte tiefer auf potenzielle Defizite und gelungene Aspekte des Seminars eingegangen werden, sowie Ideen und Wünsche für weitere oder alternative Inhalte und Rückmeldungen zur Attraktivität und wahrgenommenen Wirksamkeit des Seminaufbaus eingeholt werden. Die

Interviews mit den Studierenden dauerten zwischen 45 und 60 Minuten.

4.2. Befragung von Fachleuten

Die curriculare Validität der Inhalte des Seminars wurde durch Befragung von Fachleuten überprüft. Dazu wurden $N = 8$ Fachleute gewonnen, die sich in ihrer bisherigen Forschungs- und Publikationstätigkeit schwerpunktmäßig mit den digitalen Medien beschäftigt haben, die Gegenstand des Seminars sind. Den Fachleuten wurden der Seminaufbau, die Seminarsitzung und die Vertiefungseinheit zu einem Medium, für dessen Einsatz sie eine hervorgehobene Expertise aufweisen, vorgestellt. In den Befragungen wurden die Inhalte kritisch reflektiert und auf Vollständigkeit in Hinblick auf die zu vermittelnden Einsatzkriterien, die möglichen Vor- und Nachteile des Mediums sowie die empirischen Befunde zu den jeweiligen Medien geprüft. Die Befragungen der Fachleute dauerten zwischen 40 und 75 Minuten.

5. Ergebnisse der Evaluation...

Im Folgenden werden einzelne zentrale Erkenntnisse aus der Evaluation vorgestellt. Auf eine vollständige Darlegung kann hier aus Platzgründen nicht eingegangen werden.

5.1. ... der Studierendenperspektive

Die Rückmeldungen in den OMP der Studierenden sind überwiegend positiv ausgefallen. Vereinzelt ist es zu wenig elaborierten Rückmeldungen wie „sehr gut“ gekommen. Die enge Verknüpfung von Theorie- und Praxisphasen und somit auch Abwechslung im Seminar ist den Studierenden entgegengekommen („Mir hat der Ablauf wieder sehr gut gefallen, da ich die Abwechslung von kleinen Arbeitsaufträgen und dem inhaltlichen Vortrag gut fand.“). Ebenso wurde der Ablauf der praktischen Phase positiv von den Studierenden aufgenommen („Der Ablauf hat mir gut gefallen. Ich fand es gut, dass wir zuerst die Dinge ausprobieren konnten und anschließend die Unterrichtsplanungen ausarbeiten konnten.“).

Durch die Rückmeldungen konnten aber auch praktische Schwierigkeiten in der Seminargestaltung wie z.B. der Einsatz von bestimmten Apps identifiziert werden („Wieder sehr gut, nur leider konnte man die App zur AR am iPhone nicht benutzen.“).

Aus den Rückmeldungen zu offen gebliebenen Fragen („Wie kann man Simulationen selbst erstellen?“ – „Wie führt man didaktisch ein solches System ein (schrittweise, explorativ, enzyklopädisch)?“) konnten weitere inhaltliche Aspekte und Informationsdesiderata identifiziert werden und zum Teil schon in den Vertiefungseinheiten zu den digitalen Medien in der praktischen Phase zur inhaltlichen Auseinandersetzung angeboten werden.

Auch in den Interviews mit den Studierenden, die am Seminar in Tübingen teilgenommen haben, zeigte sich, dass das Seminar überwiegend positiv bewertet wurde. Da das Seminar auf Grund der Corona-Pandemie in der theoretischen Phase online durchgeführt

werden musste, zeigten sich in den Rückmeldungen während der Interviews immer wieder klare Bezüge zu der zum Teil improvisierten Umsetzung. So wurde beispielsweise positiv hervorgehoben, dass einige digitale Medien wie Messwerterfassungssysteme, die sonst an die Versuchsdurchführung im Klassenraum gebunden sind, mit Hilfe von Smartphones in Freihandexperimenten auch zu Hause durchgeführt werden konnten. Dennoch sind die Studierenden überwiegend der Auffassung gewesen, dass die Seminarsitzung zu digitalen Messwerterfassungssystemen die einzige Sitzung war, die sie lieber in Präsenz erlebt hätten. Alle anderen Themensitzungen eignen sich aus Sicht der Studierenden für die Online-Lehre.

Die allgemeine Zweiteilung des Seminars in eine theoretische und eine praktische Phase wurde gemischt aufgenommen. So fanden es einige Studierende hilfreich, zuerst einen Überblick über alle digitalen Medien, die für den Physikunterricht geeignet sind, zu bekommen. Einige andere Studierende hätten sich hingegen eine frühere, ausgedehnte Praxisphase mit den ersten digitalen Medien gewünscht und somit nach der ersten theoretischen Auseinandersetzung mit digitalen Medien einen Praxiszyklus gewünscht, bevor die zweite Hälfte der Medien besprochen und der zweite Praxiszyklus durchgeführt wird.

Die Möglichkeit der Unterrichtsplanung und teilweiser Durchführung im Seminarsetting als Probedurchläufe und für Feedback wurden gut aufgenommen. Auch wurde die Möglichkeit sein eigenes Lehrendenhandeln durch die Videographien reflektieren zu können, positiv bewertet. Hingegen wünschte sich die Mehrheit der befragten Studierenden einen Feedbackleitfaden für die Unterrichtsdurchführungen, um so gezieltes Feedback geben und bekommen zu können.

Es lässt sich zusammenfassend sagen, dass das Seminar überwiegend positiv und förderlich für die Entwicklung von digitalen Kompetenzen von den Studierenden bewertet wurde.

Medium	Seminaraspekt	Relevanz des Themas	Vor- und Nachteile des Mediums	Einsatzkriterien des Mediums	Einsatzbeispiele des Mediums	Ausgewählte Forschungsbefunde	Gestaltung der Vertiefung	Zweiteilung in Theorie und Praxis
Smartphones		grün	gelb	grün	grün	grün	grün	grün
Mikrocontroller		grün	grün	grau	grün	grün	grün	grün
DMWEs		grün	grün	grün	grün	grün	grün	gelb
Erklärvideos		grün	gelb	grün	grün	grün	grün	grün
Videoanalyse		grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
IBEs		grün	rot	grün	rot	grün	grün	grün
AR+VR		grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün
Simulationen		grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün

Abb. 2: Ergebnisse der Fachleutebefragung. Die Farbkodierung ist: grün = kein Änderungsbedarf, gelb = kleiner Änderungsbedarf, rot = großer Änderungsbedarf, grau = keine Angabe

5.2. ... der Befragung von Fachleuten

Die Rückmeldungen in den Befragungen der Fachleute sind ebenfalls überwiegend positiv ausgefallen (vgl. Abb. 2). So wurde allen im Seminar behandelten digitalen Medien eine hohe „Relevanz“ für die Lehrkräftebildung zugeschrieben. Ergänzend wurde aber noch auf die Bedeutung des Themenfelds *Modellierung* bzw. *Computational Physics* hingewiesen, das so noch nicht im Rahmen des Seminars thematisiert wurde. Von Seiten der Fachleute wurden die im Seminar behandelten „Einsatzkriterien“ für die jeweiligen digitalen Medien als vollständig erachtet. Hingegen gab es kleinere Änderungsvorschläge für die Bereiche „Forschungsbefunde“ bzw. „Gestaltung der Vertiefung“. So wurde auf weitere aussagekräftige empirische Befunde hingewiesen und mögliche alternative Arbeitsaufträge für Studierende in den Vertiefungseinheiten vorgeschlagen, die sich zum Teil in der Lehrpraxis der Fachleute als erfolgreich erwiesen haben.

Hingegen gab es zur Seminarsitzung zu Interaktiven Bildschirmexperimenten größere Änderungswünsche. Es wurde hier deutlich gemacht, dass h5p-angereicherte Videos bzw. sogenannte „branched scenarios“ nicht unter Interaktive Bildschirmexperimente subsumiert werden können. Dies beeinflusste vor allem die beiden Kategorien „Vor- und Nachteile“ und „Einsatzbeispiele“.

Ebenso wurde sich von der Fachperson für Augmented und Virtual Reality eine vertiefte Auseinandersetzung mit den „Vor- und Nachteilen“ dieses Mediums gewünscht, da diese sehr von der Stufenzuordnung z.B. nach dem SAMR-Modell von Puentedura (2006) abhängt.

In den Befragungen der Fachleute zur „Zweiteilung des Seminars“ in die theoretische und praktische Phase ergab sich unter Einbezug der Rückmeldungen der Studierenden die Idee, in jedem Zyklus der praktischen Phase alle Gruppen unterschiedliche digitale Medien zur Vertiefung und Seminarplanung einsetzen zu lassen. So können im zweiten Zyklus gelungene Integrationen von einer anderen Gruppe als Idee aufgegriffen werden oder aus Fehlern und Rückmeldungen anderer Gruppen gelernt werden und somit eine Integration des Mediums auf höherem Niveau erreicht werden.

6. Ausblick (auf das Re-Design)

Das Seminar wird auf Basis der Rückmeldungen von Studierenden und Fachleuten hin überarbeitet. Aus Sicht der Studierenden wurde das Seminar überwiegend positiv bewertet. Was Rückmeldungen zu technischen Problemen auf Grund von Komplikationen mit der Kompatibilität mit Betriebssystemen betrifft, werden alternative systemunabhängige oder vergleichbare Anwendungen gesucht. Für die Feedbackphasen in den beiden Praxiszyklen werden Feedbackleitfäden erstellt. Zudem werden kurze Zusammen-

fassungen der wichtigsten Merkmale und Eigenschaften der jeweiligen Medien erstellt, die als Nachschlagewerk beim Feedback verwendet werden können.

Ebenso werden die Rückmeldungen der Fachleute bei der Überarbeitung des Seminars einbezogen. Vertiefungsaufgaben werden zum Teil angepasst und die Durchführung der praxisorientierten Phase wird wie in 5.2 beschrieben geändert. Ergänzend wird das Thema „Computational Physics“ nun im Rahmen des Seminars thematisiert und auch in der theoretischen Phase behandelt.

Im Sommersemester 2022 und Wintersemester 2022/23 wird das Seminar nach diesem Konzept in Tübingen und Graz durchgeführt. Dabei wird neben der qualitativen Evaluation des Seminars mit Studierendenbefragungen ebenfalls ein Test zum Fachdidaktischen Wissen zu digitalen Medien (Große-Heilmann et al., 2022) und affektiven Variablen wie der Motivation zum Einsatz digitaler Medien (Vogelsang et al., 2019) in einem Prä-Post-Design eingesetzt, um eine mögliche Veränderung der Professionellen Handlungskompetenz der angehenden Physiklehrkräfte während des Seminars nachzeichnen zu können.

7. Literatur

- 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), 611–628. <https://doi.org/10.1111/bjet.12900>
- Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Lars-Jochen Thoms, Thyssen, C. & Kotzebue, L. von. (2020). DiKoLAN - Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* : Joachim Herz Stiftung.
- Becker, S., Klein, P., Gößling, A. & Kuhn, J. (2019). Förderung von Konzeptverständnis und Präsentationskompetenz durch Tablet-PC-gestützte Videoanalyse. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00089-4>
- Brell, C. (2008). *Lernmedien und Lernerfolg - reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht: Empirische Untersuchungen in acht Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE*. Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2007. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 74*. Logos-Verl. http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3081413&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm
- Duit, R. (2002). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In E. Kircher & W. B. Schneider (Hrsg.), *Physikdidaktik in der Praxis* (S. 1–26). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56386-7_1
- Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M. & Vahrenhold, J. (Hrsg.). (2019). *ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking*. Waxmann.
- Findeisen, S., Horn, S. & Seifried, J. (2019). Lernen durch Videos – Empirische Befunde zur Gestaltung von Erklärvideos. *Medienpädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 2019(Occasional Papers), 16–36. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2019.10.01.X>
- Girwidz, R. (2020). Multimedia und digitale Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik | Grundlagen* (S. 457–527). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_13
- Große-Heilmann, R., Burde, J.-P., Riese, J., Schubatzky, T. & Weiler, D. (2022). Messung fachdidaktischer digitaler Kompetenzen in Physik. In S. Habig & H. van Vorst (Vorsitz), *Virtuelle Jahrestagung 2021*. Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP), online.
- 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>
- Hockicko, P., Trpišová, B. & Ondruš, J. (2014). Correcting Students' Misconceptions about Automobile Braking Distances and Video Analysis Using Interactive Program Tracker. *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), 763–776. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9510-z>
- Jahn, D. (2014). Durch das praktische Gestalten von didaktischen Designs nützliche Erkenntnisse gewinnen: Eine Einführung in die Gestaltungsforschung. *Wirtschaft und Erziehung*, 66.
- Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2013). Interaktive Reallbild-Animationen. In R. Girwidz (Hrsg.),

- Naturwissenschaft im Unterricht Physik: Bd. 137. Animationen & Simulationen.* Friedrich Verlag GmbH.
- KMK. (2021). *Lehren und Lernen in der digitalen Welt – Ergänzung zur Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 09.12.2021.* https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2021/2021_12_09-Lehren-und-Lernen-Digi.pdf
- Kulgemeyer, C. (2018). Wie gut erklären Erklärvideos? Ein Bewertungs-Leitfaden. *Computer + Unterricht*, 8–11.
- Kulgemeyer, C. & Peters, C. H. (2016). Exploring the explaining quality of physics online explanatory videos. *European Journal of Physics*, 37(6), 65705. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/37/6/065705>
- Lachner, A., Fabian, A., Franke, U., Preiß, J., Jacob, L., Führer, C., Kückler, U., Paravicini, W., Randler, C. & Thomas, P. (2021). Fostering pre-service teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK): A quasi-experimental field study. *Computers & Education*, 174, 104304. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104304>
- 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.
- Puentedura, R. R. (2006, November 28). *Transformation, technology, and education in the state of Maine.* http://www.hippasus.com/rpweblog/archives/2006_11.html
- 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/s15326985ep39041>
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis.* Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- Schubatzky, T., Burde, J.-P., Große-Heilmann, R., Riese, J. & Weiler, D. (2022). Das Gesamtuntersuchungsdesign im Verbundprojekt DiKoLeP. In S. Habig & H. van Vorst (Vorsitz), *Virtuelle Jahrestagung 2021*. Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP), online.
- Teichrow, A. & Erb, R. (2020). How augmented reality enhances typical classroom experiments: examples from mechanics, electricity and optics. *Physics Education*, 55(6), 65029. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abb5b9>
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P. & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, 106316. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>
- 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>
- 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>
- Weiler, D., Burde, J.-P., Lachner, A., Große-Heilmann, R., Riese, J. & Schubatzky, T. (2022). Bedarfsanalyse zu digitalen Medien bei Physik-Lehramtsstudierenden. In S. Habig & H. van Vorst (Vorsitz), *Virtuelle Jahrestagung 2021*. Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP), online. <https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/2022/05/Tagungsband-2022-Stand-13522.pdf>
- Weiler, D., Burde, J.-P., Lachner, A., Riese, J., Schubatzky, T. & Große-Heilmann, R. (2021). Entwicklung eines Seminars zur Förderung des Konzeptverständnisses mittels digitaler Medien. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1(0). <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/1133>

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.