

Online-Selbstlernkurs zu digitalen Medien im Physikunterricht

David Weiler*, Jan-Philipp Burde*, Kasim Costan[†], Rike Gieshoff[§], Christoph Kulgemeyer[†],
Armin Lässer[‡], Katja Plicht[§], Josef Riese[§], Thomas Schubatzky[‡]

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

[†]Universität Bremen, Didaktik der Physik, Otto-Hahn-Allee 1, 28359 Bremen, Deutschland;

[‡]Universität Paderborn, Didaktik der Physik, Warburger Straße 100, 33098, Paderborn, Deutschland;

[§]Universität Innsbruck, Didaktik der Physik, Fürstenweg 176, 6020, Innsbruck, Österreich;

david-christoph.weiler@uni-tuebingen.de

Kurzfassung

Die fortschreitende Digitalisierung bringt große Herausforderungen für die Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften mit sich. Während angehende Lehrkräfte bereits von neuen Entwicklungen in der Ausbildung profitieren, sind viele aktive Lehrkräfte bislang nicht ausreichend auf die digitalen Möglichkeiten im Unterricht vorbereitet. Der Kompetenzverbund lernen:digital setzt genau hier an und unterstützt gezielt Lehrkräfte beim Erwerb digitalisierungsbezogener Kompetenzen. Im Rahmen des Verbundprojekts ComeMINT wurde unter anderem ein Online-Selbstlernkurs entwickelt, der sich mit dem Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht befasst. Grundlage des Kurses bilden zum einen eine Bedürfnisanalyse unter praktizierenden Physiklehrkräften und zum anderen bereits bestehende Materialien aus der Lehrkräfteausbildung. Der Kurs vermittelt grundlegende Kompetenzen im Umgang mit physikspezifischen digitalen Medien, wie zum Beispiel digitaler Messwerterfassung, Augmented Reality oder Simulationen. In diesem Beitrag werden die Entwicklung und die Inhalte des Selbstlernkurses skizziert, sowie die nachhaltige Aufbereitung der Materialien zur Nachnutzung dargestellt.

1. Ausgangslage

Die zunehmende Digitalisierung der Gesellschaft stellt auch das System Schule mitsamt Lehrkräftebildung vor große Herausforderungen. Vielerorts können digitale Medien, die insbesondere für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht bereichernd sein können (Hillmayr et al., 2020), nicht eingesetzt werden, da die IT-Infrastruktur und Ausstattung der Schulen (Eickelmann et al., 2019) unzureichend ist. Durch Anstrengungen von Bund und Ländern, wie dem „DigitalPakt Schule“ (BMBF, 2019) konnte in den letzten Jahren dieser Missstand verbessert werden, auch wenn Deutschland noch unter dem internationalen Durchschnitt liegt (Niemann et al., 2024).

Das reine Vorhandensein bzw. der Einsatz digitaler Medien allein sind jedoch noch kein Garant für eine hohe Unterrichtsqualität unter Nutzung digitaler Medien. Um das Potential digitaler Medien im Unterricht ausschöpfen zu können, ist es notwendig, dass Lehrkräfte Kompetenzen zum fachdidaktisch begründeten Einsatz digitaler Medien besitzen (Backfisch et al., 2020). Knapp zwei Drittel der in der ICILS 2023 Studie befragten Lehrkräfte unter 35 Jahren, also die Lehrkräfte, die erst in den letzten Jahren ihre Ausbildung abgeschlossen haben, geben an, fach- oder mediendidaktische Ansätze zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht im Studium behandelt zu haben (Drossel et al., 2024). Viele langjährig praktizierende Lehrkräfte geben an, dass sie auf den fachdidaktisch begründeten Einsatz digitaler Medien im Unterricht

während ihres Studiums nicht vorbereitet wurden (Eickelmann et al., 2019) und auch aktuell sehen noch etwa zweidrittel der in der ICILS 2023 befragten Lehrkräfte in Deutschland ein Bedürfnis nach Fortbildungen zur Integration von digitalen Medien in Lehr- und Lernprozesse (Drossel et al., 2024). Mit Blick auf die Zielgruppe besteht somit ein Bedarf an fachspezifischen Fortbildungen zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht (Endberg & Lorenz, 2022).

Um diesem Desiderat zu begegnen, wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) der Kompetenzverbund „lernen:digital“ initiiert, der in mehreren fächergruppenspezifischen Kompetenzzentren evidenzbasierte Fort- und Weiterbildungen zum Einsatz digitaler Medien in der Schule entwickelt. Eine der geförderten Maßnahmen im Kompetenzzentrum MINT ist das ComeMINT-Netzwerk, das forschungsbasierte Fortbildungen zum Einsatz digitaler Medien in den MINT-Fächern entwickelt. Speziell für die Fortbildung von Physiklehrkräften entwickelt das ComeNet Physik als Untereinheit des ComeMINT-Netzwerks Fortbildungsmodul zum Einsatz unterschiedlicher physikspezifischer digitaler Medien, wie zum Beispiel Digitale Messwerterfassungssysteme (Weiler, Burde, Costan et al., 2024). Diese basieren dabei auf bereits in der Lehrkräfteausbildung eingesetzten und beforschten Materialien (Weiler, Burde, Große-Heilmann et al., 2024). Ein Kernbestandteil der Fortbildungen ist der entwickelte Selbstlernkurs, dessen Entwicklung im folgenden Artikel genauer beleuchtet wird.

2. Entwicklung des Selbstlernkurses

Für die Entwicklung des Fortbildungsangebots wurde sich an bisherigen Erkenntnissen zu Fortbildungen orientiert (z. B. Schulze-Vorberg et al., 2021; Lipowski & Rzejak, 2021; Barzel & Selter, 2015; Desimone, 2009). Ergänzend wurde eine fachspezifische Bedürfnisanalyse unter Physiklehrkräften durchgeführt (Weiler, Burde, Costan et al., 2024), damit die Bedürfnisse der Zielgruppe in die Ausarbeitung mit einbezogen werden konnten.

2.1. Ergebnisse der Bedürfnisanalyse

Die Bedürfnisanalyse wurde 2023 in mehreren Bundesländern in Deutschland und Österreich durchgeführt. Insgesamt nahmen $N = 122$ Lehrkräfte teil.

Es zeigte sich, dass die Lehrkräfte thematisch insbesondere an Schüler:innenexperimenten mit digitalen Medien, so wie an spezifischen digitalen Medien, wie beispielsweise Augmented Reality (AR) und Smartphone-Experimenten, interessiert waren. Als eher uninteressant wurden hingegen Themen wie lernpsychologische Grundlagen zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht oder deren gesellschaftliche Relevanz wahrgenommen (Weiler, Burde, Costan et al., 2024).

Dabei wünschten sich die Lehrkräfte insbesondere Präsenzfortbildungen in halbtägigen Veranstaltungen, in denen der Fokus auf dem praktischen Ausprobieren oder didaktischen Einsatzmöglichkeiten liegt. Bei Selbstlernmodulen sollten diese eher kürzer (eher 30 statt 90 Minuten) ausfallen. Individuell zugeschnittene Selbstlernmodule, die nach einer Online-Diagnose fest zugewiesen werden, wurden von den Lehrkräften als am uninteressantesten bewertet (Weiler, Burde, Costan et al., 2024).

Um effektive Fortbildungsformate, die Theorie und Praxis verknüpfen und sich an den Bedürfnissen der Lehrkräfte orientieren (Barzel & Selter, 2015) zu entwickeln, wurde ein Großteil der theoretischen Grundlagen mit kleineren Anwendungsaufgaben in einen hierfür entwickelten Selbstlernkurs verlagert. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Lehrkräfte die einzelnen Module nach einer freiwilligen Eingangsdiagnose frei wählen können, um ihre Selbstbestimmung (Deci & Ryan, 2000) nicht einzuschränken und Selbstlernmodule mit festen Lernpfaden zu vermeiden. Dieser Selbstlernkurs kann den angebotenen Präsenzfortbildungen zeitlich vorausgehen und ist so konzipiert, dass er Unterschiede in Vorerfahrungen sowie im Vorwissen der Zielgruppe ausgleicht. Dies stellt sicher, dass in den Präsenzveranstaltungen möglichst viel Zeit auf das praktische Ausprobieren und die Adaption für den eigenen Unterricht (Guskey & Yoon, 2009) verwendet werden kann.

2.2. Zugrundeliegende Konzeption aus der Lehrkräfteausbildung

Als Grundlage für die inhaltliche Ausgestaltung der Lernmodule des Selbstlernkurses wurde sich für die

Verwendung von Materialien aus dem DiKoLeP-Projekt (Digitale Kompetenzen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik) entschieden, die sich bereits in der Lehrkräfteausbildung bewiesen haben (Weiler, Burde, Große-Heilmann et al., 2024). Neben dem Zuwachs im fachdidaktischen Wissen zum Einsatz digitaler Medien konnten diese insbesondere zu einer Steigerung in der Motivation zum Einsatz digitaler Medien im späteren Physikunterricht bei den Studierenden beitragen. Da insbesondere die Motivation einen Einflussfaktor auf die spätere Häufigkeit und Qualität des Medieneinsatzes im Unterricht hat (Lucas et al., 2021), eigneten sich diese Materialien besonders für das Vorhaben.

Die zugrunde liegende Konzeption sieht eine Zuteilung in eine theoretische Auseinandersetzung und eine praktische Umsetzung vor. Im theoretischen Teil werden zuerst grundlegende Aspekte des Lernens mit digitalen Medien thematisiert, bevor einzelne, für den Physikunterricht typische digitale Medien diskutiert werden. Dabei stehen Gestaltungskriterien, Einsatzszenarien und empirische Befunde im Fokus der Behandlung.

Der zweite Teil der Konzeption aus dem DiKoLeP-Projekt sieht eine praktische Auseinandersetzung vor. Um dem Bedürfnis der Lehrkräfte nach einem praktischen Ausprobieren in Präsenzanteilen nachzukommen, für welche zum Teil Experimentieraufbauten und -materialien benötigt werden, wurde dieser Teil in die Präsenzfortbildungen übernommen.

3. Selbstlernkurs

Aufbauend auf den DiKoLeP-Materialien wurden Selbstlernmodule zu den einzelnen digitalen Medien ausgearbeitet. Dabei werden zum Teil manche digitalen Medien in eine Grundlektion und eine Vertiefungslektion aufgeteilt, sodass 14 Lektionen entstanden. Mit den Angeboten auf unterschiedlichem Niveau können die Vorerfahrungen der Lehrkräfte bei der Befassung mit dem jeweiligen digitalen Medium berücksichtigt werden. Nach der Einführung in digitale Medien allgemein haben die Lehrkräfte die freie Wahl, welche Module sie bearbeiten wollen, um das Autonomieerleben der Lehrkräfte nicht einzuschränken. Ergänzend steht den Lehrkräften die Möglichkeit einer freiwilligen Eingangsdiagnostik zur Verfügung, die neben dem fachdidaktischen Wissen zum Einsatz digitaler Medien (Große-Heilmann et al., 2022) auch motivationale Einstellungen (Vogelsang et al., 2019) berücksichtigt und daraufhin Empfehlungen für die Belegungen von Kursmodulen gibt.

Der Aufbau der Module folgt dabei immer einer ähnlichen Struktur, wobei Instruktionsvideos das hauptsächliche Medium zum Vermitteln der Inhalte sind. Nach einer Einführung in das jeweilige digitale Medium werden Gestaltungsmerkmale für den Einsatz im Unterricht diskutiert, die bei der Umsetzung berücksichtigt werden sollten. Neben Einsatzbeispielen für den eigenen Unterricht wird wenn möglich die Gelegenheit geschaffen, mit dem Medium selbst erste

Erfahrungen zu sammeln. Dies ist zum Beispiel bei Simulationen möglich, da diese am Computer direkt bearbeitet werden können. Hingegen können digitale Messwerterfassungssysteme nicht versendet und direkt ausprobiert werden. Sofern die aktuelle Forschung dies zulässt, werden ebenfalls empirische Befunde zum Einsatz der Medien vorgestellt.

Angereichert ist der Kurs mit Aufgaben zur Überprüfung des eigenen Wissens über die didaktische Potenziale der Medien im Unterricht, Transkripten der Videos und der Möglichkeit über ein Forum in den Austausch unter den Kursteilnehmenden zu kommen. Es wurde sich dabei für die Plattform iMoox.at entschieden, da diese zum einen in Österreich bereits stark für die Lehrkräftefortbildung eingesetzt wird und zum anderen die Möglichkeit bietet, Zertifikate nach Abschlusstests für die einzelnen Lektionen auszustellen.



Abb. 1: QR-Code zum Selbstlernkurs auf iMoox.at (<https://imoox.at/course/digitalerPhysikunterricht>)

Der Online-Selbstlernkurs ist am 01. November 2024 frei geschaltet worden und hat Ende Mai 2025 über 200 Kursteilnehmende. Die Anmeldung ist kostenlos und benötigt nur einen Account auf iMoox.at. Im Folgenden werden die Inhalte zu den einzelnen digitalen Medien kurz beschrieben.

3.1. Einführung

Die Einführung zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht klärt zum einen über die Rolle der digitalen Medien im Physikunterricht auf, deren Wirksamkeit (Hillmayr et al., 2020), thematisiert zum anderen aber auch lernpsychologische Grundlagen wie etwa die Theorie zum Multimedialen Lernen (Mayer, 2009). Konkret wird die Sinnhaftigkeit des Einsatzes digitaler Medien am SAMR-Modell (Puentedura, 2006) eingeordnet und auf weiterführende Materialien (wie z. B. Girwidz, 2020) hingewiesen, die zur Vertiefung in die Thematik genutzt werden können. Die Bearbeitung dauert zwischen 30 und 45 Minuten.

3.2. Erklärvideos

Im Modul zu Erklärvideos werden auf Studien basierende Gestaltungsmerkmale guter Erklärvideos (Kulgemeyer, 2018) vorgestellt, die für die Auswahl oder Erstellung solcher Videos relevant sind. Darüber

hinaus werden konkrete Einsatzmöglichkeiten für den Physikunterricht benannt (Wolf & Kulgemeyer, 2016), die über den reinen Ersatz des Lehrkraftvortrags hinausgehen. Zudem werden auch kritische Forschungsergebnisse, wie die Verstärkung von Fehlvorstellungen (Kulgemeyer & Wittwer, 2022) diskutiert. Die Lehrkräfte sollen mit Anwendungsaufgaben zu Gestaltungsmerkmalen anhand von Beispieldideos für die Sorgfältige Auswahl von Erklärvideos sensibilisiert werden. Die Bearbeitung dauert circa 35 Minuten.

3.3. Simulationen und Animationen

Das Modul zu Simulationen und Animationen ist zum einen aufgeteilt in eine Grundlagenlektion und eine Vertiefungslektion, zum anderen wird aber auch inhaltlich bei den Gestaltungsmerkmalen zwischen Animationen und Simulationen unterschieden. Neben empirischen Befunden zum Einsatz von Simulationen im Physikunterricht (z. B. Rutten et al., 2012 oder Wörner et al., 2022), werden auch viele Quellen für Simulationen aufgezeigt und in Anwendungsaufgaben auf die Designprinzipien des Multimedialernens und das SAMR-Modell aus dem Einführungsmodul rekurriert. Zudem wird sich intensiv mit der Arbeitsblattgestaltung für den Einsatz von Simulationen beschäftigt (Carpenter & Chasteen, 2016). Die Bearbeitung dauert mit der Vertiefung etwa 60 Minuten, kann aber in zweimal 30 Minuten aufgeteilt werden.

3.4. Digitale Messwerterfassung

Das Modul zur digitalen Messwerterfassung untergliedert sich in einen Grundlagenteil und eine Vertiefungslektion. In der Grundlagenlektion werden unterschiedliche Systeme der digitalen Messwerterfassung klassifiziert (z. B. in fertige Messwerterfassungssysteme oder Mikrocontroller) und sich mit Einsatzmöglichkeiten (Lampe et al., 2015) und was dabei zu berücksichtigen ist beschäftigt. In der Vertiefungslektionen werden diese Einsatzmöglichkeiten weiter ausgeweitet und anhand eines Unterrichtsbeispiels mit dazugehörigem Material Unterrichtsszenarien zwischen analoger und digitaler Umsetzung bewertet. Die Bearbeitung dauert 30 Minuten, mit Vertiefung hingegen 45 Minuten. Die folgenden Module zur Videoanalyse, Smartphones und Mikrocontroller können als Vertiefung zur digitalen Messwerterfassung behandelt werden.

3.5. Smartphones im Physikunterricht

Durch die Nutzung von phyphox ermöglicht dieses Lernmodul, dass Lehrkräfte bei der Bearbeitung der Instruktionsvideos auch parallel experimentieren können. So geht das Modul über die Einführung und theoretische Behandlung von Einsatzbeispielen hinaus und ermöglicht einfache Experimente mit digitaler Messwertaufnahme zuhause. Zudem werden neben empirischen Befunden (z. B. Hochberg et al., 2018) zum Einsatz von Smartphones auch weiterführende Materialien mit zahlreichen Anwendungsbeispielen (z. B. Wilhelm & Kuhn, 2021) zur Verfügung

gestellt. Dieses Modul dauert etwa 30 Minuten in der Bearbeitung.

3.6. Videoanalyse

Die Videoanalyse wird anhand unterschiedlicher Programme im zugehörigen Modul eingeführt und mit einem konkreten Unterrichtsbeispiel und einer Schritt-für-Schritt-Anleitung nähergebracht. Dabei werden mögliche Fehlerquellen bei der praktischen Umsetzung und empirische Erkenntnisse (z. B. Becker et al., 2019) diskutiert. Das Modul kann in etwa 30 Minuten abgeschlossen werden.

3.7. Mikrocontroller

Im Modul zu Mikrocontrollern werden unterschiedliche Arten von Mikrocontrollern und deren gängigen Einsatzszenarien in der Schule thematisiert. Durch die Verwendung von Online-Simulationen von Mikrocontrollern können erste Programmierversuche von den Lehrkräften unternommen werden. Neben Unterrichtsbeispielen (z. B. Pusch et al., 2021) und einer Diskussion der Vor- und Nachteile beim Einsatz von Mikrocontrollern im Physikunterricht, stehen den Lehrkräften auch ein Skript zur Einführung in den Arduino Uno und einiger Sensoren und Aktoren, sowie Beispielprogramme zur Verfügung. Die Inhalte können in etwa 45 Minuten erarbeitet werden.

3.8. Interaktive Bildschirmexperimente

Auch die Interaktiven Bildschirmexperimente sind in eine Grundlektion und eine Vertiefungslektion aufgeteilt. Neben Beispielen für Interaktive Bildschirmexperimente wird sich auch mit der Forschungslage (z. B. Brell, 2008) und diversen Repositorien wie tefolio der FU Berlin beschäftigt. Vertieft wird sich hier insbesondere mit der Abgrenzung zu anderen digitalen Medien und einer Auseinandersetzung von Gestaltungsmerkmalen von Interaktiven Bildschirmexperimenten und der Theorie zum Multimedialen Lernen. Die Bearbeitungszeit liegt zwischen 35 und 45 Minuten.

3.9. Augmented Reality

Neben einer Einführung in AR bietet dieses Modul eine tiefgreifende theoretische Auseinandersetzung mit den Feinheiten der Unterschiede im Kontinuum zwischen Real Environment und Virtual Environment, indem sich AR verorten lässt (Teichrew & Erb, 2020). Zudem werden konkrete Beispiele für den Physikunterricht vorgestellt und demonstriert, sowie die empirisch noch uneindeutige Befundlage zur Wirksamkeit von AR (z. B. Altmeyer et al., 2020) diskutiert. Die Bearbeitung des Moduls dauert etwa 30 Minuten.

3.10. Mathematische Modellbildung

Das Selbstlernmodul zur mathematischen Modellbildung bietet neben einer Einführung in die Thematik, sowie aktuellen empirischen Befunden (z. B. Weber, 2022) die Möglichkeit unterschiedliche Formen der mathematischen Modellbildung zu explorieren.

Dabei werden sowohl für die tabellarische Modellbildung mit Excel als auch die graphische Modellbildung mit Dynasys Schritt-für-Schritt-Anleitungen gegeben, um die Einstiegshürde niedrig zu halten. Die Auseinandersetzung mit mathematischer Modellbildung wird unter anderem mit einem Vergleich zu anderen digitalen Medien vertieft. Das Modul kann innerhalb von etwa 35 Minuten abgeschlossen werden.

4. Veröffentlichung als OER-Materialien

Der Selbstlernkurs ist mit der iMoox-Plattform auch noch die nächsten Jahre sicher für Lehrkräfte zu erreichen. Da die entwickelten Produkte in Form von Videos, Vortragsfolien, Literatur, Skripte und interaktiven Quizzen auch nach dem Projektende zur Weiternutzung zur Verfügung stehen und dabei adaptierbar bleiben sollen, wurden die Materialien auf WirLernenOnline.de hochgeladen. Dabei wurde eine Übersichtsseite (Eltern-Ressource; erreichbar über den Link, der in Abb. 2 hinterlegt ist) angelegt, die das Nutzungskonzept des Fortbildungskurses „Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht“ und die Unterseiten (Child-Elemente) zu den einzelnen Modulen des Fortbildungskurses enthält. Die Unterseiten enthalten alle entwickelten Produkte des Selbstlernkurses zu jeweils einem digitalen Medium (z. B. zu Mikrocontrollern oder Simulationen). In den Child-Elementen finden sich zusätzlich zu den Materialien auch Nutzungskonzepte, wie der Einsatz des jeweiligen Moduls gedacht ist.



Abb. 2: QR-Code zur Eltern-Ressource des Selbstlernkurses auf WirLernenOnline.de
(<https://redaktion.wirlernenonline.de/edusharing/components/render/8a7dd209-a280-4a05-b23f-4f3e5cf80582>)

Die Materialien sind als CC-BY-SA lizenziert und können somit weitergenutzt, bearbeitet und unter gleicher Lizenz wieder verbreitet werden. Dies ermöglicht die Einbindung und Aktualisierbarkeit für Lehrkräfte aus- und fortbildende in eigene Veranstaltungen und Kurse.

5. Ausblick

Ergänzend zum Selbstlernkurs wurden Präsenzfortbildungen konzipiert und in den Jahren 2024 und 2025 angeboten. Die medienspezifischen

Fortbildungen mit einem hohen Anteil an Möglichkeiten zum praktischen Ausprobieren der Medien, kollaborativer Unterrichtsplanung und gemeinsamer Reflexion in weiteren (Online-)Terminen werden in Plicht et al. (in Vorbereitung) vorgestellt.

Darüber hinaus werden sowohl der iMoox-Kurs als auch die OER-Materialien auf WirLernenOnline.de um zwei weitere Module zu den Themen 3D-Druck und Künstliche Intelligenz (KI) durch Kolleg:innen der Universität zu Köln ergänzt. Der neu aufgelegte iMoox-Kurs ist ab dem 1. September 2025 über die bisherige Kurs-URL (siehe Abb. 1) zu erreichen.

6. 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>
- Backfisch, I., Lachner, A., Hische, C., Loose, F., & Scheiter, K. (2020). Professional knowledge or motivation? Investigating the role of teachers' expertise on the quality of technology-enhanced lesson plans. *Learning and Instruction*, 66, 101300. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101300>
- Barzel, B., & Selter, C. (2015). Die DZLM-Gestaltungsprinzipien für Fortbildungen. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 36(2), 259–284. <https://doi.org/10.1007/s13138-015-0076-y>
- Becker, S., Klein, P., Gößling, A. & Kuhn, J. (2019). Förderung von Konzeptverständnis und Repräsentationskompetenz durch Tablet-PC-gestützte Videoanalyse. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 1-24.
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung). (2019). *Verwaltungsvereinbarung DigitalPakt Schule 2019 bis 2024*. https://www.digitalpaktsschule.de/files/VV_DigitalPaktSchule_Web.pdf
- 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* (Bd. 74). Logos-Verl.
- Carpenter, Y. & Chasteen, S. (2016). *How can I design an effective in-class student worksheet for PhET simulations?* <https://www.physport.org/recommendations/Entry.cfm?ID=93339> (letzter Zugriff am 23.11.21).
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The „What“ and „Why“ of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01
- Desimone, L. M. (2009). Improving Impact Studies of Teachers' Professional Development: Toward Better Conceptualizations and Measures. *Educational Researcher*, 38(3), 181–199. <https://doi.org/10.3102/0013189X08331140>
- Drossel, K., Gerick, J., Niemann, J., Eickelmann, B., & Domke, M. (2024). Die Perspektive der Lehrkräfte auf das Lehren mit digitalen Medien und die Förderung des Erwerbs computer- und informationsbezogener Kompetenzen in Deutschland im internationalen Vergleich. In B. Eickelmann, N. Fröhlich, W. Bos, J. Gerick, F. Goldhamer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senkbeil, J. Vahrenhold, & W. Bos (Hrsg.), *ICILS 2023 #Deutschland: Computer- und informationsbezogene Kompetenzen und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking von Schüler*innen im internationalen Vergleich*. Waxmann.
- Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhamer, 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.
- Endberg, M., & Lorenz, R. (2022). Selbsteingeschätzte Kompetenzen von Lehrpersonen der Sekundarstufe I zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht im Bundesländervergleich 2021 und im Trend seit 2017. In R. Lorenz, S. Yotyodying, B. Eickelmann, & M. Endberg (Hrsg.), *Schule digital—Der Länderindikator 2021: Lehren und Lernen mit digitalen Medien in der Sekundarstufe I in Deutschland im Bundesländervergleich und im Trend seit 2017* (1. Auflage, S. 89–115). Waxmann.
- 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., Riese, J., Burde, J.-P., Schubatzky, T., & Weiler, D. (2022). Fostering Pre-Service Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge Regarding Digital Media. *Education Sciences*, 12(7), 440. <https://doi.org/10.3390/educsci12070440>
- Guskey, T. R., & Yoon, K. S. (2009). What Works in Professional Development? *Phi Delta Kappan*, 90(7), 495–500. <https://doi.org/10.1177/003172170909000709>
- 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>
- Hochberg, K., Kuhn, J., & Müller, A. (2018). Using Smartphones as Experimental Tools—Effects on Interest, Curiosity, and Learning in Physics Education. *Journal of Science Education and Technology*, 27(5), 385–403. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9731-7>
- Kulgemeyer, C. (2018). Towards a framework for effective instructional explanations in science teaching. *Studies in Science Education*, 54(2), 109–139. <https://doi.org/10.1080/03057267.2018.1598054>
- Kulgemeyer, C., & Wittwer, J. (2022). Misconceptions in Physics Explainer Videos and the Illusion of Understanding: An Experimental Study. *International journal of science and mathematics education*, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10265-7>
- Lampe, H.-U., Liebner, F., Urban-Woldron, H., & Tewes, M. (2015). *Innovativer naturwissenschaftlicher Unterricht mit digitalen Werkzeugen: Experimente mit Messwerterfassung in den Fächern Biologie, Chemie, Physik* (1. Aufl.). Seeberger.
- Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2021). *Fortbildungen für Lehrpersonen wirksam gestalten: Ein praxisorientierter und forschungsgestützter Leitfaden*. <https://doi.org/10.11586/2020080>
- Lucas, M., Bem-Haja, P., Siddiq, F., Moreira, A., & Redecker, C. (2021). The relation between in-service teachers' digital competence and personal and contextual factors: What matters most? *Computers & Education*, 160, 104052. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104052>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning* (2. Aufl.). Cambridge University Press.
- Niemann, J., Eickelmann, B., Schaumburg, H., & Fröhlich, N. (2024). Technologische Rahmenbedingungen in Schulen in Deutschland im internationalen Vergleich. In B. Eickelmann, N. Fröhlich, W. Bos, J. Gerick, F. Goldhammer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senkbeil, J. Vahrenhold, & W. Bos (Hrsg.), *ICILS 2023 #Deutschland: Computer- und informationsbezogene Kompetenzen und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking von Schüler*innen im internationalen Vergleich* (S. 255–288). Waxmann.
- Plicht, K., Burde, J.-P., Costan, K., Gieshoff, R., Kulgemeyer, C., Lässer, A., Riese, J., Schubatzky, T., Weiler, D. (in Vorbereitung). *Vom Online-Kurs zur Präsenzfortbildung: Zweiphasiges Fortbildungskonzept zum Einsatz digitaler Medien für Physiklehrkräfte*.
- Puentedura, R. R. (2006, Januar 1). *Transformation, technology, and education in the state of Maine*. http://www.hippasus.com/rrpweblog/archives/2006_11.html
- Pusch, A., Ubben, M. S., Laumann, D., Heinicke, S., & Heusler, S. (2021). Real-time data acquisition using Arduino and phyphox: Measuring the electrical power of solar panels in contexts of exposure to light in physics classroom. *Physics Education*, 56(4), 045001. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abe993>
- Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Schulze-Vorberg, L., Krille, C., Fabriz, S., & Horz, H. (2021). Hinweise und Empfehlungen für die Konzeption von Lehrkräftefortbildungen zu digitalen Medien. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 24(5), 1113–1142. <https://doi.org/10.1007/s11618-021-01046-z>
- Teichrew, A., & Erb, R. (2020). Hauptsache Augmented? Klassifikation digitalisierter Experimentierumgebungen. In K. Kaspar, M. Becker-Mrotzek, S. Hofhues, J. König, & D. Schmeinck (Hrsg.), *Bildung, Schule, Digitalisierung* (S. 421–426). Waxmann Verlag GmbH. <https://www.waxmann.com/index.php?eID=download&buchnr=4246#page=421>
- 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>
- Weber, J. (2022). *Mathematische Modellbildung und Videoanalyse zum Lernen der Newtonschen Dynamik im Vergleich*. Logos Verlag.
- Weiler, D., Burde, J.-P., Costan, K., Große-Heilmann, R., Kulgemeyer, C., Riese, J., & Schubatzky, T. (2024). Förderung digitaler Kompetenzen von Physik-Lehrkräften im ComeNet Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1(1), 47–54.
- Weiler, D., Burde, J.-P., Große-Heilmann, R., Lachner, A., Riese, J., & Schubatzky, T. (2024). Evaluation of a university seminar on the use of digital media in the physics classroom. *Journal of Physics: Conference Series*, 2750(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2750/1/012041>
- Wilhelm, T., & Kuhn, J. (with Springer-Verlag GmbH). (2021). *Für alles eine App: Ideen für Physik mit dem Smartphone* (T. Wilhelm & J. Kuhn, Hrsg.; 1. Auflage 2022). Springer Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-63901-6>
- Wolf, K. D., & Kulgemeyer, C. (2016). Lernen mit Videos? Erklärvideos im Physikunterricht.

Naturwissenschaften im Unterricht Physik,
27(152), 3641.

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*, 003465432210794. <https://doi.org/10.3102/00346543221079417>

Anhang

Ergänzend zu diesem Tagungsbandbeitrag ist das präsentierte Poster dem Beitrag auf der PhyDid B Seite angefügt.

Danksagung

Finanziert durch die Europäische Union – NextGenerationEU und gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter der FKZ 01JA23M06L. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind ausschließlich die des Autors/der Autorin und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der Europäischen Union, Europäischen Kommission oder des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wider. Weder Europäische Union, Europäische Kommission noch Bundesministerium für Bildung und Forschung können für sie verantwortlich gemacht werden.

Ergänzend möchten wir uns bei Moritz Rüller, Projektmitarbeiter in ComeMINT, für die Unterstützung bei der Veröffentlichung der Kurs-Materialien als OER bedanken.