

Lernen mit (interaktiven) Experimentiervideos - Schülerlabore als Orte der Lehrkräftefortbildungen (LFB) -

Mathias Ziegler*, Lisa Stinken-Rösner*

* Universität Bielefeld, Physik und ihre Didaktik, Universitätsstraße 25, 33615 Bielefeld
mziegler@physik.uni-bielefeld.de

Kurzfassung

Videos sind bereits seit langem fest im Physikunterricht verankert. Dabei werden immer öfters auch (interaktive) Experimentiervideos genannt, die durch ihren erhöhten Grad der Interaktivität eine konstruktivistische Verarbeitung der Inhalte ermöglichen. Diese werden von den Lehrkräften aber im Wesentlichen nur als Ersatz zum Realexperiment gesehen, die keinen zusätzlichen Mehrwert generieren. Eine Fortbildung soll Lehrkräften demonstrieren, wie Experimentiervideos gewinnbringend im Unterricht eingesetzt werden können. Die Fortbildung wird durch eine Studie im Mixed-Methods-Ansatz begleitet, in der untersucht wird, ob die Lehrkräftefortbildung zu einer Veränderung des professional knowledge (TPACK), der Technologieakzeptanz und der Selbstwirksamkeit der Teilnehmer*innen beiträgt. Darüber hinaus sollen Gelingensbedingungen sowie Implementationsbarrieren aus Sicht der Lehrkräfte herausgearbeitet werden. In der Studie werden Fragebögen im Prä-Post-Design, leitfadengestützte Gruppeninterviews, Dokumentenanalysen der entstehenden Produkte, sowie teilnehmende Beobachtungen während der Fortbildungstage durchgeführt.

1. Interaktive Experimentiervideos

Die digitale Transformation der Gesellschaft wirkt sich entscheidend auf den Schulalltag aus. So finden vermehrt digitale Lernmedien Einzug in den Unterricht, die es den Lehrkräften ermöglichen, fachliche Inhalte auf moderne Weise zu vermitteln. Es existiert eine ganze Bandbreite etablierter digitaler Medien, wie beispielsweise Erklärvideos, interaktive Bildschirmexperimente oder Simulationen mit ebenso breit gefächerten Funktionen, die sich auf unterschiedliche Art sinnstiftend in den Physikunterricht einbinden lassen (Weiler et al., 2023).

Dieses Angebot digitaler Lernmedien wurde unlängst um die Experimentiervideos erweitert. Unter Experimentiervideos versteht man Medien, die aus der Kombination der Methode des Experimentierens und dem digitalen Werkzeug der Videografie (Stinken-Rösner et al., 2023) entstehen. Es handelt sich also um videographierte Experimente, die nicht nur physikalische Fachinhalte vermitteln sollen, sondern vor allem auch das Experimentieren als Methode der Erkenntnisgewinnung in den Vordergrund stellen (Meier et al., 2022). Die Möglichkeit multimediale und interaktive Inhalte in die Experimentiervideos einzubinden sowie Einfluss auf den Versuchsausgang nehmen zu können, zeigen zudem ihren interaktiven Charakter. Die dann als interaktive Experimentiervideos bzw. Hypervideos (Ziegler & Stinken-Rösner, im Druck) bezeichneten Videos lassen sich dadurch deutlich von anderen Lernmedien, wie z.B. den Erklärvideos abgrenzen, da der Beobachter bzw. die Beobachterin bei diesen Videos in eine aktive

Nutzer*innenrolle versetzt wird. Zudem bergen sie das Potential, einen adaptierten Zugang zur Erkenntnisgewinnung zu ermöglichen, durch den individuelle, selbstgesteuerte und kognitiv aktivierende Lernprozesse (Chi & Wylie, 2014) auf Seiten der Schüler*innen initiiert werden können. Das stellt die interaktiven Experimentiervideos nicht nur in den Fokus der fachdidaktischen Forschung, sondern macht sie potenziell auch für die Lehrkräfte für den schulischen Einsatz interessant.

2. Perspektive der Lehrkräfte

Studien, in denen die Einstellung der Lehrkräfte bezüglich des Einsatzes von (interaktiven) Experimentiervideos erhoben wurde, sind rar. Eine Fragebogenstudie, die im Rahmen des VidEX-Projekts durchgeführt worden ist, kam zu dem Ergebnis, dass die Lehrkräfte dem Einsatz (interaktiver) Experimentiervideos im Mittel überwiegend positiv gegenüberstehen (Meier et al., 2022). Jedoch bestehen zum Teil auch Vorbehalte auf Seiten der Lehrkräfte. Der Einschätzung der Skeptiker*innen nach, sei das reale Experimentieren wichtiger und dürfe durch den Einsatz von Experimentiervideos nicht verloren gehen (Meier et al., 2022). Diese Einschätzung lässt sich insofern einordnen, als dass die (interaktiven) Experimentiervideos von den Skeptiker*innen nicht als Lernmedium zur Ergänzung bzw. Unterstützung des Experimentierens gesehen werden, sondern lediglich als Ersatzmedium zu den Realexperimenten wahrgenommen werden. Aus ihrer Sicht findet also lediglich eine Ersetzung der Medien ohne funktionalen Mehrwert für den

Experimentierprozess statt (vgl. SAMR-Modell nach Puentdura, 2006).

3. Lehrkräftefortbildung

Um den funktionalen Mehrwert der interaktiven Experimentiervideos zu verdeutlichen, wird im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes LFB-Labs-digital (Kirchhoff, Schwedler et al., in review) eine Lehrkräftefortbildung konzipiert, in denen die teilnehmenden Lehrkräfte inhaltlichen Input zu den Einsatzszenarien und den Gestaltungsprinzipien von interaktiven Experimentiervideos bekommen und bei der eigenständigen Produktion von Experimentiervideos begleitet werden. Das Konzept der Lehrkräftefortbildung wird im Folgenden vorgestellt.

3.1. Zielsetzung der Fortbildung

Im Zuge des digitalen Wandels im Schulbereich fordert das Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) in ihrer Digitalisierungsstrategie „Lehren und Lernen in der digitalen Welt“ eine Weiterentwicklung der Lehrkräfteprofessionalität, indem sich Lehrkräfte durch Aus-, Fort- und Weiterbildung digitale Kompetenzen aneignen (KMK, 2021). Die vorgestellte Lehrkräftefortbildung setzt an dieser Stelle an, indem ein Angebot für Lehrkräfte geschaffen wird, das digitale Lernmedium interaktives Experimentiervideo kennen zu lernen und für ihren Unterricht zu erproben. Zudem wird mit der Lehrkräftefortbildung das Ziel verfolgt, das professionelle Wissen der Lehrkräfte zu fördern. Dabei werden folgende Teillernziele verfolgt:

Z1: Die teilnehmenden Lehrkräfte kennen und beschreiben Einsatzszenarien von (interaktiven) Experimentiervideos im Physikunterricht.

Z2: Die teilnehmenden Lehrkräfte erkennen Gestaltungsprinzipien in Experimentiervideos bzw. beachten diese bei der Produktion eigener Experimentiervideos.

Z3: Die teilnehmenden Lehrkräfte binden interaktive Elemente bei der Produktion eigener interaktiver Experimentiervideos ein.

3.2. Zielgruppe

Die Lehrkräftefortbildung richtet sich primär an Physiklehrkräfte der Sekundarstufen I und II, die innovative digitale Lernmedien und aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse in ihre Unterrichtspraxis integrieren möchten, um ihren Unterricht effektiver und moderner gestalten zu können. Auch profitieren die Schüler*innen der teilnehmenden Lehrkräfte von der Fortbildung, da sich durch die erworbenen Kenntnisse die Unterrichtsqualität verbessert, wodurch auch die Lernprozesse der Schüler*innen gefördert werden und sie die Möglichkeit erhalten, die neuen Medien direkt zu erproben.

3.3. Konzeption der Fortbildung

Die Konzeption der Lehrkräftefortbildung folgt dem Design-Based Research-Ansatz (Schmiedebach &

Wegner, 2022). In einem ersten Schritt wurde die Vorprüfung durchgeführt. Hierfür wurde analysiert, wie eine Lehrkräftefortbildung zum Thema „Lernen mit (interaktiven) Experimentiervideos“ strukturiert sein muss, um eine Veränderung der Technologieakzeptanz, der Selbstwirksamkeit und des professionellen Wissens der teilnehmenden Lehrkräfte zu bewirken und gleichzeitig die in Abschnitt 3.1 ausformulierten praktischen Lernziele umzusetzen. Dafür wurde der aktuelle Forschungsstand über Videos im Physikunterricht im Allgemeinen und über Experimentiervideos im Speziellen erhoben, welcher die Grundlage für die Fortbildungsinhalte liefert. Unter ständigem Rückgriff auf den erhobenen Forschungsstand wurde im nächsten Schritt die Prototypenentwicklung durchgeführt, die Lehrkräftefortbildung also entwickelt (vgl. Abschnitt 3.4). Im dritten Schritt, der Beurteilungsphase, wird ein erster Fortbildungsdurchgang durchgeführt, die Fortbildung daraufhin evaluiert und mit Hilfe der Evaluationsergebnisse überarbeitet. Die adaptierte Fortbildung wird mehrmals durchgeführt und ggf. weiterentwickelt, so dass sich ein iterativer Prozess ergibt, wobei aktuell drei Fortbildungsdurchgänge geplant sind. Im letzten Schritt soll die finale Konzeption der Fortbildung als Best-Practice-Beispiel dienen und die anfangs genutzte theoretische Forschungsgrundlage um die neuen Erkenntnisse erweitert werden (Schmiedebach & Wegner, 2022). Eine Besonderheit der Konzeption stellt die geplante Verknüpfung mit dem Schülerlabor teutolab-physik der Universität Bielefeld dar. Schülerlabore sind ein wichtiges außerschulisches Instrument. Mit den Zielen, u.a. das Interesse der Lernenden für Naturwissenschaften und Technik zu fördern, naturwissenschaftliche Inhalte durch experimentelle Arbeitstechniken beizubringen sowie ein adäquates Bild der Naturwissenschaften zu vermitteln, entstanden in Deutschland immer mehr Schülerlabore, betrieben von Universitäten und Forschungsinstituten (Euler et al., 2015; Scharfenberg et al., 2019). Somit kommt ihnen eine große Rolle für die Motivation von Schüler*innen im außerschulischen Lernen zu. In diesem Zusammenhang nehmen auch die Lehrkräfte eine bedeutende Rolle ein. Für sie bieten Schülerlabore einen authentischen und innovativen Lernort, in denen sie ihre Schüler*innen in offenen Experimentiersettings beobachten können. Zu eben diesem Zweck sollen Teile der Lehrkräftefortbildung im Schülerlabor teutolab-physik stattfinden.

3.4. Ablauf der ersten Durchführung

Während der Fortbildung durchlaufen die Lehrkräfte drei aufeinander aufbauende Module (siehe Abb. 1). Das erste Modul erstreckt sich über einen kompletten Tag, die Module zwei und drei sind jeweils halbtägig. Im ersten Modul werden die Lehrkräfte in die verschiedenen Videoarten Dokumentarfilme, Lehrfilme, Erklärvideos und Experimentiervideos eingeführt.

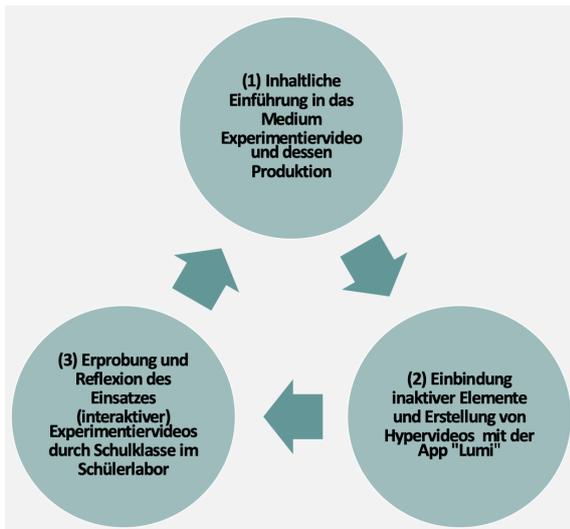


Abb. 1: Schematischer Ablauf der geplanten Lehrkräftefortbildung.

Die Einführung umfasst die Merkmale dieser Videoarten und greift im Speziellen die Begriffsklärung sowie die Unterscheidung zwischen den vorgestellten Videoarten auf.

Bei der anschließenden Fokussierung auf Experimentiervideos wird zunächst auf die Gestaltungsprinzipien für Demonstrationsexperimente (vgl. Schmidkunz, 1983) und die Multimediaanwendungen (vgl. Mayer, 2014) sowie die Abgrenzung dieses Mediums zu interaktiven Simulationen und IBEs (vgl. Stinken-Rösner et al., 2023; Wilhelm, 2023) eingegangen. Anschließend werden typische Einsatzszenarien, alleinstehend oder in Kombination mit dem Realexperiment, erörtert. Mit diesem Wissen über Experimentiervideos sollen die Lehrkräfte im Anschluss eigenständig ein Experimentiervideo in der Fortbildungszeit produzieren. Sie haben dabei die Wahl zwischen verschiedenen Demonstrationsexperimenten (Flaschenzug, mechanischer Hebel, Fotoeffekt), die sie entlang der erlernten Gestaltungskriterien videografisch in Szene setzen sollen. Die produzierten Experimentiervideos werden unter den teilnehmenden Lehrkräften ausgetauscht, mit dem Auftrag, die Experimentiervideos zu vertonen (Watzka et al., 2019). In der anschließenden Reflexionsphase werden die vertonten Experimentiervideos hinsichtlich der Gestaltungsprinzipien und der Einsatzszenarien begutachtet und von den Peers ein individuelles Feedback gegeben.

Im zweiten Modul erlernen die Lehrkräfte, wie sie mit der App Lumi (Lumi; Lumi Education UG, 2024) aus den von ihnen im ersten Fortbildungsmodul produzierten Experimentiervideos interaktive Experimentiervideos bzw. Hypervideos erstellen können. Dazu binden die Lehrkräfte interaktive Elemente in ihre Experimentiervideos bzw. Videofragmente ein und, im Falle eines Hypervideos, verbinden ihre Videofragmente durch Verzweigungsfragen, so dass eine nicht-lineare Struktur entsteht. Für eine Anleitung zur Erstellung von interaktiven Experimentiervideos sei

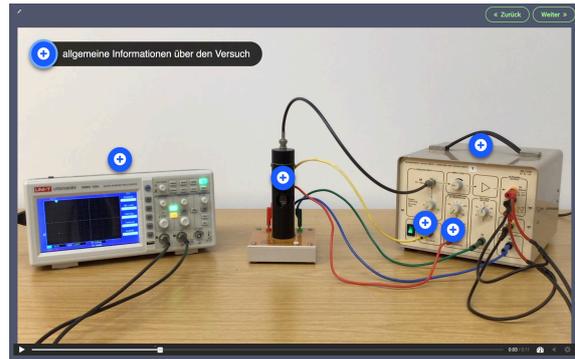


Abb. 2: Screenshot aus einem eigenproduzierten Hypervideo zum Franck-Hertz-Versuch.

auf Glatz & Erb (im Druck) bzw. zur Erstellung von Hypervideos auf Ziegler & Stinken-Rösner (im Druck) verwiesen.

Im dritten Modul erfolgt die Erprobung mit einer von einer Lehrkraft mitgebrachten Schulklasse im Schülerlabor teutolab-physik. Dazu durchlaufen die Schüler*innen mehrere Stationen, an denen sie mit verschiedenen im Vorfeld entwickelten Best-Practice-Beispielen von Experimentiervideos in Kombination mit Realexperimenten arbeiten, während die Lehrkräfte das digitale und analoge Experimentieren der Lernenden als unbeteiligte Beobachter analysieren. In einer anschließenden gemeinsamen Reflexionsphase mit den Teilnehmer*innen der Fortbildung, wird der Einsatz der (interaktiven) Experimentiervideos reflektiert und auf den Physikunterricht übertragen.

4. Evaluation der Fortbildung

Die Lehrkräftefortbildung wird durch eine Begleitstudie im Mixed-Method-Ansatz evaluiert, die im Folgenden vorgestellt wird.

4.1. Forschungsfragen

Mit der Begleitstudie wird das Ziel verfolgt, die Auswirkungen der Lehrkräftefortbildung zum Einsatz (interaktiver) Experimentiervideos auf die Akzeptanz (bezüglich neuer Technologien), die Selbstwirksamkeitserwartung und das professionelle Wissen der teilnehmenden Lehrkräfte zu untersuchen und darüber hinaus mögliche Implementationsbarrieren und Gelingensbedingungen für den Einsatz (interaktiver) Experimentiervideos im Physikunterricht zu erfassen. Daraus ergeben sich die folgenden Forschungsfragen:

FF1: Inwieweit führt die Lehrkräftefortbildung zu einer Veränderung des professionellen Wissens der teilnehmenden Lehrkräfte?

FF2: Inwiefern verändert die Lehrkräftefortbildung die Akzeptanz und die Selbstwirksamkeitserwartung der teilnehmenden Lehrkräfte gegenüber Technologien im Allgemeinen und mit speziellem Fokus auf den Einsatz (interaktiver) Experimentiervideos?

FF3: Welche Bedingungen beeinflussen die teilnehmenden Lehrkräfte bei der (potenziellen) Implementation der (interaktiven) Experimentiervideos in ihren Unterricht und welche Bedingungen führen zu einem gelungenen Einsatz?

4.2. Forschungsdesign

Zur Beantwortung der Forschungsfragen werden verschiedene quantitative und qualitative Forschungsmethoden kombiniert. Neben den fragebogengestützten Prä- und Post-Tests und den leitfadengestützten Gruppeninterviews in der gemeinsamen Reflexion (vgl. 3.4. Ablauf, Modul 3) werden die in der Lehrkräftefortbildung entstehenden Experimentiervideos durch eine Dokumentenanalyse sowie das Verhalten der teilnehmenden Lehrkräfte durch eine teilnehmende Beobachtung untersucht.

4.2.1. Fragebögen-gestützte Erhebung

Um die auftretenden Effekte der Lehrkräftefortbildung zu erfassen (FF1 & FF2), werden verschiedene Konstrukte jeweils vor der Fortbildung (Prä-Test) als auch nach der Fortbildung (Post-Test) fragebogengestützt erhoben.

Dabei sind vor allem die Technologieakzeptanz (Neyer, Felber & Gebhardt, 2021; Plageras et al., 2023), die Selbstwirksamkeitserwartung (Beierlein et al., 2012; Doll & Meyer, 2021) und das professionelle Wissen (TPACK; Stinken-Rösner, 2021; Stinken-Rösner et al., 2023) zur Erklärung des Verhaltens der Lehrkräfte von Interesse.

4.2.2. Leitfadengestützte Gruppeninterviews

Zur Ermittlung der Bedingungen, die die teilnehmenden Lehrkräfte bei einer potenziellen Implementation der (interaktiven) Experimentiervideos in ihren Unterricht beeinflussen und der Bedingungen, die zu einem gelungenen Einsatz führen (FF3), findet im dritten Block der Fortbildung eine Reflexion des Einsatzes (interaktiver) Experimentiervideos statt. Hierfür wird ein leitfadengestütztes Gruppeninterview (Döring & Bortz, 2016) mit allen teilnehmenden Lehrkräften durchgeführt. Die Leitfragen werden aus den Konstrukten, die den möglichen Implementationsbarrieren und den Gelingensbedingungen zugrunde liegen (u.a. Technologieakzeptanz und Selbstwirksamkeitserwartung) abgeleitet.

Für die Technologieakzeptanz wird das UTAUT-Modell nach Plageras et al. zugrunde gelegt. Demnach gibt es vier Prädiktoren, die auf die Verhaltensintentionen der Lehrkräfte und somit auf ihr Verhalten einwirken (Plageras et al., 2023). Im folgenden sind Prädiktoren sowie abgeleitete Fragen aufgelistet:

- Leistungserwartung (Ausmaß, in dem die Lehrkräfte glauben, dass der Einsatz von Technologie ihnen helfen wird, ihre Ziele zu erreichen): Wie können Ihrer Einschätzung nach (interaktive) Experimentiervideos dazu beitragen, Ihre persönlichen unterrichtlichen Ziele zu erreichen?
- Aufwandserwartung (Grad der Bequemlichkeit, der mit der Nutzung der Technologie verbunden ist): Wie einfach oder schwer ist es, Ihrer Einschätzung nach, (interaktive) Experimentiervideos im Physikunterricht einzusetzen?

- Sozialer Einfluss (Ausmaß, in dem eine Lehrkraft andere Lehrkräfte als wichtige Faktoren betrachtet, unabhängig von ihrer Hierarchie): Wie wichtig ist es Ihnen, dass auch Ihre Kolleg*innen (interaktive) Experimentiervideos im Physikunterricht einsetzen? Meinen Sie, dass Ihre Kolleg*innen (interaktive) Experimentiervideos in ihren Physikunterricht einsetzen würden, wenn Sie es in ihrem Unterricht vormachen?
- Erleichternde Bedingungen (Ausmaß, in dem eine Lehrkraft der Meinung ist, dass eine gut organisierte Infrastruktur für die Einführung der Technologie unerlässlich ist): Wie einfach oder schwer ist es für Sie, mit den Ihnen zur Verfügung stehenden Ressourcen (interaktive) Experimentiervideos in Ihrem Unterricht einzusetzen?

Neben der Technologieakzeptanz soll im Rahmen der Gruppeninterviews die Selbstwirksamkeitserwartung der teilnehmenden Lehrkräfte bezogen auf den Einsatz (interaktiver) Experimentiervideos im Physikunterricht erfasst werden. Unter Selbstwirksamkeitserwartung versteht man allgemein „die subjektive Gewissheit, neue oder schwierige Anforderungssituationen auf Grund eigener Kompetenz bewältigen zu können“ (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 35). Diesem Konstrukt liegt also das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten als Prädiktor für das resultierende Verhalten zugrunde. Nach Bandura können vier Quellen für den Erwerb der Selbstwirksamkeitserwartung unterschieden werden (Schwarzer & Jerusalem, 2002). Diese werden wiederum in Interviewfragen überführt:

- Eigene Erfahrungen (Vermittlung von Erfolgen zur Stärkung der Selbstwirksamkeit): Welche Erfahrungen haben Sie selbst bezogen auf den Einsatz von (interaktiven) Experimentiervideos in der Fortbildung gemacht?
- Stellvertretende Erfahrungen durch Beobachtung von Verhaltensmodellen (Nachahmen von Personen mit ähnlichen Attributen): Welche Erfahrungen bzw. Beobachtungen bezogen auf den Einsatz von (interaktiven) Experimentiervideos konnten Sie machen, als Sie die Schulklasse im teutolabphysik beobachtet haben?
- Sprachliche Überzeugungen (Einredung, eine Person habe die notwendigen Bewältigungskompetenzen): Wie würden Sie Ihre Kompetenzen beschreiben, um digitale Lernmedien, wie (interaktive) Experimentiervideos, im Unterricht einzusetzen?
- Wahrnehmen eigener Gefühlserregung (Erregungszustand zur Beurteilung der Kompetenz nutzen): Inwiefern treten Situationen in Ihrem Schulalltag auf, in denen Sie das subjektive Empfinden haben, digitalbezogenen Anforderungen nicht gerecht zu werden?

Wie sind Sie mit diesen Situationen umgegangen?

Das Gruppeninterview wird aufgezeichnet, transkribiert und mit der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring analysiert (Mayring, 1994).

4.2.3. Teilnehmende Beobachtung und Dokumentenanalyse

Die teilnehmenden Lehrkräfte durchlaufen während der Fortbildung einen Lernprozess. Durch die unstrukturierte teilnehmende Beobachtung soll dieser Prozess dokumentiert werden. Dazu werden Audioaufnahmen der während der Videoproduktion stattfindenden Diskussionen angefertigt und die experimentellen Aufbauten der Experimentiervideos in regelmäßigen Abständen fotografiert.

Zusätzlich werden die entstehenden Experimentiervideos dahingehend untersucht, inwiefern die zuvor in der Fortbildung erarbeiteten Gestaltungsprinzipien (vgl. 3.4) bei der Videoproduktion umgesetzt worden sind.

5. Ausblick

Für die konzipierte Lehrkräftefortbildung werden drei Durchgänge im Schülerlabor teutolab-physik durchgeführt. Der erste Fortbildungsdurchgang findet aktuell statt. Der sich anschließende zweite und dritte Durchgang ist für den Herbst 2024 (2. Durchgang) und für das Frühjahr 2025 (3. Durchgang) geplant.

Die ersten (Teil-)Ergebnisse, die sich aus der Evaluation des ersten Durchgangs ergeben, sind Ende 2024 zu erwarten.

6. Literatur

- Beierlein, C., Kovaleva, A., Kemper, C. J. & Rammstedt, B. (2012). ASKU. Allgemeine Selbstwirksamkeit Kurzskala [Verfahrensdokumentationen, Fragebogen Deutsch und Englisch]. In Leibniz-Institut für Psychologie (ZPID) (Hrsg.), *Open Test Archive*. ZPID. <https://doi.org/10.23668/psycharchives.4527>
- Chi, M. T. H. & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219–243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>
- Doll, J. & Meyer, D. (2021). SWIT. Selbstwirksamkeit von Lehrerinnen und Lehrern im Hinblick auf die unterrichtliche Integration digitaler Technologie [Verfahrensdokumentation und Fragebogen]. In Leibniz-Institut für Psychologie (ZPID) (Hrsg.), *Open Test Archive*. ZPID. <https://doi.org/10.23668/psycharchives.4872>
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). Datenerhebung. In N. Döring & J. Bortz (Hrsg.), *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (S. 321–577). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5_10
- Euler, M., Schüttler, T. & Hausmann, D. (2015). Schülerlabore: Lernen durch Forschen und Entwickeln. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 759–782). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0_26
- Glatz, L. C. & Erb, R. (im Druck). Experimente als interaktive Videos – Die Einführung des Teilchenmodells interaktiv gestalten. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*.
- Kirchhoff, T., Schwedler, S., Abels, S., Acher, A., Anselmetti, D., Besa, K.-S., Biehl, J., Blumberg, E., Breiter, A., Brückmann, M., Büntemeyer, D., El Tegani, M., Engelhardt, A., Grotjohann, N., Kempe, L., Kiel, C., Kleine, M., Koerber, R., Lambrecht, M., Lehmenkühler, A., ... Wilde, M. (in review). LFB-Labsdigital: Schülerlabore als Ort der Lehrkräftefortbildung in der digitalen Welt. Ein Bericht zur Konzeption eines Verbundprojektes. *PraxisForschungLehrer*innenBildung – Zeitschrift für Schul- und Professionsentwicklung*.
- Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2023). Interaktive Bildschirmexperimente im Unterricht einsetzen. In T. Wilhelm (Hrsg.), *Digital Physik unterrichten. Grundlagen, Impulse und Perspektiven* (S. 71–96). Klett Kallmeyer.
- Lumi Education UG. (2024). *Lumi* (1.26) [App]. <https://lumi.education/de/>
- Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369>
- Mayring, P. (1994). Qualitative Inhaltsanalyse. In A. Boehm, A. Mengel, & T. Muhr (Hrsg.), *Texte verstehen: Konzepte, Methoden, Werkzeuge* (Bd. 14, S. 159–175). UVK Univ.-Verl..
- Meier, M., Kastaun, M. & Stinken-Rösner, L. (2022). Experimentiervideos im naturwissenschaftlichen Unterricht – Lehren und Lernen mit und durch VidEX. In E. M. Watts & C. Hoffmann (Hrsg.), *Digitale NAWigation von Inklusion. Digitale Werkzeuge für einen inklusiven Naturwissenschaftsunterricht* (S. 51–65). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37198-2_5
- Neyer, F. J., Felber, J. & Gebhardt, C. (2012). Entwicklung und Validierung einer Kurzskala zur Erfassung von Technikbereitschaft. *Diagnostica*, 58(2), 87–99. <https://doi.org/10.1026/0012-1924/a000067>
- Plageras, A., Xenakis, A., Kalovrektis, K. & Vavougios, D. (2023). An Application Study of the UTAUT Methodology for the Flipped Classroom Model Adoption by Applied Sciences and Technology Teachers. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 18(02), 190–202. <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i02.35585>
- Puentedura, R. (2006). *Transformation, Technology, and Education* [Blog post]. <http://hippasus.com/resources/tte/>

- Scharfenberg, F.-J., Möller, A., Kaufmann, K. & Bogner, F. (2019). Schülerlabore und Lehr-Lern-Labore. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann & J. Zabel (2019), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 229–249). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_13
- Schmidkunz, H. (1983). Die Gestaltung chemischer Demonstrationsexperimente nach wahrnehmungspsychologischen Erkenntnissen. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie*, 31(10), 360–367.
- Schmiedebach, M. & Wegner, C. (2021). Design-Based Research als Ansatz zur Lösung praxisrelevanter Probleme in der fachdidaktischen Forschung. *Bildungsforschung*, 2, 1–10.
<https://doi.org/10.25656/01:23920>
- Schwarzer, R. & Jerusalem, M. (2002). Das Konzept der Selbstwirksamkeit. *Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen*, 44, 28–53. <https://doi.org/10.25656/01:3930>
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2021). *Lehren und Lernen in der digitalen Welt. Ergänzung zur Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“*.
https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2021/2021_12_09-Lehren-und-Lernen-Digi.pdf
- Stinken-Rösner, L. & Meier, M. (2023). Experimentiervideos – Mehr als ein Ersatz für Realexperimente. *Plus Lucis*, 3, 17–21.
- Stinken-Rösner, L., Weidenhiller, P., Nerdel, C., Weck, H., Kastaun, M. & Meier, M. (2023). Inklusives Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht digital unterstützen. In D. Ferencik-Lehmkuhl, I. Huynh, C. Laubmeister, L. Curie, C. Melzer, I. Schwank, H. Weck, & K. Ziemer (Hrsg.), *Inklusion Digital! Chancen und Herausforderungen inklusiver Bildung im Kontext von Digitalisierung* (S. 152–167). Julius Klinkhardt. <https://doi.org/10.35468/5990>
- Stinken-Rösner, L. (2021). Digitale Medien in der naturwissenschaftlichen Lehrkräftebildung: Integriert statt zusätzlich. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG Frühjahrstagung 2021*, 179–185.
- Stinken-Rösner, L., Hofer, E., Rodenhauser, A. & Abels, S. (2023). Technology Implementation in Pre-Service Science Teacher Education Based on the Transformative View of TPACK: Effects on Pre-Service Teachers' TPACK, Behavioral Orientations and Actions in Practice. *Education Sciences*, 13(7), 732.
<http://dx.doi.org/10.3390/educsci13070732>
- Weiler, D., Burde, J.-P., Große-Heilmann, R., Riese, J., & Schubatzky, T. (2023). Einsatzmöglichkeiten von digitalen Medien im Physikunterricht - Eine Übersicht. *Plus Lucis*, 3, 4–8.
- Watzka, B., Richtberg, S., Schweinberger, M. & Girwidz, R. (2019). Interaktives Üben mit H5P-Aufgaben. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 203, 22–27.
- Ziegler, M. & Stinken-Rösner, L. (im Druck). Mit Hypervideos digital experimentieren. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*.