

Schmid, Andrea Maria; Wetzel, Richard; Brovelli, Dorothee
Augmented Reality in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung beim Arbeiten mit Modellen in den Naturwissenschaften

Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung 36 (2018) 2, S. 223-230



Quellenangabe/ Reference:

Schmid, Andrea Maria; Wetzel, Richard; Brovelli, Dorothee: Augmented Reality in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung beim Arbeiten mit Modellen in den Naturwissenschaften - In: Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung 36 (2018) 2, S. 223-230 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-170985 - DOI: 10.25656/01:17098

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-170985>

<https://doi.org/10.25656/01:17098>

in Kooperation mit / in cooperation with:



<http://www.bzl-online.ch>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen. Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Augmented Reality in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung beim Arbeiten mit Modellen in den Naturwissenschaften

Andrea Maria Schmid, Richard Wetzel und Dorothee Brovelli

Zusammenfassung Bisherige Projekte zu Augmented Reality in der Bildung versprechen u.a. Motivationssteigerung und bessere Lernleistungen. Die hier beschriebene hochschulübergreifende Entwicklung einer Augmented-Reality-Lernumgebung zum elektrischen Stromkreis befasst sich mit der Kombination von physikdidaktischem Denken in Modellen und der digitalen Repräsentation solcher Modellierungen im Realexperiment. Der Einsatz in der Lehrpersonenbildung zielt auf die Förderung von technologiebezogenem fachdidaktischem Wissen (TPACK) ab, das die angehenden Lehrpersonen befähigen soll, die neuen Möglichkeiten digitaler Technologien lernförderlich in den Unterricht zu integrieren.

Schlagwörter Augmented Reality – Lehrpersonenbildung – digitale Lernmedien

Augmented reality in teacher education for working with scientific models

Abstract Previous projects on augmented reality in education have shown promising results, including increased motivation and improved learning outcomes. Our article describes an inter-university development of an augmented-reality learning environment on the topic of electrical circuits. It deals with modelling analogies in physics teaching and the digital representation of these models in real experiments. Its implementation in teacher education aims at promoting technological pedagogical content knowledge (TPACK), which should enable student teachers to integrate the new possibilities of digital technologies in the classroom.

Keywords augmented reality – teacher education – digital media

1 Einleitung

Nachdem internationale Studien Hinweise auf den Nutzen von durch Augmented Reality (AR) unterstützten Lernumgebungen geliefert haben (Bacca, Baldiris, Fabregat, Graf & Kinshuk, 2014; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Radu, 2014), stellt sich die Frage nach der Verwendung dieser Technologie in der Lehrpersonenbildung. An der Pädagogischen Hochschule Luzern wird daher derzeit in Zusammenarbeit mit der Hochschule Luzern ein Projekt durchgeführt, bei dem Realexperimente, zunächst zum elektrischen Stromkreis, mithilfe der AR-Technologie angereichert werden, um das Denken in Modellen in Form von Analogien (Burde & Wilhelm, 2017; Kircher, Girwidz & Häußler, 2009) und insbesondere deren Anwendung im Physikunterricht zu unterstützen sowie die dazu bei den angehenden Lehrpersonen erforderlichen Kompetenzen aufzubauen.

2 Augmented Reality

Nach Azuma (1997) wird AR (Deutsch: «erweiterte Realität») charakterisiert als Kombination von virtueller Realität und realer Umwelt mit teilweiser Überlagerung, Interaktion in Echtzeit und dreidimensionalem Bezug virtueller und realer Objekte. Im Gegensatz zu Virtual Reality werden keine völlig neuen computergenerierten Welten erschaffen, sondern die vorhandene Realität steht im Zentrum und wird durch virtuelle Elemente ergänzt (Klein, 2009). Da die Übergänge von Realität zu Virtualität fließend sind, sprechen Milgram, Takemura, Utsumi und Kishino (1994) von einem «virtuality-reality-continuum». Alle Formen, die zwischen der realen und der virtuellen Umgebung liegen, werden als «Mixed Reality» (MR) bezeichnet. Je nach Ausprägung variiert der Anteil realer und virtueller Objekte in einer Darstellung, wobei bei AR verhältnismäßig mehr reale als virtuelle Objekte erscheinen.

Aus technischer Sicht besteht eine AR-Applikation im Wesentlichen aus drei Bestandteilen: aus Werkzeugen, die Informationen zu den Objekten in der realen Umgebung aufnehmen, Hard- und Software, um die Informationen zu verarbeiten, sowie digitalen Geräten, welche die Informationen in der realen Umgebung eingebettet digital darstellen (Azuma, Baillet, Behringer, Feiner, Julier & MacIntyre, 2001; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). Um die realen Objekte zu erfassen, werden visuelle oder nicht visuelle Tracking-Verfahren verwendet. Letztere berechnen Positionen mittels verschiedener Sensoren wie z.B. GPS, Kompass, Beschleunigungssensor, Gyroskop, Ultraschall oder Optoelektronik. Visuelle Verfahren nutzen computergestützte Bildverarbeitung, indem ein Kamerabild aufgenommen und analysiert wird. In einer Variante werden hierzu bildliche «Marken» eingesetzt, die Strichcodes ähneln, aber auch hochauflösende Fotos sein können. Das komplexere SLAM-Verfahren («simultaneous localization and mapping») kommt dabei sogar ohne vorher definierte Marken aus, da es die relative Nutzerposition basierend auf Hunderten von selbst erkannten visuellen Merkmalen in der Umgebung berechnet (Leonard & Durrant-Whyte, 1991). Unabhängig vom Verfahren werden anschliessend dreidimensionale virtuelle Objekte in der Umgebung platziert. Auf Geräten wie Smartphones und Tablets wird ein Live-Kamerabild mit diesen Objekten überlagert. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung von Datenbrillen («head-mounted displays») wie beispielsweise der HoloLens von Microsoft. Hier werden die virtuellen Objekte auf transparente Gläser projiziert, sodass die reale Umgebung weiterhin direkt sichtbar bleibt.

3 Augmented Reality in der MINT-Bildung

Neben Anwendungen in vielen anderen Gebieten wird AR auch zunehmend im Bildungsbereich genutzt. Eine Metastudie von Radu (2014) zeigt anhand von 26 Publikationen positive Auswirkungen von AR-Lernumgebungen auf die Motivation, die Zusammenarbeit unter den Studierenden, die Entwicklung des räumlichen Vorstel-

lungsvermögens und die Lernleistungen in physikalischen Aufgaben, aber auch eine zusätzliche kognitive Belastung durch AR. Ein wesentlicher Grund dafür kann das begrenzte Auffassungsvermögen der beiden verfügbaren Sinneskanäle (visuell und akustisch) bei multiplen Repräsentationen sein (vgl. Theorie zum multimedialen Lernen nach Mayer, 2009). Ein weiterer negativer Punkt bei AR im Unterricht sind häufige Anwendungsprobleme, z.B. durch zu wenig intuitive Anwendungsoberflächen oder fehlende digitale Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler. Diese positiven und negativen Befunde nach Radu (2014) werden von Ibáñez und Delgado-Kloos (2018) in einer Übersichtsarbeit zu 28 Studien auch für das Lernen mit AR in den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) grösstenteils bestätigt, besonders die positiven affektiven Wirkungen (Motivation, Engagement und Einstellungen). Die betrachteten Studien geben aber noch zu wenig Aufschluss über Wirkungen hinsichtlich kognitiver Belastung, räumlichen Vorstellungsvermögens und Lernleistung, in Bezug auf Letztere auch deshalb, weil meist nur Faktenwissen erhoben wurde (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). Daten einer aktuellen Pilotstudie zu AR während physikalischer Experimentierphasen zeigen aber, dass das Einblenden von experimentellen Sensordaten, Hilfestellungen und weiteren Informationen an realen Objekten einen leicht positiven Effekt auf die Lernleistung haben kann (Strzys et al., 2018).

Das im vorliegenden Beitrag beschriebene Projekt baut insbesondere auf Vorerfahrungen aus dem EU-Projekt CONNECT auf, bei dem Exponate in europäischen Science Centern um AR angereichert wurden (Wittkämper, Braun, Herbst & Herling, 2007). Die Airfoil-Installation ist ein Beispiel dafür, wie mittels AR Nichtsichtbares sichtbar und damit erfahrbar gemacht werden kann. Bei dieser Installation können sich Besucherinnen und Besucher das Modell eines Flugzeugflügels ansehen und den Winkel des Flügels verstellen. Betrachtet eine Person den Flügel durch eine spezielle AR-Brille, wird eine vom Winkel abhängige Simulation der Luftströme eingeblendet. Dies ermöglicht es, den Bernoulli-Effekt am realen Modell experimentell zu erkunden. Im Nachfolgeprojekt «Science Center To Go» wurde die Idee aufgegriffen und für den Einsatz im Klassenzimmer angepasst. Das System besteht aus einem Koffer, in dem sich mehrere Miniaturexponate befinden, unter ihnen auch ein Flugzeugflügel (Buchholz & Wetzel, 2009). Die Miniaturisierung ermöglicht es, die Exponate auch im Unterricht einzusetzen. In einem Pilotversuch wurde das System sowohl von Schülerinnen und Schülern als auch von Lehrpersonen betreffend Benutzbarkeit und Lernpotenzial positiv bewertet (Larsen, Buchholz, Brosda & Bogner, 2013).

4 Projektbeispiel Augmented Reality in der Elektrizitätslehre

Die Pädagogische Hochschule Luzern und die Hochschule Luzern planen und setzen im Rahmen des Programms «Aufbau eines nationalen Netzwerks zur Förderung der MINT-Bildung – hochschultypenübergreifende Aus- und Weiterbildung von Lehrper-

sonen» (kurz: «Netzwerk MINT-Bildung», www.mint-bildung.ch) mit Unterstützung durch projektgebundene Beiträge im Zeitraum von 2017 bis 2020 diverse Projekte um. Dabei wird unter anderem der Einsatz von AR in der Ausbildung angehender Lehrpersonen für das Fach «Natur und Technik» auf der Sekundarstufe 1 erprobt. Realexperimente werden für den Physikunterricht mit virtuellen Objekten angereichert, wodurch die Verwendung physikalischer Modelle und deren kritische Beurteilung erleichtert werden sollen. Derzeit wird für Experimente zum Stromkreis ein Prototyp von der Hochschule Luzern – Informatik technisch erstellt, von der Pädagogischen Hochschule Luzern konzeptionell und didaktisch angeleitet und in einem nächsten Schritt in Lehrveranstaltungen erprobt. Ein weiterer Prototyp zum mechanischen Kraftkonzept bei Alltagsphänomenen ist in Planung.

Fachdidaktischer Ausgangspunkt für die Entwicklung der AR-Lernumgebung zum Stromkreis sind die aus der physikdidaktischen Forschung bekannten, oft durch Alltagserfahrungen geprägten vorunterrichtlichen Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern (sogenannte Präkonzepte) zur Elektrizität und zum Stromkreis, die für einen erfolgreichen Unterricht berücksichtigt werden müssen (Müller, Wodzinski & Hopf, 2011). Diese Präkonzepte können das Verständnis behindern und zu Fehlvorstellungen führen, wie z.B. der Verbrauchsvorstellung vom elektrischen Strom oder der mangelnden Betrachtung des Stromkreises als System. Modelle, z.B. das Elektronengasmodell, das Fahrradkettenmodell oder verschiedene Wassermodelle, sollen das Verständnis durch verschiedene Visualisierungen unterstützen. Eine verbreitete Analogie zur Veranschaulichung des elektrischen Stromkreises ist das Wassermodell. Vergleiche zwischen den Elementen des elektrischen Stromkreises und des aus der Lebenswelt vertrauten Wasserkreislaufs ermöglichen die Übertragung von weitgehend formal gleichen Gesetzen, auch wenn die Analogie ihre Grenzen hat (Burde & Wilhelm, 2017; Kircher et al., 2009). Dabei erklären die unterschiedlichen Formen des Wassermodells jeweils nur bestimmte Aspekte des elektrischen Stromkreises und können ihrerseits Fehlkonzepte verursachen, sodass ihr Einsatz reflektiert werden muss.

Die Umsetzung mittels AR erfolgt mit einem visuellen Tracking-Verfahren von Marken auf realen Stromkreisbausteinen, welche die Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren zu Stromkreisen zusammensetzen können. Dafür werden herkömmliche Bausteine verwendet, wie sie von Lehrmittelherstellern für Versuche angeboten werden. Auf einem Tablet können sich die Schülerinnen und Schüler verschiedene Modelle ihres selbst erstellten Stromkreises mittels AR direkt überlagert auf den Stromkreisbausteinen des Realexperiments anzeigen lassen.

5 Digitale Kompetenzen in der Lehrpersonenbildung am Projektbeispiel

Wie beim Einsatz anderer Technologien im Unterricht stellt sich auch bei AR die Frage, über welche professionellen Kompetenzen Lehrpersonen dafür verfügen müssen, und damit, welche Kompetenzen im Rahmen der Lehrpersonenausbildung und -weiterbildung aufgebaut werden müssen. Einen Ordnungsrahmen für die professionellen Kompetenzen von Lehrpersonen beim Einbezug von Technologien im Unterricht liefert das TPACK-Modell von Koehler und Mishra (2009). Es basiert auf den von Shulman (1987) eingeführten Dimensionen des Professionswissens, also PK («pedagogical knowledge»), PCK («pedagogical content knowledge») und CK («content knowledge»), und ergänzt diese durch TK («technological knowledge»), das heisst das Wissen über Technologie, wodurch weitere Schnittbereiche entstehen (vgl. Abbildung 1).

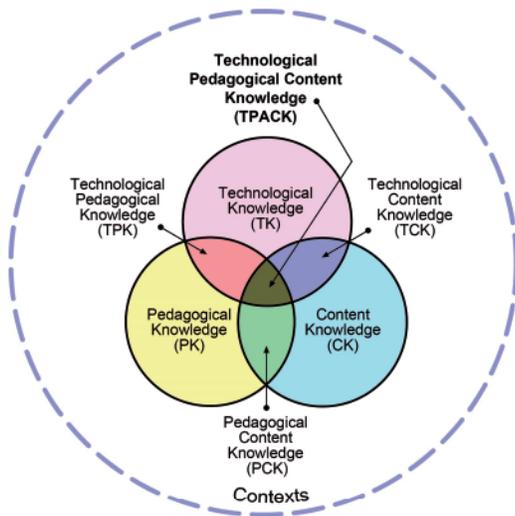


Abbildung 1: TPACK-Modell nach Koehler & Mishra (2009), reproduziert mit Erlaubnis des Rechteinhabers. © 2012 by tpack.org.

Auf das Projektbeispiel bezogen benötigen angehende Lehrpersonen für einen adäquaten Unterricht neben einem belastbaren eigenen Fachwissen zum Stromkreis (CK) und den allgemeindidaktischen, pädagogischen und psychologischen Fähigkeiten und Fertigkeiten (PK) auch fachdidaktische Kenntnisse (PCK), in diesem Fall unter anderem Wissen zu den oben erwähnten Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern sowie zu Modellen bzw. Analogien und ihren Vorteilen und Grenzen. Mithilfe der AR-Technologie soll es gelingen, verschiedene Modellierungen visuell am Stromkreis zu entdecken und diese einander gegenüberzustellen. In einer physikdidaktischen Lehrveranstaltung

wird der Lernprozess durch Diskussion von Potenzial und Grenzen der visualisierten Stromkreismodelle reflektiert.

Der Einsatz dieses digitalen Lernmediums fördert zugleich Anwendungskompetenzen (TK) der Lehramtsstudierenden, da sie die Handhabung der AR-Hard- und Software inklusive Sensoren und Marken für das Tracking beherrschen lernen und den Umgang mit der Anwendung von AR-Applikationen üben, um zusätzliche Hürden für die Nutzung des Lernmediums im Unterricht zu reduzieren. Dabei lassen sich im Zusammenhang mit dem Fachinhalt in der Elektrizitätslehre auch Fähigkeiten im Bereich der physikalischen Messtechnik, z.B. der Sensorik, schulen, die man zum «technological content knowledge» (TCK) zählen kann. Im Schnittbereich zu PK lassen sich als «technological pedagogical knowledge» (TPK) allgemeinere mediendidaktische Kompetenzen verorten wie z.B. ein sparsamer Umgang mit Informationen und die Vermeidung von unnötigen kognitiven Belastungen (z.B. fehlende Usability, Ablenkung) (Petko, 2014; vgl. auch Multimedia-Lerntheorie nach Mayer, 2009), wie sie für AR im Bildungsbereich berichtet wurden (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). Auf solche aus der Literatur bekannten Punkte wird sowohl bei der Entwicklung der AR-Lernumgebung als auch bei der Reflexion mit den Studierenden geachtet. Ein Beispiel dafür wäre die Frage, wie sich die zusätzliche kognitive Belastung durch das Medium reduzieren lässt und wie es gleichzeitig sogar dazu beitragen kann, die kognitiven Anforderungen beim Denken in Modellen durch die Überlagerung der Modellebene zu verkleinern.

Koehler und Mishra (2009) betrachten das zentrale Feld «technological pedagogical content knowledge» (TPACK) als Basis für eine effektive Lehre mit neuen Technologien, was die Förderung von TPACK zu einer wichtigen Aufgabe der Lehrpersonenbildung macht. Das Projekt zum Einsatz von AR zur Gestaltung einer wirksamen, technologieunterstützten Lernumgebung zum Stromkreis soll dazu einen Beitrag leisten. Dabei soll mit den Studierenden die Frage diskutiert werden, welches Medium für eine bestimmte Lernsituation geeignet ist, und damit gleichzeitig die Frage nach dem Mehrwert eines analogen oder digitalen Werkzeugs für den Unterricht. Nicht zu unterschätzen ist dabei, dass durch digitale Medien auch neue Lehr- und Lernmöglichkeiten entstehen. Im vorgestellten Projekt wird beispielsweise die Modellebene des Stromkreises direkt dem Realexperiment überlagert. Bei einer Änderung im realen Stromkreis kann die Auswirkung im Modell direkt visualisiert werden, was eine intensive Auseinandersetzung mit Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern und Modellierungen ermöglicht. Hierbei handelt es sich also um einen klaren Mehrwert gegenüber einer Simulation am Rechner (durch die realen Bauteile), aber auch gegenüber Animation und Grafiken (durch Interaktivität).

6 Fazit und Ausblick

AR soll eine Mittlerfunktion zwischen Wahrnehmung, mentalen und physikalischen Modellen übernehmen und damit die Verwendung und die Beurteilung physikalischer Modelle erleichtern. Angehende Lehrpersonen setzen sich so mit unterschiedlichen Zugängen, Repräsentationsformen und Anwendungen für den Lernprozess der Schülerinnen und Schüler auseinander, um Medien für die Unterrichtssituation adäquat auswählen, gegebenenfalls aufbereiten und einsetzen zu können. Um angehenden Lehrpersonen im Rahmen der Lehrpersonenausbildung evidenzbasiert Kenntnisse über die Wirkungen solcher Lernumgebungen vermitteln zu können, sind weitere Wirksamkeitsstudien zu digitalen Medien wie AR-Applikationen wünschenswert. Um dazu einen Beitrag zu leisten, soll in einem nächsten Schritt auch das in diesem Beitrag vorgestellte AR-Projekt in der Elektrizitätslehre wissenschaftlich begleitet werden.

Literatur

- Azuma, R. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6 (4), 355–385.
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21 (6), 34–47.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S. & Kinshuk. (2014). Augmented reality trends in education: A systematic review of research and applications. *Educational Technology & Society*, 17 (4), 133–149.
- Buchholz, H. & Wetzell, R. (2009). Introducing science center TOGO – A mixed reality learning environment for everyone’s pocket. In I. A. Sánchez & P. Isaías (Hrsg.), *Proceedings of the IADIS International Conference on Mobile Learning 2009* (S. 244–249). Lissabon: IADIS.
- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2017). Modelle in der Elektrizitätslehre. *Unterricht Physik*, 28 (157), 8–13.
- Ibáñez, M. & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109–123.
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.). (2009). *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (2. Auflage). Berlin: Springer.
- Klein, G. (2009). *Visual tracking for augmented reality: Edge-based tracking techniques for AR Applications*. Saarbrücken: VDM.
- Koehler, M. J. & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9 (1), 60–70.
- Larsen, Y., Buchholz, H., Brosda, C. & Bogner, F.-X. (2013). Evaluation of a portable and interactive augmented reality learning system by teachers and students. In A. Lazoudis, H. Salmi & S. Sotiriou (Hrsg.), *EDEN – 2011 Open Classroom Conference: Augmented Reality in Education. Proceedings of the «Science Center To Go» Workshops* (S. 41–50). Athen: Ellinogermaniki Agogi.
- Leonard, J. J. & Durrant-Whyte, H. F. (1991). Simultaneous map building and localization for an autonomous mobile robot. In IEEE & RSJ (Hrsg.), *Intelligent Robots and Systems '91. Intelligence for Mechanical Systems. Proceedings IROS '91* (S. 1442–1447). Piscataway, NJ: IEEE.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd edition). New York: Cambridge University Press.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1994). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In H. Das (Hrsg.), *Proceedings of SPIE 2351: Telem manipulator and Telepresence Technologies* (S. 282–292). Bellingham, WA: SPIE.
- Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (2011). *Schülervorstellungen in der Physik*. Aulis.

- Petko, D.** (2014). *Einführung in die Mediendidaktik. Lehren und Lernen mit digitalen Medien*. Weinheim: Beltz.
- Radu, I.** (2014). Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18 (6), 1533–1543.
- Shulman, L. S.** (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57 (1), 1–21.
- Strzys, M. P., Kapp, S., Thees, M., Klein, P., Lukowicz, P., Knierim, P., Schmidt, A. & Kuhn, J.** (2018). Physics holo.lab learning experience: Using smartglasses for augmented reality labwork to foster the concepts of heat conduction. *European Journal of Physics*, 39 (3), 035703.
- Wittkämper M., Braun, A.-K., Herbst, I. & Herling, J.** (2007). A distributed system for augmented reality experiences in science centers and museums. In K. Hui, Z. Pan, R. Chung, C. C. L. Wang, X. Jin, St. Göbel & E. C.-L. Li (Hrsg.), *Technologies for e-learning and digital entertainment. Second International Conference: Edutainment 2007. Proceedings* (Lecture Notes in Computer Science, Volume 4469) (S. 936–946). Berlin: Springer.

Autorinnen und Autor

Andrea Maria Schmid, M.A., Pädagogische Hochschule Luzern, andrea.schmid3@phlu.ch
Richard Wetzel, Dr., Hochschule Luzern, Departement Informatik, richard.wetzel@hslu.ch
Dorothee Brovelli, Prof. Dr. sc. nat., Pädagogische Hochschule Luzern, dorothee.brovelli@phlu.ch