

Augmented-Reality-Applikation zum Einsatz bei Schülerexperimenten im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I

Florian Frank, Christoph Stolzenberger, Thomas Trefzger

Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik
florian.frank@uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Mithilfe von Augmented Reality (kurz: AR) können reale Situationen (z.B. physikalische Experimente) durch virtuelle Objekte und Texteinblendungen ergänzt werden. Die hier vorgestellte Applikation erweitert als Schülerexperimente aufgebaute Stromkreise um die virtuelle Darstellung des physikalischen Elektronengasmodells (Burde, 2018) inklusive der Innenansichten verschiedener Bauteile wie Lampen und Widerständen. Dadurch ergeben sich für die Unterrichtsgestaltung neue Möglichkeiten der Verzahnung von Theorie und Experiment. Die Lernenden können mithilfe der Applikation direkt am Experiment qualitative und halb-quantitative Kenntnisse zu den Grundgrößen Stromstärke, Spannung, Potential und Widerstand sowie zu den Gesetzmäßigkeiten in Reihen- und Parallelschaltungen erwerben. Ausgehend von der Cognitive Load Theory (Plass, 2010), der Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2014) und der Self Determination Theory (Ryan, 2016) vermuten wir, dass durch diese Erarbeitung der theoretischen Inhalte direkt am Experiment (anstelle des üblichen Lehrervortrags) ein erhöhter Wissenszuwachs und eine Steigerung der unterrichtsbezogenen Motivation erzeugt wird. Außerdem wird untersucht, ob sich dadurch die Möglichkeit ergibt, direkter und effektiver auf falsche Schülervorstellungen einzugehen.

Im Beitrag werden die sich in der Entwicklung befindende Applikation vorgestellt sowie die geplanten Studien skizziert.

1. Einleitung

Das Fach Physik wird von Schüler*innen im Vergleich zu anderen Fächern als schwieriger bewertet (Haag, 2012). Die Lehre naturwissenschaftlicher Modelle scheint ein hohes Maß an Komplexität zu bergen und Lerner vor kognitive Herausforderungen zu stellen. Tatsächlich zeigen sich etwa nach Abschluss des Einführungsunterrichts in die Elektrizitätslehre prävalente fehlerhafte Schülervorstellungen wie die Stromverbrauchsvorstellung (Burde, 2018). Diese sind auch zum Ende der Sekundarstufe I noch zu großen Teilen vorhanden (Müller, 2015). Selbst Studienanfänger*innen der Physik, also vermeintlich gute und interessierte Lerner, offenbaren noch zu großen Teilen solche fehlerhaften Vorstellungen (Fromme, 2018). Über die Dauer der Schulzeit sinkt außerdem die schulbezogene intrinsische Motivation der Schüler*innen (Finkenberg, 2018).

Diesen Herausforderungen wollen wir durch den Einsatz von Augmented Reality-Anwendungen am Beispiel der Elektrizitätslehre begegnen.

2. Theoretische Betrachtung

Nach der Theorie der kognitiven Belastung (Plass, 2010) kann man bei Lernprozessen drei Arten auftretender kognitiver Belastung unterscheiden.

- Intrinsische Belastung ist für einen Lerngegenstand unveränderlich und resultiert aus der Komplexität desselben.

- Extrinsische Belastung ist abhängig von der Darstellung der Lerninhalte und allgemein nicht lernförderlich. Ziel muss es also sein, diese Art der Belastung zu reduzieren.
- Lernbezogene Belastung entsteht durch die Aufnahme und Speicherung der Lerninhalte in das Langzeitgedächtnis und ist damit lernförderlich.

Lernende haben nur eine begrenzte kognitive Kapazität. Bei hoher extrinsischer Belastung wird damit die lernbezogene Belastung reduziert, der Lernvorgang wird gehindert.

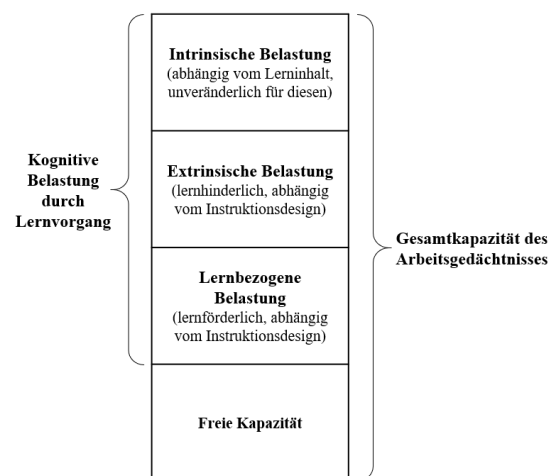


Abb. 1: Arten kognitiver Belastung nach Plass, 2010

Zur Reduktion der extrinsischen Belastung kann nach den Prinzipien der räumlichen und zeitlichen Kontiguität der kognitiven Theorie des multimedialen Lernens (Mayer, 2014) die Nutzung von Augmented Reality einen entscheidenden Beitrag leisten. Grundannahme ist hier, dass eine räumliche und zeitliche Trennung aufeinander bezogener Lerninhalte die extrinsische Lernbelastung erhöht. Eine solche räumliche und zeitliche Trennung findet im Unterricht beispielsweise statt, wenn die Lehrperson nach der Durchführung eines naturwissenschaftlichen Experiments im Lehrervortrag das theoretische Modell erläutert, welches das Ergebnis des zuvor durchgeführten Experiments erklärt. Durch die Nutzung einer AR-Applikation kann das theoretische Modell bereits während des Experimentierens über den experimentellen Aufbau geblendet werden. Dies ermöglicht eine höhere räumliche und zeitliche Kontiguität und reduziert damit die extrinsische Lernbelastung.

Nach der Selbstbestimmungstheorie (Ryan, 2016) kann die intrinsische Motivation durch die Erfüllung der drei psychologischen Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenzerleben und sozialer Eingebundenheit erhöht werden. Durch die Nutzung von AR-Applikationen kann die Lehre von theoretischen Modellen als schülerzentrierter, forschender Unterricht gestaltet werden. Die Lernenden können dann in Kleingruppen oder Partnerarbeit die theoretischen Modelle am eigenen Experiment selbstbestimmt erarbeiten. Dabei können die oben genannten Grundbedürfnisse der Lernenden erfüllt werden.

3. Forschungsinteresse und Rahmenbedingungen der Entwicklung der Applikation

Im Rahmen der präsentierten Forschungsarbeit wird der Einfluss des Einsatzes einer Augmented Reality-Anwendung auf das konzeptuelle Verständnis und auf die Motivation der Schüler*innen untersucht. Das konzeptuelle Verständnis wird dabei in Form der Lernleistung und des Auftretens fehlerhafter Schülervorstellungen untersucht.

Ziel des Einsatzes von AR in Unterrichtssituationen ist es also, den Lernprozess komplexer Inhalte – wie z.B. theoretische Modelle – durch Gewährleistung räumlicher und zeitlicher Kontiguität zu vereinfachen und die unterrichtsbezogene Motivation der Lerner durch Befriedigung der psychologischen Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenzerleben und sozialer Eingebundenheit zu steigern.

Ausgehend von dieser Zielsetzung wurde eine Applikation für den Unterricht der Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I entwickelt. Diese soll im Unterrichtsgeschehen das Bindeglied zwischen dem zur Erklärung und Vorhersage genutzten theoretischen Modell und den durchgeführten Experimenten darstellen. Der Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung ist ein Spiralprozess: Zu Beginn werden aus theoretischen Modellen Hypothesen abgeleitet. Diese werden durch Experimente geprüft und anhand deren

Ergebnisse verworfen oder gestützt. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten ziehen und das theoretische Modell schärfen (Stiller, 2020). Die Applikation soll diesen Prozess qualitativ begleiten und so den Lernenden die Möglichkeit bieten, selbsterforschend die Theorien am Experiment konstruktiv zu erarbeiten.

Um die Anwendung auf diese Art im Unterricht zu nutzen, ist es wichtig, sie auf die vorhandene Hard- und Software abzustimmen. Eine großflächige Nutzung von AR-Brillen im Unterricht steht dem Ziel einer nahtlosen Verknüpfung von Unterricht und Experiment durch deren aufwendiges Setup im Wege und erscheint im Moment nicht realistisch. Daher wird die Anwendung für die Nutzung mit Tablets optimiert. Eine spätere Erweiterung auf AR-Brillen ist aber möglich.

Um dem Ziel einer möglichst nahtlosen Verknüpfung von AR-unterstütztem Experiment und Unterricht Rechnung zu tragen, wird die Applikation auf eine Experimentierumgebung angepasst. Durch die resultierende Reduktion der Komplexität der Aufbauten ist auch die Arbeit mit der Anwendung weniger aufwendig. Als Grundlage der Entwicklung wurde der Schüler-Experimentierkasten Elektrik I der Firma Mekruphy genommen. Dieser zeichnet sich durch universelle Einsetzbarkeit verbunden mit einem modularen und reduzierten Aufbau aus, was die Entwicklung einer damit verbundenen AR-Anwendung begünstigt hat. Eine spätere Anpassung der Applikation für weitere Experimentierumgebungen ist aber möglich.

Es sollte insgesamt ein einfaches, im Unterrichtsverlauf aber trotzdem vielseitig einsetzbares Werkzeug entwickelt werden. Die Bedienung und Handhabung soll für die Schüler*innen möglichst einfach und intuitiv sein, um durch die Verwendung der Applikation die Schüler*innen kognitiv nicht zusätzlich zu belasten.

4. Momentaner Stand der Anwendung

Die Applikation überlagert einen realen Experimentieraufbau mit Visualisierungen zur Erklärung der auftretenden Stromflüsse. Als Grundlage der Visualisierungen wurde das Elektronengasmodell (Burde, 2018), abgeändert durch Lutz (Lutz, 2020), herangezogen. Die Wahl des zugrundeliegenden didaktischen Modells fiel auf das Elektronengasmodell, da es erfolgreich in der Reduktion fehlerhafter Schülervorstellungen ist, was ein erklärtes Ziel des Entwicklungsvorhabens darstellt. Außerdem ist es im Vergleich mit anderen bekannten didaktischen Modellen der Elektrizitätslehre wie dem Fahrradkettenmodell und dem Modell des offenen oder geschlossenen Wasserkreislaufs näher an der physikalischen Realität angesiedelt, was dem Ziel der realitätsnahen Darstellung der Abläufe im Inneren von Stromkreisen zugutekommt.

Das Elektronengasmodell postuliert, dass sich Elektronen in Metallen in Teilchenform frei bewegen können. Sie füllen aufgrund der negativen Ladung und der daraus resultierenden Abstoßung den ihnen zur Verfügung stehenden Raum gleichmäßig aus. Das Elektronengas wird als komprimierbar angenommen, die Batterie pumpt Elektronengas von ihrem positiven Ende zu ihrem negativen Ende. Damit wird die Elektronendichte am positiven Ende niedriger, am negativen Ende höher. In Abhängigkeit von der Elektronendichte kann von einem auftretenden elektrischen Druck gesprochen werden. Elektronen strömen von Bereichen hohen elektrischen Drucks in Bereiche niedrigeren elektrischen Drucks. (Burde, 2018)

Nach dem Elektronengasmodell ist also die Elektronendichte und damit der mittlere Abstand der Elektronen zueinander ein Maß für den elektrischen Druck. Bereiche hohen elektrischen Drucks werden dabei blau eingefärbt, Bereiche niedrigen elektrischen Drucks rot (Lutz, 2020).



Abb. 2: Screenshot der Anwendung

Mit der Anwendung können entlang der Leiterstücke virtuelle Elektronen eingeblendet werden. Dazu wurden die Bauteile des Experimentierkastens mit QR-Codes versehen. Die Anwendung wird auf Basis der Unity-Engine in Verbindung mit der Erweiterung Vuforia für die Erkennung der QR-Codes programmiert. Die Codes müssen anfangs gescannt werden. Sobald dies geschehen ist, kann die Visualisierung gestartet werden.

Der Abstand der Elektronen zueinander in der Visualisierung ist wie oben beschrieben abhängig vom elektrischen Druck (d.h. dem elektrischen Potential) am jeweiligen Ort. Die Farbe und die Darstellung der Elektronen kann mittels der Bedienelemente rechts ein- und ausgeschaltet werden. Die Elektronen bewegen sich entlang der Leiterstücke und teilen sich an Knotenpunkten entsprechend der Widerstände der Bauteile im Parallelkreis auf.

Die Visualisierung der Elektronen und der Färbung der Bereiche nach dem elektrischen Druck kann dabei separat voneinander an- und abgeschaltet werden. Dadurch haben die Schüler*innen beim Einsatz in Verbindung mit den Experimentieraufbauten die Möglichkeit, sich auf entweder die Strom- oder die

Spannungsaspekte des Stromkreises zu konzentrieren und damit die extrinsische kognitive Last zu reduzieren. So ist bei der Parallelschaltung durch die Knotenpunkte evtl. die Stromsicht interessanter, bei der Reihenschaltung interessiert evtl. aufgrund der unterschiedlichen Spannungsabfälle vorrangig die Potentialsicht.

Zur Untersuchung der Interaktion der Leitungselektronen mit den verschiedenen Bauteilen des Stromkreises können zusätzlich hierfür Visualisierungen angezeigt werden. Dafür wurde das in den Unterrichtskonzepten zum Elektronengas verwendete zweidimensionale mikroskopische Modell des Widerstands (Burde, 2018) in das dreidimensionale übertragen. Elektrische Leiter zeichnen sich in diesem Modell durch eine sehr gleichmäßige Anordnung der Atomrümpfe aus, während nicht zu vernachlässigende Widerstände durch eine ungleichmäßige Anordnung der Atomrümpfe dargestellt werden. Infolgedessen kommt es bei letzteren zu mehr Stößen zwischen Leitungselektronen und Atomrümpfen.

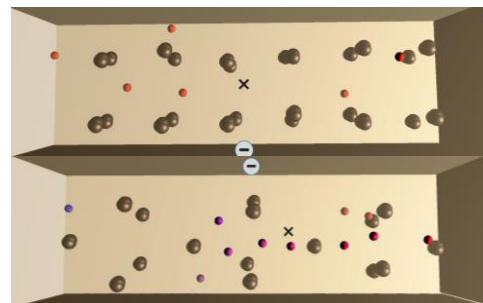


Abb. 3: Visualisierung eines Leiters (oben) und eines Widerstands (unten)

Um auch halbquantitative Untersuchungen mit der Anwendung zu ermöglichen, wurde die Option hinzugefügt, an den Bauteilen Werte zum Widerstand, Stromfluss und Spannungsabfall anzuzeigen. Diese Werte werden dabei nicht gemessen, sondern aus den bekannten und über die QR-Codes eingelesenen Daten der Bauteile berechnet.

Weitere Schritte, die im Rahmen der Entwicklung angestrebt werden, ist die Implementierung einer Bluetooth-Schnittstelle, um die Möglichkeit zu bieten, Bluetooth-Multimeter mit der Anwendung zu verbinden und so tatsächliche Messwerte anzuzeigen. Dies ermöglicht dann auch eine Nutzung des Experimentierkastens in Verbindung mit einer externen Spannungsquelle. Gerade die Betrachtung eines offenen Stromkreises wäre sehr interessant, da hier ohne eine Bewegung der Elektronen bei sich verändernder anliegender Spannung beobachtet werden kann, wie sich die Elektronenabstände in den an die Batterie angrenzenden Leiterstücken ändern.

Außerdem ist geplant, für die Nutzung im Unterricht ein Einführungs Menü zu implementieren. In diesem soll es neben einer Kurzanleitung für den Gebrauch

der Anwendung auch eine Auswahlliste mit verschiedenen Betriebsmodi geben. Auf Anweisung der Lehrperson können die Schüler*innen dann beispielweise einen Modus wählen, in welchem nicht alle Funktionalitäten der Anwendung verfügbar sind, wenn diese noch nicht im Unterricht erarbeitet wurden.

5. Einsatzmöglichkeiten in Unterrichtssituationen

Die Anwendung soll im Rahmen des Elektrizitätslehreunterrichts breit eingesetzt werden. Mögliche Themen sind dabei etwa die Einführung des elektrischen Drucks als Ursache von Elektronenströmungen, die Erarbeitung der Stromstärke zur Beschreibung der Elektronenströmungen und qualitative Beobachtungen an verschiedenen Arten von Widerständen, ohmschen wie nicht-ohmschen. Darüber hinaus können einfache Stromkreise mit bis zu drei Widerständen mit der Applikation analysiert werden, sowohl in Parallel- als auch in Reihenschaltung und es können halbquantitative Experimente durchgeführt werden, die auf das ohm'sche Gesetz hinführen.

Ein möglicher Unterrichtseinsatz in der Erarbeitung des elektrischen Drucks besteht etwa darin, die Schüler*innen im Rahmen von Schülerexperimenten Beobachtungen zum Verhalten der Elektronen in einem einfachen Stromkreis mit einer Lampe machen zu lassen. Dafür sollten lediglich die Elektronen eingeblen-det werden, jedoch noch nicht die Färbung der Elektronen. Beobachten die Schüler*innen die verschiedenen Abstände der Elektronen zueinander in den Bereichen zwischen Batterie und Lampe, so können sie eigenständig ein Folgeexperiment durchführen, in welchem ein offener Stromkreis mit einer regelbaren Spannungsquelle untersucht wird.

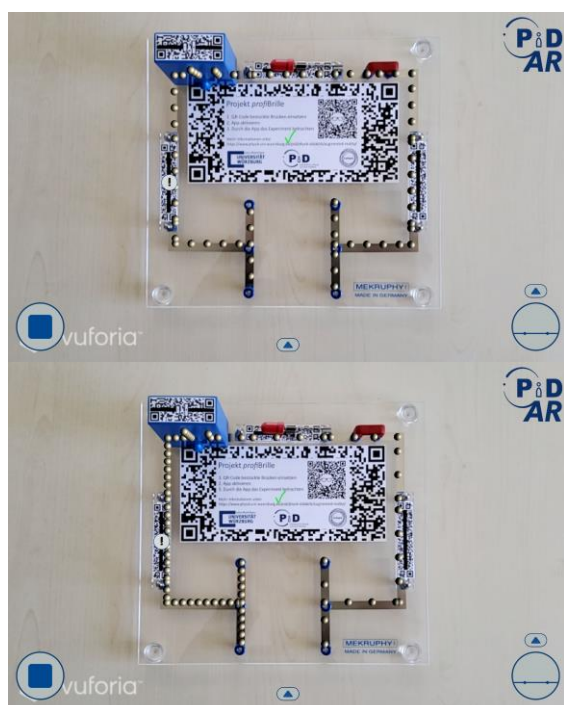


Abb. 4: Elektronendichteunterschied im offenen Stromkreis bei niedriger (oben) und hoher (unten) anliegender Spannung

Die regelbare Spannungsquelle muss dann per Bluetooth mit der Anwendung verbunden sein. Bei Änderung der anliegenden Spannung können die Schüler*innen nun die Verschiebung der Elektronen zueinander direkt beobachten und beeinflussen. In einem anschließenden Unterrichtsgespräch kann gemeinsam der elektrische Druck erarbeitet werden, nachdem die Schüler*innen diesen bereits gesehen und eigenständig untersucht haben.

6. Ausblick auf geplante Studien

Um die Entwicklung der Anwendung zu unterstützen, werden entwicklungsbegleitend eine Reihe qualitativer Studien durchgeführt.

Zurzeit wird die Applikation in der hier vorgestellten Version Physiklehrkräften an bayerischen Schulen zur persönlichen Testung zur Verfügung gestellt. Im Rahmen eines leitfadengestützten Interviews, dessen Fragen sich an Kreienbühl et al. orientieren (Kreienbühl, 2020), werden diese anschließend gebeten, Aussagen zur Handhabung der Anwendung und einem möglichen Einsatz dieser im Unterricht zu machen. Aus den Interviews gewonnene Erkenntnisse zu der Applikation werden in die weitere Entwicklung einfließen. Erste Rückmeldungen aus dieser Phase sind positiv.

In einem weiteren Schritt soll die Anwendung auch Schüler*innen der Sekundarstufe I gezeigt werden. Der Fokus der Befragung liegt dann auf Fragen zur Verständlichkeit der Darstellung und der Handhabung. Ebenso soll die Anwendung Expert*innen zur Verfügung gestellt werden, um Rückmeldung zur Umsetzung des didaktischen Modells in der Applikation zu erhalten. Ziel all dieser Untersuchungen ist es, schon frühzeitig mögliche auftretende Probleme bei der Verwendung der App zu erkennen und zu beheben.

Zeitgleich zur weiteren Entwicklung der Anwendung sollen Unterrichtsentwürfe entstehen, in denen großflächig Schüler- und Lehrerexperimente genutzt werden, in deren Rahmen die Applikation verwendet werden kann. Auch diese Unterrichtsentwürfe werden vor ihrem Einsatz im Rahmen der Hauptstudie Fokusgruppen aus Lehrpersonen und Experten zur Einschätzung und Bewertung gegeben.

Am Ende der Entwicklungsarbeit steht eine Interventionsstudie an bayerischen Gymnasien in der 8. Jahrgangsstufe. Interveniert wird über den Zeitraum des Elektrizitätslehreunterrichts. Dieser beträgt etwa acht Wochen. Die Testung verläuft nach einem Pre/Post-Test-Design mit Kontrollgruppe und mehreren Testgruppen. Alle Gruppen werden dabei nach den entwickelten Unterrichtskonzepten unterrichtet. Die Kontrollgruppe führt die geplanten Experimente jedoch ohne Nutzung der Applikation durch. Testgruppe 1 nutzt in Verbindung mit den Experimenten die AR-Anwendung, Testgruppe 2 nutzt statt der AR-Anwendung eine

bildschirmgestützte Simulation, die der Applikation nachempfunden ist. So soll zusätzlich zur Untersuchung der Wirkung von Augmented Reality-Anwendungen auf den Lernprozess ein Vergleich der Wirkung von Augmented Reality und bildschirmgestützten Simulationen ermöglicht werden.

Im Rahmen der Pre- und Posttests werden das konzeptuelle Verständnis und die intrinsische unterrichtsbezogene Motivation der Schüler*innen erhoben. Das konzeptuelle Verständnis wird dabei in Form des kognitiven Lernzuwachses und des Auftretens von fehlerhaften Schülervorstellungen gemessen. Genutzt werden kann hierzu ein von Urban-Woldron und Hopf entwickeltes Testinstrument (Urban-Woldron, 2012), welches von Morris im Rahmen einer Diplomarbeit weiterentwickelt wurde (Morris, 2018). Das Testinstrument ist ein mehrstufiger Single-Choice-Test, der die gleichzeitige Messung des Kenntnisstands und des Auftretens von Schülervorstellungen ermöglicht. Zur Messung der unterrichtsbezogenen Motivation können beispielsweise von Finkenberg verwendete und validierte Testinstrumente genutzt werden (Finkenberg, 2018). Diese beinhalten Items aus den PISA-Erhebungen von 2015 (OECD, 2016) und selbstentwickelte und evaluierte Items.

Im Anschluss an die Hauptstudie wird die Anwendung über die Internetseite der Physikdidaktik der Universität Würzburg für den Einsatz im Unterricht zur Verfügung gestellt.

7. Literatur

- Burde, Jan-Philipp (2018): Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. In: Studien zum Physik- und Chemielernen. Logos-Verlag, Berlin.
- Finkenberg, Frank (2018): Flipped Classroom im Physikunterricht. In: Studien zum Physik- und Chemielernen. Logos-Verlag, Berlin.
- Fromme, Bärbel (2018): Fehlvorstellungen von Studienanfängern – Was bleibt vom Physikunterricht der Sekundarstufe I. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2018), S. 205-215.
- Haag, Ludwig; Götz, Thomas (2012): Mathe ist schwierig und Deutsch aktuell: Vergleichende Studie zur Charakterisierung von Schulfächern aus Schülersicht. In: Psychologie in Erziehung und Unterricht, 59 (2012), S. 32-46.
- Kreienbühl, Tobias; Wetzel, Richard; Burgess, Naomi; Schmid, Andrea Maria; Brovelli, Dorothee (2020): AR Circuit Constructor: Combining Electricity Building Blocks and Augmented Reality for Analogy-Driven Learning and Experimentation. In: 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct). IEEE Publishing.
- Lutz, Wolfgang; Burde, Jan-Philipp; Wilhelm, Thomas; Trefzger, Thomas (2020): Digitale Unterrichtsmaterialien zum Elektronengasmodell. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2020), S. 333-341.
- Mayer, Richard (Hrsg.) (2014): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Second Edition. Cambridge University Press, New York.
- Morris, Louisa Christine (2018): Weiterentwicklung eines Testinstruments zum einfachen Stromkreis. Diplomarbeit, Universität Wien.
- Müller, Svetlana; Burde, Jan-Philipp; Wilhelm, Thomas (2015): Vergleich von Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre in Hessen und Weißrussland. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2015).
- OECD, Organisation for Economic Co-operation & Development (2016): PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy. OECD Publishing.
- Plass, Jan; Moreno, Roxana; Brünken, Roland (2010): Cognitive Load Theory. Cambridge University Press, New York.
- Ryan, Richard; Deci, Edward (2016): Facilitating and Hindering Motivation, Learning, and Well-Being in Schools. In: Handbook of Motivation at School, S.96-119. Routledge, New York.
- Stiller, Cornelia; Allmers, Tobias; Habigsberg, Annette; Stockey, Andreas; Wilde, Matthias (2020): Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. In: PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung, 2 (2), S. 28–39.
- Urban-Woldron, Hildegard; Hopf, Martin (2012): Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. In: Zeitschrift der Didaktik der Naturwissenschaften, 18 (2012), S. 201-227.

Förderung

Die Julius-Maximilians-Universität Würzburg und das Projekt „Connected Teacher Education“ wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.