

## Wirkungsvolle Augmented Reality-Experimente im physikalischen Praktikum

Mareike Freese\*, Lion Cornelius Glatz\*, Albert Teichrew\*, Roger Erb\*

\*Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik  
freese@physik.uni-frankfurt.de

### Kurzfassung

Augmented Reality (AR) bietet als digitales Werkzeug neue Möglichkeiten, die auch in der Lehre immer häufiger zum Einsatz kommen. Im Rahmen des Projektes WARP-P (Wirkungsvolle AR im Praktikum Physik) wurden ausgewählte Experimente des Elektrizitätslehre-Praktikums mit passenden dynamischen Modellen zu AR-Experimenten transformiert. Eingebettet in eine digitale Lernumgebung wird der naturwissenschaftliche Erkenntnisprozess den Lehramtsstudierenden erlebbar: Anstatt die Versuchsanleitung rezeptartig abzuarbeiten, werden mithilfe der dynamischen Modelle Hypothesen generiert und anschließend im Experiment direkt überprüft. Mithilfe von Tablets wird das Kamerabild des (realen) Experiments mit dem Modell und den in ihm abgebildeten physikalischen Größen in Echtzeit überlagert. Nach dem Einsatz des AR-Experiments können die Studierenden die Richtigkeit ihrer Modellannahmen in Kontrollfragen mit Musterantworten überprüfen. Über den gesamten Verlauf wurde das Projekt qualitativ, in Form von Studierendenbefragungen, und quantitativ in Bezug auf die Selbstwirksamkeitsentwicklung evaluiert. Die qualitativen Ergebnisse zeigen, dass die AR-Experimente als gewinnbringend wahrgenommen werden. Außerdem ist über das Praktikum hinweg eine positive Entwicklung der Selbstwirksamkeit in Bezug auf das Experimentieren mit AR zu beobachten.

### 1. Theoretischer Hintergrund

Im Lehramtsstudium Physik bilden experimentelle Übungen in Form eines Praktikums eine wichtige Komponente für die fachliche Ausbildung [1]. Dabei führen die Studierenden in einem kontrollierten Rahmen Experimente in Laborräumen durch, deren Aufbau, Durchführung und Auswertung größtenteils vorgegeben sind und in Form eines Protokolls festgehalten und benotet werden. Die Praktika sollen dem Kompetenzerwerb dienen und die Studierenden auf Experimentiersituationen vorbereiten, welche ihnen in ihrem späteren Beruf begegnen. Dennoch sind die Versuche im Praktikum häufig durch Anleitungen begleitet, die von den Studierenden rezeptartig abgearbeitet werden. Dadurch kann das Ziel, experimentelle Fähigkeiten und wissenschaftliches Denken zu fördern, verfehlt werden. Auch die Motivation der Studierenden kann unter dem Mangel an Selbstbestimmung leiden [2].

Die Einbindung digitaler Medien kann unter bestimmten Bedingungen dazu beitragen, dass die Motivation und das Interesse der Studierenden erhöht werden [3]. Dabei ist es wichtig, dass Lernziele und Kompetenzerwerb nicht aufgrund des gewählten Mediums aus dem Fokus rücken, und auch die kognitive Belastung darf durch multiple Repräsentationen nicht erhöht werden [4, 5]. Ein vielversprechendes digitales Werkzeug für diesen Zweck ist Augmented Reality (AR), das durch die Schaffung räumlicher Kontiguität den extrinsischen Cognitive Load (ECL) redu-

zieren kann [6]. AR kommt auch aus diesem Grund im Bildungsbereich immer häufiger zum Einsatz [7]. Die Technologie ermöglicht es, reale Umgebungen in Echtzeit um virtuelle Inhalte zu erweitern, die dann natürlich im Raum erscheinen [8]. Im Physikunterricht lassen sich mit AR reale Experimente mit virtuellen Modellierungen verknüpfen, wodurch Phänomene besser verstanden werden können [9]. Solche AR-Experimente können beispielsweise mit der Dynamische Geometrie-Software (DGS) GeoGebra ([geogebra.org](http://geogebra.org)) modelliert und per mobiler App eingesetzt werden. Dies ermöglicht es, unsichtbare Komponenten eines Modells, z.B. elektrische Felder, sichtbar zu machen (siehe Abbildung 1).

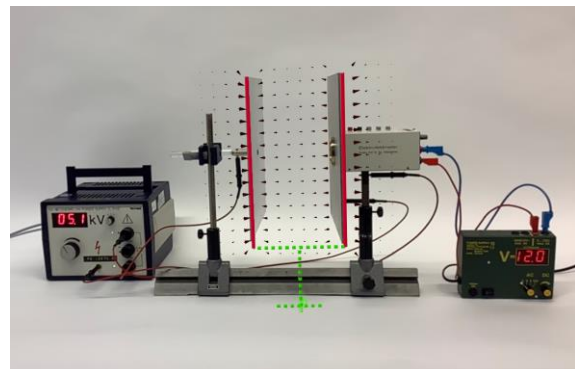


Abb. 1: AR-Experiment zur Visualisierung der elektrischen Feldvektoren an einem Plattenkondensator, gesehen durch die Kamera eines Tablets

Im physikalischen Praktikum können mit AR-Experimenten Hypothesen generiert und direkt anschaulich überprüft werden. So wird das Forschende Lernen ermutigt [10] und die Studierenden erkunden die Gesetzmäßigkeiten hinter den Phänomenen virtuell und analog.

## 2. Evaluationsdesign

Im Rahmen studentischer Abschlussarbeiten wurden an der Goethe-Universität Frankfurt zwei klassische Praktikumsversuche (A. Elektrisches Feld am Kondensator; B. Fadenstrahlrohr) in AR-Experimente umgewandelt. Zusätzlich zu den entsprechend überarbeiteten Versuchsanleitungen wurde für den Versuch am Fadenstrahlrohr eine interaktive Lernumgebung erstellt. Anschließend wurden diese AR-Experimente im physikalischen Praktikum für Lehramtsstudierende eingesetzt und im Rahmen des Projekts WARP-P (Partnership des Gesamtprojekts „DigiTeLL – Digital Teaching and Learning Lab“ [11]) in einem Pretest-Posttest-Design evaluiert.

Neben den Vorerfahrungen der Lehramtsstudierenden mit digitalen Medien (drei Items; Multiple Choice und offene Antworten) wurde im Pretest vor der Durchführung des Praktikums die Selbstwirksamkeitserwartung (SWE) der Studierenden beim Experimentieren mit und ohne AR mit jeweils fünf Items erhoben (Likert fünfstufig von 1 bis 5; angepasst nach [12]).

Während des Praktikumsverlaufs wurde strukturiertes Feedback zu AR und den Versuchen erhoben, sowohl in qualitativer Form als auch mit Hilfe von vier Likert-Skalen zur Bewertung der Erfahrungen während eines AR-Experiments auf verschiedenen Ebenen: technologisch, immersiv, affektiv und kognitiv (siehe Tabelle 1). Die technologische Ebene betrifft die Benutzerfreundlichkeit des Systems (angelehnt an [13]) bezogen auf die Bedienung des in GeoGebra erstellten Modells sowie die Einblendung in bzw. Anpassung des Modells an die Realität. Die immersive Ebene erfasst, inwiefern sich ein Gefühl der Präsenz der Objekte in der Realität eingestellt hat (angelehnt an [14]). Die affektive Ebene greift das Vergnügen bei der Arbeit mit dem AR-Experiment als Merkmal intrinsischer Motivation auf (angelehnt an [15]). Die kognitive Ebene umfasst die subjektive Auffassung der Verständniserweiterung durch die Lernaktivität, was als Merkmal der lernbezogenen kognitiven Belastung herangezogen wird (angelehnt an [16]).

Im Anschluss an das Praktikum wurde im Posttest die rückblickend wahrgenommene Selbstwirksamkeit (in Anlehnung an SWE) mit und ohne AR analog zum Pretest gemessen. Zudem gab es zwei offene Fragen zu einem möglichen Einsatz von AR im eigenen (späteren) Unterricht.

Die Stichprobe setzte sich aus Studierenden des Lehramts Physik für Haupt- und Realschulen sowie für Förderschulen zusammen (N = 12), die Studierenden befanden sich größtenteils im dritten Fachsemester.

**Tab. 1:** Aussagen zur Bewertung eines AR-Experiments in vier Ebenen

<i>Technologische Ebene</i>
Die Bedienung des Modells in der App war verständlich.
Das Einblenden des Modells auf den Tisch hat gut funktioniert.
Es war leicht, das Modell an den realen Aufbau anzupassen.
<i>Immersive Ebene</i>
Ich hatte nach dem Einblenden des Modells das Gefühl, dass es wirklich dahin gehört.
Es sah nach dem Anpassen des Modells so aus, als ob es zum realen Aufbau passt.
Die Anwesenheit des Modells im realen Aufbau hatte für mich einen Sinn.
<i>Affektive Ebene</i>
Ich habe gerne mit dem Modell gearbeitet.
Es war interessant, das Modell gemeinsam mit der Realität zu betrachten.
Es hat mir Spaß gemacht, den realen Aufbau mit dem Modell zu erweitern.
<i>Kognitive Ebene</i>
Die Arbeit mit dem Modell hat mir geholfen, die Physik dahinter zu verstehen.
Durch das Einblenden des Modells konnte ich mir den Sachverhalt besser vorstellen.
Die Verbindung des Modells mit dem realen Aufbau machte das Phänomen verständlicher.

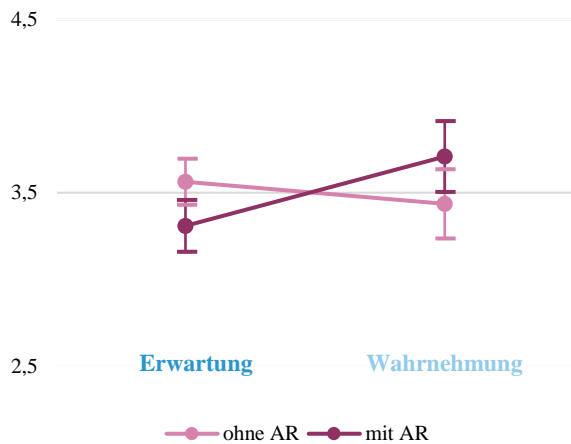
## 3. Ergebnisse

### 3.1. Selbstwirksamkeitsentwicklung der Studierenden beim Experimentieren

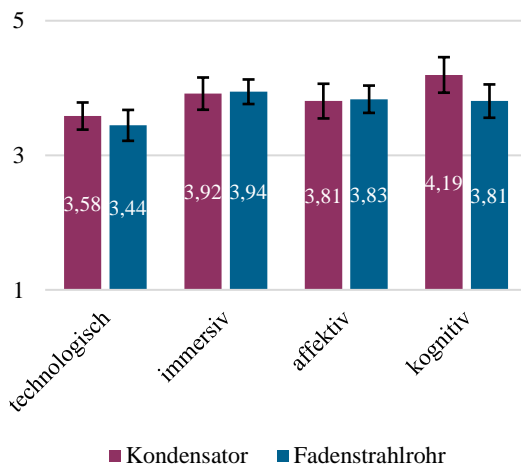
Es ist zu beobachten, dass die Selbstwirksamkeitserwartung vor Beginn des Praktikums in Bezug auf das Experimentieren mit AR niedriger ist als beim Experimentieren ohne AR. Die Auswertung von Pre- und Posttest ergab, dass sich die Selbstwirksamkeit beim Experimentieren mit AR über das Praktikum hinweg positiv entwickelt (siehe Abbildung 2). Bezogen auf die klassischen Experimente ohne AR ist ein entgegengesetzter Verlauf zu beobachten, der jedoch weniger deutlich ist.

### 3.2. Erfahrung der Studierenden beim Experimentieren mit AR

Auf allen vier Skalen erhalten beide AR-Experimente hohe Werte in der Einschätzung durch die Studierenden (mindestens 3,44 von 5; siehe Abbildung 3), was dafür spricht, dass sie als motivierend (affektive Ebene), für das physikalische Verständnis unterstützend (kognitive Ebene) und technisch-gestalterisch gut umgesetzt (technologische und immersive Ebene) wahrgenommen werden.



**Abb. 2:** Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren mit und ohne AR (n = 11) mit Standardfehler des Mittelwerts



**Abb. 3:** Bewertung der Erfahrung der Studierenden beim Experimentieren in vier Ebenen von AR-Experimenten (n = 12)

Das strukturierte, offene Feedback deckt sich inhaltlich mit den vier Skalen zu den AR-Experimenten. Für einen Einsatz von AR in ihrem späteren Physikunterricht sehen die Studierenden Potential in Bezug auf den technologischen Fortschritt sowie auf die Motivation und das Verständnis der Schüler\*innen. Hinderungsgründe sind vor allem technischer Art (Aufbau, Internetverbindung) sowie der hohe Zeit- und Organisationsaufwand.

#### 4. Diskussion

Die geringere Selbstwirksamkeitserwartung im Pretest bei den Versuchen mit AR im Vergleich zu den übrigen Praktikumsversuchen lässt sich darauf zurückführen, dass die Studierenden noch keine eigenen Erfahrungen mit AR-Experimenten hatten. Die Entwicklung der Selbstwirksamkeit über das Praktikum hinweg spricht dafür, dass die Studierenden von den Experimenten mit AR-Anteilen profitieren. Sie schätzen diese auf kognitiver Ebene als verständlich ein und geben an, Spaß an der Arbeit mit dem Experiment zu haben.

Im offenen Feedback zu den Versuchen bewerten sie die Fähigkeit der Experimente, das inhaltliche Verständnis zu unterstützen, als besonders hoch (vgl. Abbildung 3, kognitive Ebene). Dies ist vor allem der Sichtbarmachung von modellhaften Inhalten (z.B. Vektorfelder) zu verdanken.

#### 5. Ausblick

Auf Wunsch der Studierenden, eigene AR-Experimente zu entwickeln, wird im laufenden Sommersemester 2023 an der Goethe-Universität Frankfurt ein Seminar angeboten, in dem der Fokus darauf liegt, das Erstellen von dynamischen GeoGebra-Modellen zu lernen und diese im Rahmen eines Schülerlabors an zwei Lerngruppen zu erproben [17]. Dabei liegt der Fokus neben den digitalen Kompetenzen beim Modellieren von 3D-Objekten auf dem Einsatz des AR-Experiments in der Praxis, d.h. der Planung und Reflexion des Besuchs der Lerngruppen. Die Projektverantwortlichen planen neben der Beobachtung auch Befragungen von einzelnen Schüler\*innen in Bezug auf deren Motivation und Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren sowie die Usability der AR-Experimente.

#### 6. Literatur

- [1] Kreiten, Marga: [Chancen und Potenziale web-basierter Aufgaben im physikalischen Praktikum](#). Universität Köln, Dissertation, 2012.
- [2] Hopf, Martin: Problemorientierte Schülerexperimente. Universität München, Dissertation, 2007.
- [3] Schirmer, Carola; Marín, Victoria: [Die Gestaltung Forschenden Lernens mit digitalen Medien](#). In: Wulf, Carmen; Haberstroh, Susanne; Petersen, Maren (Hrsg.): *Forschendes Lernen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2020, S. 280-288.
- [4] Sweller, John; Ayres, Paul; Kalyuga, Slava: [Cognitive Load Theory](#). Dordrecht: Springer, 2011.
- [5] Horz, Holger; Schnotz, Wolfgang: [Cognitive Load in Learning with Multiple Representations](#). In: Plass, Jan L.; Brünken, Roland; Moreno, Roxana (Hrsg.): *Cognitive Load Theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010, S. 229-252.
- [6] Thees, Michael; Kapp, Sebastian; Strzys, Martin P.; Beil, Fabian; Lukowicz, Paul; Kuhn, Jochen: [Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses](#). In: *Computers in Human Behavior* Nr. 108 (2020), S. 106316.
- [7] Altinpulluk, Hakan: [Determining the trends of using augmented reality in education between 2006-2016](#). In: *Education and Information Technologies* Nr. 24 (2019), S. 1089-1114.
- [8] Carmigniani, Julie; Furht, Borko: [Augmented Reality: An Overview](#). In: Furht, Borko (Hrsg.): *Handbook of Augmented Reality*. New York: Springer, 2011, S. 3-46.

- [9] Teichrew, Albert; Erb, Roger: [How augmented reality enhances typical classroom experiments: examples from mechanics, electricity and optics](#). In: Physics Education Nr. 55 (2020), Nr. 6, S. 065029.
- [10] Winkelmann, Jan; Ullrich, Mark; Freese, Mareike: Physikalische Phänomene erforschen – zeitgleiches Experimentieren und digitales Modellieren mit Hilfe von Augmented Reality. In: Eghtessad, Axel; Kosler, Thorsten; Oberhauser, Claus; Örley, Gregor; Plattner, Irmgard (Hrsg.): Forschendes Lernen, Transfer Forschung ↔ Schule. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 2020, S. 225-227.
- [11] Zeaiter, Sabrina; Ernst, Michael; Freese, Mareike; Herr, Julius: DigiTeLL – Digital Teaching and Learning Lab. In: Mrohs, Lorenz; Hess, Miriam; Lindner, Konstantin; Overhage, Sven; Schlüter, Julia (Hrsg.): Digitalisierung in der Hochschullehre – Perspektiven und Gestaltungsoptionen. Bamberg: Univ. of Bamberg Press, 2023.
- [12] Schroedter, Stefan; Körner, Hans-Dieter: Entwicklung eines Fragebogens zur Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (SWE\_EX). In: Bernholt, Sascha (Hrsg.): Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Oldenburg, 2011, S. 164-166.
- [13] Brooke, John: [SUS: A “Quick and Dirty” Usability Scale](#). In: Jordan, Patrick W.; Thomas, Bruce; McClelland, Ian L.; Weerdmeester, Bernard (Hrsg.): Usability Evaluation in Industry. London: CRC Press, 1996, S. 207-212.
- [14] Dengel, Andreas: [Effects of Immersion and Presence on Learning Outcomes in Immersive Educational Virtual Environments for Computer Science Education](#). Universität Passau, Dissertation, 2020.
- [15] Wilde, Matthias; Bätz, Katrin; Kovaleva, Anastasiya; Urhahne, Detlef: [Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation \(KIM\)](#). In: ZfDN Nr. 15 (2009), S. 31-45.
- [16] Thees, Michael; Kapp, Sebastian; Altmeyer, Kristin; Malone, Sarah; Brünken, Roland; Kuhn, Jochen: [Comparing Two Subjective Rating Scales Assessing Cognitive Load During Technology-Enhanced STEM Laboratory Courses](#). In: Frontiers in Education Nr. 6 (2021), S. 705551.
- [17] Freese, Mareike; Winkelmann, Jan; Ullrich, Mark; Teichrew, Albert; Erb, Roger: [Einsatz von Augmented Reality: Phasenvernetzt und praxisorientiert vermittelt](#). In: Kubsch, Markus; Sorge, Stefan; Arnold, Julia; Graulich, Nicole (Hrsg.): Lehrkräftebildung neu gedacht: Ein Praxishandbuch für die Lehre in den Naturwissenschaften und deren Didaktiken. Münster: Waxmann, 2021, S. 237-242.

## Förderung

Das Projekt „WARP-P – Wirkungsvolle AR im Praktikum Physik“ wird als Partnership des Gesamtprojekts „DigiTeLL – Digital Teaching and Learning Lab“ im Rahmen der Förderlinie „Hochschullehre durch Digitalisierung stärken“ von der Stiftung Innovation in der Hochschullehre gefördert.