

Lehrkräftefortbildung zu Augmented Reality-Experimenten im Physikunterricht

Mareike Freese*, Albert Teichrew*, Jan Winkelmann[†], Roger Erb*,
Mark Ullrich[°], Michael Tremmel[°]

*Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik, [°]Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Psychologie, [†]Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Institut für Naturwissenschaften
freese@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Physikalische Modelle sind als Teil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung in den Bildungsstandards verankert. Studien zeigen jedoch, dass selbst Lehrkräfte häufig Schwierigkeiten mit abstrakten Modellen haben und diese daher weniger häufig explizit im Unterricht behandelt werden. Das digitale Werkzeug Augmented Reality (AR) ermöglicht, reale Experimente im Physikunterricht in Echtzeit um virtuelle Modellierungen zu erweitern, was die zugrundeliegenden Modelle besser zugänglich macht. In dem QL B-geförderten Projekt „diMEx“ wurde eine Fortbildung entwickelt, durchgeführt und evaluiert, in der Lehrkräfte darin geschult werden, AR-Experimente im eigenen Unterricht einzusetzen und mithilfe der Dynamische Geometrie-Software (DGS) GeoGebra eigenständig zu entwickeln. Abschließend wurde die Implementation gemeinsam reflektiert und die Entwicklung der digitalen und Modellkompetenzen in einem Prä-Post-Design qualitativ und quantitativ untersucht.

1. Theoretischer Hintergrund

1.1. Modelle und Modellkompetenz

Die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung in der Physik stützt sich neben dem Experimentieren auf das Entwickeln, Anwenden und Ändern von Modellen *von* etwas (Modellobjekt als Repräsentation) und *für* etwas (als Medium oder Werkzeug) [1; 2]. Auch im Schulalltag sind Modelle als Bestandteil des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung in den Bildungsstandards verankert [3]. Zur Modellkompetenz gehören neben der Kenntnis über Eigenschaften von Modellen selbst und ihren Alternativen auch der Zweck und das aktive Testen von Modellen [4]. Verschiedene nationale und internationale Studien haben jedoch gezeigt, dass die Modellkompetenz sowohl von Schüler*innen [5] als auch von Lehrkräften [6] häufig verbesserungswürdig ist. So wird teilweise bemängelt, dass der Prozess des Modellierens sowie die Entstehung von Modellen im Unterricht oft nicht explizit zum Gegenstand gemacht werden [7]. Stattdessen würden eher beispielhafte Modelle als solche thematisiert [8-10]. Hierbei ist die Unterscheidung zwischen konstruierter Modellwelt und experimenteller Erfahrungswelt zu berücksichtigen, die nebeneinander existieren. Lernende haben jedoch Schwierigkeiten, diese bewusst zu trennen [7]. Dies führt auch dazu, dass Experimentieren als beliebt und einfach empfunden wird, während die Arbeit mit als abstrakt und schwierig aufgefassten Modellen oft schwerfällt [11]. Damit Lehrkräfte kompetent auf diesen Umstand reagieren können, zeichnet sich ein Bedarf an Fortbildungs-

maßnahmen zum Modellieren und zum zielgerichteten Einsatz von Modellen im Physikunterricht ab.

1.2. Augmented Reality und AR-Experimente

Mit dem digitalen Werkzeug AR können reale Umgebungen in Echtzeit um virtuelle Inhalte erweitert werden. Dabei kommt in der Regel die Kamera eines Mobilgeräts oder eine besondere Brille zum Einsatz. Im Gegensatz zu Virtual Reality (VR) ist jedoch die reale Umgebung, in der man sich befindet, weiterhin auf dem Bildschirm sichtbar. Bewegt man sich mit dem Mobilgerät um das virtuelle 3D-Objekt herum, so bleibt es an seinem zugewiesenen Platz und erscheint ganz natürlich im Raum [12].

AR kommt in vielen Domänen zum Einsatz, z.B. bei Spielen, in der Werbung oder in Navigationsdisplays von E-Autos. Doch auch im Bildungsbereich gewinnt die Technologie an Bedeutung, da sie den Lernerfolg und die Motivation verbessern kann [13]. Speziell im naturwissenschaftlichen Unterricht bieten sogenannte AR-Experimente (siehe Abb. 1) eine neuartige Einsatzmöglichkeit. Hierbei werden bekannte, reale Experimente mit virtuellen Objekten verknüpft, um auf diese Weise Modellierungen in Form von Beobachtungen oder Messwerten greifbarer und leichter verständlich zu machen [14]. Dies dient einem direkten Vergleich des dynamischen Modells mit der Realität im Experiment, wobei die Unterscheidung von Modellwelt und Erfahrungswelt (siehe Abschnitt 1.1) gewährleistet ist: Die Inhalte der Modellwelt sind als virtuelle, über dem Realexperiment eingeblendete Objekte deutlich erkennbar

und auch ohne den AR-Modus im 3D-Modell untersuchbar.

Bei der aktiven Durchführung eines AR-Experiments wird über die zugrundeliegenden Modelle reflektiert und das Modellverständnis wird gefördert, denn besonders schwierige Inhalte und Konzepte werden mithilfe von AR leichter verständlich. Das digitale Werkzeug lenkt die Aufmerksamkeit auf wichtige Aspekte des Phänomens, und relevante Informationen können zur richtigen Zeit am richtigen Ort dynamisch präsentiert werden. Wenn diese Bedingungen erfüllt sind, wird auch der Cognitive Load [15] reduziert. Die Lernenden können quasi physisch in die Konzepte eintauchen (Immersion), indem sie selbst aktiv sind, und auch die Interaktion mit den 3D-Objekten erleichtert den Zugang [16].

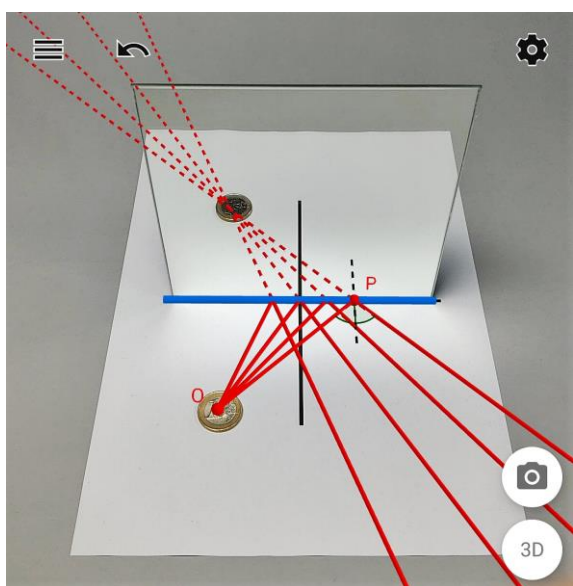


Abb. 1: AR-Experiment zur Bildentstehung am ebenen Spiegel, gesehen durch die Kamera eines Smartphones [14].

Ein AR-Experiment lässt sich auf einfache Weise realisieren, indem mithilfe der DGS GeoGebra (geogebra.org) die virtuellen Objekte und Inhalte im Browser modelliert werden, die später mit der dazugehörigen mobilen App (Smartphone oder Tablet) über das reale Experiment gelegt werden. Es bedarf demnach keiner speziellen Geräte oder besonderer Programmierkenntnisse.

1.3. Digitale Kompetenzen zum Modellieren

In einer zunehmend digitalisierten Welt bedarf es auch im Bildungsbereich neuer Kompetenzen auf dem Gebiet der digitalen Medien und Werkzeuge, welche in den Fokus der Lehrkräfteausbildung und der beruflichen Fort- und Weiterbildung gerückt werden müssen. In den vergangenen Jahren wurden dabei auf verschiedenen Ebenen Kompetenzrahmen und -modelle entwickelt, um die digitalen Kompetenzen zu definieren und zu strukturieren. Explizit wird zum einen das fächerübergreifende TPACK-Modell nach Mishra und Koehler [17] angeführt, welches die Kombinationsformen vom technologi-

schen (TK), pädagogischen/fachdidaktischen (PK/PCK) und dem Fachwissen (CK) beschreibt.

Die EU-Kommission hat für die digitalen Kompetenzen im Bildungsbereich einen gemeinsamen europäischen Kompetenzrahmen für Lehrende (DigCompEdu) erstellt, welcher sich in sechs Bereiche gliedert und damit, neben dem Lehren und Lernen mit digitalen Medien, unter anderem auch die Auswahl geeigneter digitaler Ressourcen abdeckt [18]. Für die naturwissenschaftlichen Fächer im deutschsprachigen Raum wurde mit DiKoLAN ein Rahmen für fachspezifische digitale Basiskompetenzen von Lehramtsstudierenden geschaffen, darunter der Kompetenzbereich „Simulation und Modellierung“ [19].

In diesem Beitrag werden speziell jene digitalen Kompetenzen fokussiert, welche für die Arbeit mit AR-Experimenten notwendig sind. Dabei handelt es sich um die Nutzung der Software und die Bedienung der Hardware, sowie die didaktische Nutzung des digitalen Werkzeugs im Unterricht. Diese digitalen Kompetenzen stehen der in Abschnitt 1.1 beschriebenen Modellkompetenz gegenüber, wobei in der im folgenden Abschnitt beschriebenen Fortbildung die Schnittmenge beider Bereiche geschult werden soll: die notwendigen digitalen Kompetenzen zum Modellieren und zum Einsatz von Modellen zur Erkenntnisgewinnung.

2. Fortbildungskonzept

Der Entwicklung des Fortbildungskonzepts ging eine Bedarfsanalyse voraus, in der im Sommer 2020 Physiklehrkräfte der Sekundarstufe ($n = 81$), vorrangig aus Hessen, zu ihren Einstellungen und der Motivation sowie Vorerfahrungen und Kontextbedingungen bezüglich des Einsatzes digitaler Werkzeuge im Unterricht befragt wurden [20]. Dabei zeigte sich, dass sich die Unterrichtserfahrung der Lehrkräfte meist auf die Nutzung bekannter analoger Anwendungen beschränkt. Besonders in den Bereichen AR und VR (Virtual Reality) sowie bei der Bedienung von Tablets schätzten die Lehrkräfte ihre Kenntnisse als ausbaufähig ein. Zudem wurde in vielen Fällen die technische Infrastruktur an den Schulen bemängelt. Allerdings zeigten die Lehrkräfte eine hohe Bereitschaft, selbsterstellte Materialien im Internet als Open Educational Resources (OER) zur Verfügung zu stellen, auch wenn die meisten damit noch wenig Erfahrung hatten.

Die Struktur der Fortbildung orientiert sich am TPACK-Modell (siehe Abschnitt 1.3) und ist in fünf Sitzungen gegliedert (siehe Abb. 2). In der Auftakt Sitzung werden Grundlagen zu AR vermittelt, eigene Ideen der Lehrkräfte für AR-Experimente in ihrem Unterricht gesammelt und Übungen mit bereits entwickelten Modellen durchgeführt. Daran schließt die dreiteilige Workshop-Phase an, deren inhaltlicher Schwerpunkt auf der Erstellung der 3D-Modelle in GeoGebra liegt. Dazu werden ausführliche Anleitungen und Hilfestellungen in einer Online-Einheit

zur Verfügung gestellt. Zusätzlich werden Inputvorträge zum wissenschaftlichen Hintergrund und zu empirischen Ergebnissen mit (AR-)Experimenten im Physikunterricht angeboten. In der anschließenden, mehrmonatigen Implementationsphase haben die Lehrkräfte Zeit, die in den Workshops entwickelten oder angepassten 3D-Modelle als AR-Experimente in ihrem eigenen Unterricht einzusetzen. Um ihre Erfahrungen festzuhalten, erhalten sie ein Implementationstagebuch mit Leitfragen, welches direkt im Anschluss an die Stunde oder Einheit ausgefüllt werden soll. Diese Phase wird zudem durch Interviews begleitet. In der Reflexionssitzung zum Abschluss berichten die Lehrkräfte von ihren Erfahrungen mit den AR-Experimenten im Unterricht und präsentieren diese in der Gruppe. Sie erhalten dazu Peer-Feedback und eine fachliche und didaktische Einschätzung der Organisator*innen.

Feedbackphasen, insbesondere Peer-Feedback unter Kolleg*innen, haben sich in Studien als besonders wirksam in Lehrkräftefortbildungen herausgestellt, da sie das unterrichtliche Verhalten positiv beeinflussen [21].

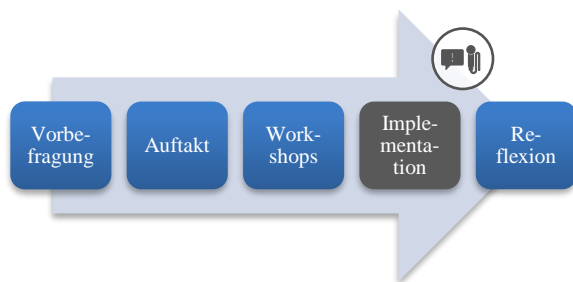


Abb. 2: Fortbildungskonzept.

Eine Pilotierung des Fortbildungskonzeptes erfolgte im Frühjahr und Sommer 2021 in Zusammenarbeit mit der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd, pandemiebedingt mit einer kleinen Gruppe von $n = 5$ Lehrkräften und den ersten beiden Sitzungen als Videokonferenz. Die Pilotierung führte zu einer Reihe von Anpassungen für die Planung der Hauptstudie. Nachdem die allgemeine Beteiligung in den Videokonferenzen eher gering ausgefallen war, wurde die Hauptstudie mit entsprechendem Hygienekonzept und in externen Räumlichkeiten ausschließlich in Präsenz geplant. Da der Zeitpunkt der Pilotierung einen Unterrichtseinsatz der AR-Experimente aufgrund des Wechsels vom Distanz zum Präsenzunterricht erschwerte, wurde in der Hauptstudie darauf geachtet, dass sich die Implementationsphase besser mit dem Unterrichtsverlauf vereinbaren lässt. Des Weiteren lagen die fünf Sitzungen in Schwäbisch Gmünd sehr nah beieinander über eine Dauer von zwei Monaten. Um den Zeitaufwand der Lehrkräfte zu entzerren, sollte sich die Hauptstudie daher über einen längeren Zeitraum von einem halben Jahr erstrecken. Zuletzt wurden auch die Wochentage und Uhrzeiten angepasst. Die Workshopsitzungen wurden zudem von drei auf zwei Stunden verkürzt. Die Hauptstudie wurde

schließlich von September 2021 bis März 2022 an der Goethe-Universität Frankfurt durchgeführt. Daran nahmen zu Beginn $n = 20$ Lehrkräfte und Lehrkräfte im Vorbereitungsdienst teil, von denen $n = 15$ bis zum Abschluss blieben.

3. Evaluationsdesign

Die Fortbildung wurde in einem Prä-Post-Design mit Mixed-Methods-Ansatz evaluiert und die Lernprodukte der Teilnehmenden in Form ihrer AR-Experimente durch das Projektteam fachlich eingeschätzt.

Das Modellverständnis der Lehrkräfte wurde vor und nach der Fortbildung qualitativ mithilfe offener Fragen zur Natur und Funktion von Modellen [22] und quantitativ mit Vignettentests [23] erhoben. Dabei wurden für die Auswertung (siehe Abschnitt 4.1) zwei Modellkompetenzsysteme [1; 22] als Vorlage verwendet. Ihre Einstellungen und Vorerfahrungen bezüglich digitaler Medien im Unterricht, speziell mit AR und GeoGebra, wurden ebenfalls quantitativ in einem Fragebogen ermittelt [24]. Während der Implementationsphase wurden zusätzlich semistrukturierte Einzelinterviews mit den Teilnehmenden geführt.

Die Kompetenzen der Lehrkräfte bezüglich der in der Reflexionssitzung demonstrierten AR-Experimente und ihrem Unterrichtseinsatz wurden zudem anhand einer Bewertungsmatrix durch das Projektteam eingeschätzt. Die Matrix beinhaltet fünf verschiedene Kompetenzaspekte zu AR-Experimenten mit jeweils drei Niveaustufen. Die Kompetenzaspekte sind dabei am TPACK-Modell orientiert. Der Aspekt digitale Modellierungskompetenz (TK) wird objektiv anhand der Selbstständigkeit des Modellierungsprozesses festgestellt: Hat die Lehrkraft die Plattform GeoGebra genutzt, um für ihren Unterricht passende Modelle (a) zu suchen und in ihr Profil zu übernehmen, hat sie diese vielleicht noch (b) angepasst, oder hat sie (c) ein Modell von Grund auf selbst erstellt.

Die anderen Aspekte wurden hingegen durch vier Expert*innen des Projektteams individuell auf einer Skala von 1 bis 5 beurteilt. Bei 1, 3 und 5 handelt es sich um Zuordnungen zu den drei definierten Niveaustufen, während 2 und 4 Zwischenstufen darstellen, falls nur ein Teil der Merkmale einer Niveaustufe als erfüllt betrachtet wird. Die beurteilten Aspekte sind an den Modellierungsprozess gekoppelt und beziehen sich daher zum Teil auf die Auswahl bestehender Modelle, sofern diese übernommen und ggf. angepasst wurden.

Dabei handelt es sich um

- a) die inhaltliche Gestaltung des Modells (TCK): Die Lehrkraft hat in ihrem 3D-Modell fachlich korrekte Inhalte und nachvollziehbare Zusammenhänge verarbeitet.

- b) die didaktische Gestaltung (TPK 1): Die Lehrkraft hat auf eine optisch ansprechende Nutzeransicht und eine intuitive Bedienung geachtet.
- c) den didaktischen Einsatz des Modells (TPK 2): Die Lehrkraft hat für den Einsatz im Unterricht ein angemessenes Lernziel formuliert.
- d) die digitale Modellkompetenz (TPACK): Sie verbindet alle vorherigen Aspekte und zeigt, dass die Lehrkraft das reale Experiment durch die modellierten Inhalte mit AR deutlich bereichert hat.

Die Bewertungsmatrix in reduzierter Form wurde den Lehrkräften während der Demonstration auch zur Verfügung gestellt, damit sie die AR-Experimente ihrer Kolleg*innen in Form eines Peer-Feedbacks beurteilen können. Die gegenseitige Einschätzung gibt auch Aufschluss über den eigenen Lernfortschritt und das Verständnis von AR-Experimenten.

4. Ergebnisse

Nachfolgend sollen die Ergebnisse skizziert werden, die nach Abschluss der Fortbildung ausgewertet wurden. Dies schließt sowohl Aussagen und Antworten der Lehrkräfte aus den qualitativen Befragungen als auch ihre (teilweise selbsterstellten) Lernprodukte in Form von AR-Experimenten und das Expert*innenrating ein.

4.1. Ergebnisse der qualitativen Befragungen

Bereits im Rahmen der Pilotierung ließ sich eine Verbesserung der digitalen Kompetenzen zum Modellieren bei den teilnehmenden Lehrkräften feststellen, was sich an der Qualität ihrer (teilweise selbst erstellten) AR-Experimente zeigte und was sie auch mit ihren Aussagen in den Interviews bestätigten. Andererseits zeigte sich durch die qualitativen Fragen zu Modellen, dass – trotz des hohen Anteils an praktischem Modellieren – das theoretische Modellverständnis der Lehrkräfte nicht verbessert werden konnte. Dies wurde anhand der offenen Fragen zur Natur und Funktion von Modellen, sowie zum Verständnis von Werkzeugen zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung deutlich. Als Konsequenz wurde für die Hauptstudie geplant, einen größeren Fokus auf theoretische Modelle zu legen, damit durch die Beschäftigung mit den realen Experimentiermaterialien nicht der Modellaspekt von AR-Experimenten in den Hintergrund rückt.

In der Reflexionssitzung der Hauptstudie zeigte sich, dass ein Großteil der Teilnehmenden ein AR-Experiment im Unterricht einsetzen konnte, wobei jedoch die meisten auf bereits vorhandene 3D-Modelle zurückgegriffen und nur wenige von Grund auf ein eigenes Modell erstellt haben. Dies wurde größtenteils mit einem höheren Arbeitsaufwand begründet, weshalb sich die Lehrkräfte wünschen, dass die erstellten Materialien (der Teilnehmenden und des Projektteams) in einer sortierten Sammlung gebündelt als OER bereitgestellt werden. Die wach-

sende Sammlung ist auf der AG-Homepage (physikexperimentieren.uni-frankfurt.de) unter dem Menüpunkt „Augmented“ zu finden.

Die Rückmeldungen der Schüler*innen waren laut den Berichten der Lehrkräfte überwiegend positiv, insbesondere in den höheren Jahrgängen. Technische Schwierigkeiten wurden vorwiegend aufgrund der Ausstattung an den Schulen oder älterer Mobilgeräte der Lernenden beklagt.

Des Weiteren zeigte sich, dass sich die verschiedenen Themenbereiche der Physik unterschiedlich gut für die 3D-Modellierung in den AR-Experimenten eignen. Während das Gebiet der Optik großes Potential bietet, sei den Lehrkräften und Schüler*innen beispielsweise in der Mechanik der Mehrwert 3D-modellierter Kraftvektoren in AR gegenüber klassischen Zeichnungen oder Simulationen nicht direkt ersichtlich. Dieser sollte daher für eine Förderung der Modellkompetenz im Unterrichtseinsatz deutlicher herausgearbeitet und auch mit den Lernenden diskutiert werden.

Aus den Antworten der Lehrkräfte auf die offenen Fragen im Prä- und Posttest ergibt sich eine verbesserte Modellkompetenz. Die Anzahl an als korrekt eingeschätzten Antworten zur Natur und Funktion von Modellen erhöhte sich nach Abschluss der Intervention. Insbesondere die vermehrte Nennung von Idealisierungen als ein Aspekt des Modellierens ist vermutlich auch auf den Inputvortrag zu diesem Thema zurückzuführen.

4.2. Beispielhafte Lernprodukte

Die Lehrkräfte erhielten während der Workshop-Phase die Möglichkeit, angeleitet AR-Experimente für den Unterricht vorzubereiten. Dabei erhielten sie detaillierte Schritt-für-Schritt-Anleitungen in einer interaktiven Lerneinheit, welche ihnen von Grund auf die Fähigkeiten zum Erstellen von 3D-Modellen in GeoGebra vermitteln sollten. Dennoch wurde nicht vorausgesetzt, dass alle Teilnehmenden ein vollständig selbsterstelltes AR-Experiment im Unterricht einsetzen. Mit bereits existierenden 3D-Modellen wurde ihnen eine breite Auswahl an Themen bereitgestellt und damit die Möglichkeit gegeben, vorhandene AR-Experimente (ggf. angepasst) zu verwenden. Dies konnten sie von ihrer individuell verfügbaren Zeit und den eigenen Fähigkeiten abhängig machen. Im Folgenden werden zwei AR-Experimente von Lehrkräften vorgestellt. Diese wurden aufgrund ihrer positiven Bewertungen sowohl im Peer- als auch im Expert*innenrating ausgewählt und entstammen zwei verschiedenen Themengebieten der Physik. Zudem unterscheiden sie sich in ihrem Grad an Selbstständigkeit im Modellierprozess.

Abb. 3 und 4 zeigen ein von Grund auf selbsterstelltes AR-Experiment (TK Stufe 5 auf der Skala von 1 bis 5) zur Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons mit dem Fadenstrahlrohr, das von einer teilnehmenden Lehrkraft allerdings aus unterrichts-

praktischen Gründen bis zur Reflexionssitzung noch nicht eingesetzt werden konnte. Geplant war die Implementation als Demonstrationsexperiment in der Oberstufe.

Die inhaltliche Gestaltung des Modells (TCK) erscheint auf den ersten Blick gut bis sehr gut (im Rating überwiegend Stufe 4 oder 5), denn die relevanten fachlichen Inhalte sind korrekt verarbeitet. Allerdings zeigt sich anhand der algebraischen Befehle, die zur Konstruktion verwendet wurden, dass das Modell nicht physikalisch, sondern nur graphisch modelliert wurde. Damit lässt es sich nur schwer an das reale Experiment anpassen, dessen Gegebenheiten zudem häufig variieren.

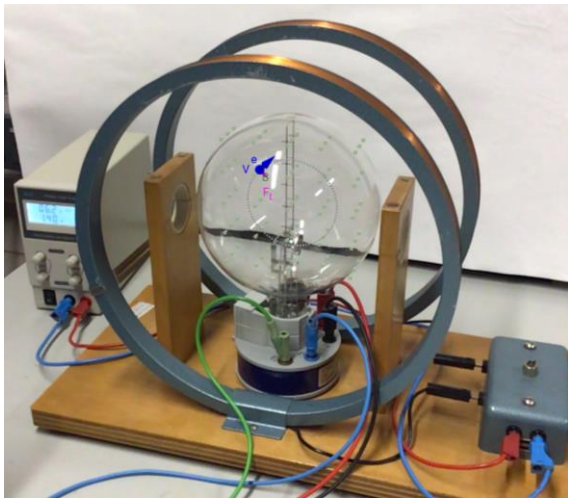


Abb. 3: Selbsterstelltes AR-Experiment einer teilnehmenden Lehrkraft zum Fadenstrahlrohr, gesehen durch die Kamera eines Tablets.

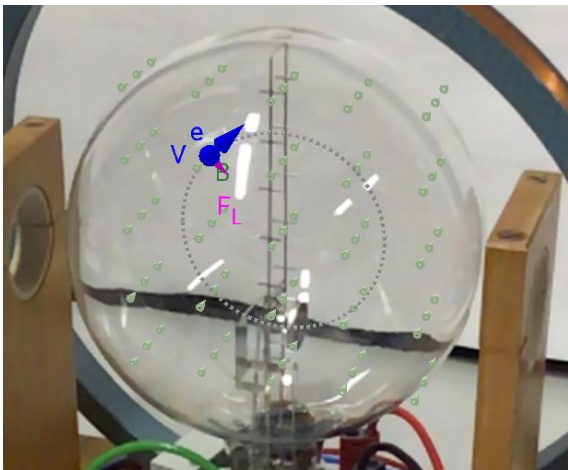


Abb. 4: Detailansicht des AR-Experiments zum Fadenstrahlrohr.

Die didaktische Gestaltung kann ebenfalls größtenteils überzeugen (TPK 1 überwiegend Stufe 4 oder 5). Dabei wird bemängelt, dass einige Beschriftungen nicht gut sichtbar seien (siehe Abb. 4), doch für den Einsatz als Demonstration könne die Verständlichkeit gewährleistet werden. Aufgrund des nicht erfolgten Einsatzes des AR-Experiments wurde die

technologisch-pädagogische Kompetenz der Lehrkraft (TPK 2) in diesem Fall nicht bewertet.

Auch die Bewertung der digitalen Modellkompetenz der Lehrkraft ist überwiegend positiv (TPACK Stufe 4 oder 5). Dafür spricht neben den modellierten Objekten, welche Unsichtbares sichtbar machen, auch die eigene Idee, das reale Experiment am Fadenstrahlrohr zu erweitern. Als klassischer Demonstrationsversuch stößt dieses im Unterricht normalerweise an die Grenze, dass in einer hellen Umgebung der Elektronenstrahl nicht mehr gut sichtbar ist. Dort kann die modellierte Elektronenbahn mit AR eine virtuelle Ergänzung bieten.

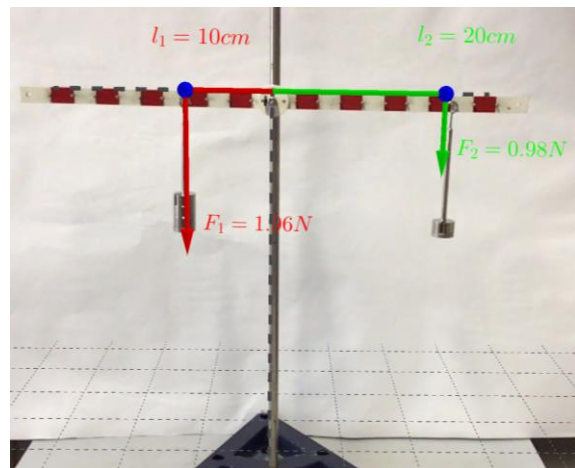


Abb. 5: Angepasstes AR-Experiment einer teilnehmenden Lehrkraft zum Hebelgesetz, gesehen durch die Kamera eines Tablets.

Eine andere Lehrkraft entschied sich, ein bestehendes Modell zum Hebelgesetz (siehe Abb. 5) an die Gegebenheiten in der Schule anzupassen (TK Stufe 3) und dieses im Unterricht in der 9. Klassenstufe als Gruppenarbeit einzusetzen.

Die TCK der Lehrkraft wird hierbei als sehr hoch eingeschätzt (Stufe 5), das Modell ist inhaltlich korrekt und nachvollziehbar (um)gestaltet worden. Auch die didaktische Gestaltung (TPK 1) kann überzeugen. Der didaktische Einsatz (TPK 2) dagegen wird überwiegend im mittleren Bereich (Stufe 2 oder 3) eingeschätzt, da der Mehrwert des AR-Experiments im Unterricht nur implizit vermittelt worden scheint: Die berichteten Lernziele „Verständnisförderung“ und „Anschaulichkeit“ heben nicht den besonderen Charakter eines AR-Experiments hervor. Insgesamt wird die digitale Modellkompetenz (TPACK) der Lehrkraft dennoch überwiegend als gut bis sehr gut eingeschätzt (Stufe 4), da der Unterrichtseinsatz grundsätzlich funktionieren kann.

4.3. Expert*innenrating der AR-Experimente

Die Bewertungsmatrix, die dem Rating zugrunde liegt und im vorherigen Abschnitt 4.2 an zwei AR-Experimenten der Lehrkräfte exemplarisch vorgestellt wurde, dient dem Rating der Kompetenz der Teilnehmenden. Tab. 1 zeigt eine Übersicht über die

Einschätzung der vier Kompetenzaspekte für jedes der neun erstellten und z.T. eingesetzten AR-Experimente. Diese basiert auf dem individuellen Rating durch vier Expert*innen aus der Physikdidaktik. Die beiden ersten AR-Experimente konnten bis zum Abschluss der Fortbildung nicht im Unterricht erprobt werden und es wurde daher die TPK dieser beiden Lehrkräfte nicht bewertet (n.b.).

	TCK	TPK 1	TPK 2	TPACK
Schiefe Ebene	4	2	n.b.	4
Fadenstrahlrohr	5	5	n.b.	4
Fermat'sches Prinzip	4	4	3	4
Hebel 1	5	5	3	4
Hebel 2	5	5	2	4
Hebel 3	5	5	3	4
Leiterschaukel 1	3	5	5	5
Leiterschaukel 2	5	4	4	5
Schatten	5	5	3	4

Tab. 1: Übersicht über die bewerteten Kompetenzaspekte der AR-Experimente der teilnehmenden Lehrkräfte.

Bereits auf den ersten Blick lässt sich ein hoher Anteil an grünen Feldern feststellen, die für das höchste Kompetenzrating (Stufe 4 oder 5) stehen. Besonders in den Kompetenzaspekten TCK und TPK 1, also die fachliche und didaktische Gestaltung der Modelle, fallen die Ergebnisse überwiegend sehr gut aus. Auch wenn nur drei Lehrkräfte ihre Modelle von Grund auf selbst entwickelt haben, wird bei den anderen Lehrkräften die erfolgreiche Suche nach einem passenden bestehenden Modell für ihren Unterricht gewürdigt. Dennoch ist anzumerken, dass der Aspekt TPK 2 (didaktischer Einsatz) den geringsten Anteil an hohen Bewertungen enthält. Dies wird im nachfolgenden Abschnitt 5 diskutiert.

Die Einschätzung der AR-Experimente durch die fachdidaktischen Expert*innen zeigt eine Übereinstimmung mit dem Peer-Feedback, welches die Lehrkräfte einander in der Reflexionssitzung mithilfe des Bewertungsbogens gaben. Insgesamt fielen die durchschnittlichen Punktzahlen dort zwar höher aus als im Expert*innenrating, doch die Platzierungen sind sehr ähnlich. Auch im Peer-Rating finden sich die niedrigsten Bewertungen im Aspekt TPK 2 wieder, welcher in mehreren Fällen von den Lehrkräften gar nicht bewertet wurde. Mögliche Gründe für diesen Umstand werden ebenfalls im Folgenden diskutiert.

5. Diskussion

Bei der Einschätzung der AR-Experimente der Lehrkräfte handelt es sich um ein reines Expert*innenrating, welches nur von den Mitgliedern des Projekts „diMEx“ aus der Physikdidaktik angewendet wurde, die die Fortbildung konzipiert und durchgeführt haben. Daher sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Matrix für den Einsatz durch ex-

terne Ratingpersonen einer entsprechenden Schulung bedarf, um die Kriterien für gute AR-Experimente genau zu kennen. Die Übereinstimmung der Ergebnisse im Peer-Feedback mit dem Expert*innenrating deutet auf die Reliabilität der entwickelten Bewertungsmatrix hin. Auch wenn das Expert*innenrating insgesamt kritischer ausfällt, zeichnet sich eine klare Tendenz durch die Platzierungen der einzelnen AR-Experimente ab.

Die Einschätzungen der Kompetenzaspekte zwischen den Expert*innen aus der Physikdidaktik, die das Rating vorgenommen haben, weichen vereinzelt voneinander ab. Dies lässt sich einerseits mit Interdependenzen der Aspekte begründen, da die digitale Modellkompetenz (TPACK) und der didaktische Einsatz (TPK 2) oft voneinander abhängen. Doch auch ohne den tatsächlichen Einsatz des AR-Experiments kann eine digitale Modellkompetenz der Lehrkraft festgestellt werden, da auch die gestalterischen und inhaltlichen Aspekte des Modells eine Rolle spielen. Zuletzt sei angemerkt, dass die bestehenden Modelle, welche einige Lehrkräfte für ihren Unterricht ausgewählt und teilweise angepasst haben, von einem der Experten selbst stammen. Hier ist daher eine besondere Auseinandersetzung mit den inhaltlichen und gestalterischen Aspekten gegeben, welche sich von den anderen Expert*innen im Rating abhebt.

Die insgesamt niedrigeren Einschätzungen der TPK 2 der Lehrkräfte, die ein AR-Experiment im Unterricht eingesetzt haben, bedarf einer kritischen Auseinandersetzung mit dem Inhalt der Fortbildung. Diese war stark auf das Erstellen der 3D-Modelle und die Grundlagen von GeoGebra fokussiert, sodass der eigentliche Unterrichtseinsatz nicht deutlich thematisiert wurde. Auch in den Rückmeldungen der Lehrkräfte äußert sich der Wunsch, sie auf dem Weg zur Implementation stärker zu begleiten. Daher sollte die didaktische Vorbereitung darauf bei zukünftigen Formaten berücksichtigt werden.

Die Lehrkräfte konnten für das Peer-Feedback den Unterrichtseinsatz (TPK 2) nur anhand der kurzen Berichte ihrer Kolleg*innen während der Reflexionssitzung bewerten. Das Implementationstagebuch, welches jeweils direkt nach dem Einsatz des AR-Experiments ausgefüllt wurde, sowie die Aussagen in den Einzelinterviews standen ihnen nicht zur Verfügung. Dies könnte erklären, weshalb in mehreren Fällen der Aspekt TPK 2 nicht bewertet wurde. Zudem konnten sie die Modelle nicht detailliert untersuchen, da die AR-Experimente ihnen zwar live demonstriert wurden, jedoch ohne dabei das 3D-Modell genau zu analysieren. Daher ist für die Lehrkräfte insbesondere der TCK-Aspekt schwieriger zu bewerten, welcher auch die Zusammenhänge der in GeoGebra modellierten Größen einbezieht.

Insgesamt zeigt sich die Wirksamkeit der Fortbildung bezüglich Modellkompetenz und der digitalen Modellierungskompetenz der teilnehmenden Lehr-

kräfte in den qualitativen Aussagen und den Lernprodukten. Auch die individuellen Rückmeldungen der Lehrkräfte in den Interviews und in der Reflexionssitzung waren überwiegend positiv, jedoch wurde der Vorschlag geäußert, die Fortbildungsstruktur zukünftig an die schulischen Verpflichtungen der Lehrkräfte anzupassen. Eine mehrtägige Blockveranstaltung könnte eine Alternative zu den über ein Halbjahr verteilten Workshops darstellen.

6. Ausblick

Ein halbes Jahr nach Abschluss der Fortbildung, nach Beginn des neuen Schuljahrs, sollen im Herbst 2022 die Lehrkräfte im Rahmen einer Follow-up-Untersuchung erneut interviewt werden. Zu diesem Zeitpunkt sollen die Entwicklungen bezüglich des Einsatzes von AR im Unterricht untersucht werden, um die Nachhaltigkeit der Fortbildung zu überprüfen.

Für die Vernetzung aller drei Phasen der Lehrkräftebildung wird an der Goethe-Universität Frankfurt mit dem Schwesterprojekt „WARP-P“ das Konzept der AR-Experimente auf das Lehramtsstudium ausgeweitet. Hierbei werden in einem Elektrizitätslehre-Laborpraktikum für Haupt- und Realschullehramtsstudierende klassische Praktikumsversuche zu AR-Experimenten transformiert. Die Durchführung wird durch summatives Feedback begleitet und die Motivation und Einstellungen der Studierenden werden evaluiert. Langfristig sollen die Erkenntnisse aus der Fortbildung und dem Laborpraktikum dazu genutzt werden, das Erstellen und den Einsatz von AR-Experimenten in Form eines Seminarkonzepts curricular in der ersten Phase der Lehrkräfteausbildung zu verankern.

7. Literatur

- [1] Upmeyer zu Belzen, Annette; Krüger, Dirk (2010): Modellkompetenz im Biologieunterricht. In: *ZfDN*, 16, S. 41–57.
- [2] Mahr, Bernd (2015): Modelle und ihre Befragbarkeit: Grundlagen einer allgemeinen Modelltheorie. In: *Erwägen Wissen Ethik*, 26, 3, S. 329–342.
- [3] KMK (Hrsg.) (2005): Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). München, Neuwied: Luchterhand. URL: <https://www.kmk.org/themen/qualitaetssicherung-in-schulen/bildungsstandards.html> (Stand 5/2022).
- [4] Krüger, Dirk; Kauertz, Alexander; Upmeyer zu Belzen, Annette (2018): Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In: Krüger, Dirk; Parchmann, Ilka; Schecker, Horst (Hrsg.): *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 141–157.
- [5] Fruböse, Christian (2010): Der ungeliebte Physikunterricht. Ein Blick in die Fachliteratur und einige Anmerkungen aus der Praxis. In: *MNU*, 63, 7, S. 388–392.
- [6] Gilbert, John K.; Justi, Rosária (2016): *Modeling-based Teaching in Science Education*. Cham: Springer.
- [7] Mikelskis-Seifert, Silke; Thiele, Marco; Wünsch, Thilo (2005): Modellieren - Schlüssel-fähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. In: *PhyDid A – Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1, 4, S. 30–46.
- [8] Gobert, Janice D. et al (2011): Examining the Relationship Between Students' Understanding of the Nature of Models and Conceptual Learning in Biology, Physics, and Chemistry. In: *International Journal of Science Education* 33, 5, S. 653–684.
- [9] Oh, Phil Seok; Oh, Sung Jin (2011): What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. In: *International Journal of Science Education*, 33, 8, S. 1109–1130.
- [10] Rönnebeck, Silke; Bernholt, Sascha; Ropohl, Mathias (2016): Searching for a common ground – A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. In: *Studies in Science Education*, 52, 2, S. 161–197.
- [11] Winkelmann, Jan; Freese, Mareike; Strömmer, Tim (2022): Schwierigkeitserzeugende Merkmale im Physikunterricht – Die Perspektive von Schüler*innen. In: *Progress in Science Education*, 5, 2, S. 6–23.
- [12] Carmigniani, Julie; Furht, Borko (2011): *Augmented Reality: An Overview*. In: Furht, Borko (Hrsg.): *Handbook of Augmented Reality*. New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer, S. 3–46.
- [13] Altinpulluk, Hakan (2019): Determining the trends of using augmented reality in education between 2006–2016. In: *Education and Information Technologies*, 24, S. 1089–1114.
- [14] Teichrew, Albert; Erb, Roger (2020): *Augmented Reality-Experimente mit GeoGebra*. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1 (2020), S. 361–367.
- [15] Sweller, John; Ayres, Paul; Kalyuga, Slava (2011): *Cognitive Load Theory*. Dordrecht: Springer.
- [16] Radu, Iulian (2014): Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. In: *Personal and Ubiquitous Computing*, 18, 6, S. 1533–1543.
- [17] Mishra, Punya; Koehler, Matthew J. (2006): Technological pedagogical content knowledge: A framework for integrating technology in teacher knowledge. In: *Teachers College Record*, 108, 6, S. 1017–1054.
- [18] Redecker, Christine; Punie, Yves (2017): *DigCompEdu: European Framework for the*

Digital Competence of Educators. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107466> (Stand 5/2022).

- [19] Becker, Sebastian et al. (2020): DiKoLAN: Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. URL: <https://www.dikolan.de/> (Stand 5/2022).
- [20] Freese, Mareike et al. (2021): Nutzung von und Einstellungen zu Augmented Reality im Physikunterricht. In: Habig, Sebastian (Hrsg.): Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik 2020, S. 390–393.
- [21] Lipowsky, Frank (2004): Was macht Fortbildungen für Lehrkräfte erfolgreich? Befunde der Forschung und mögliche Konsequenzen für die Praxis. In: Die deutsche Schule, 96, 4, S. 462–479.
- [22] Windschitl, Mark; Thompson, Jessica (2006): Transcending Simple Forms of School Science Investigation: The Impact of Preservice Instruction on Teachers' Understandings of Model-Based Inquiry. In: American Educational Research Journal, 43, 4, S. 783–835.
- [23] Billion-Kramer; Tim, Lohse-Bossenz, Hendrik; Rehm, Markus (2020): Vignetten zum Modellverständnis – eine Chance für die Lehrerbildung in den naturwissenschaftlichen Fächern. In: Friesen, Marita E. et al. (Hrsg.): Vignettenbasiertes Lernen in der Lehrerbildung – Fachdidaktische und pädagogische Perspektiven. Weinheim: Beltz Juventa, S. 138–152.
- [24] Vogelsang, Christoph; Finger, Alexander; Laumann, Daniel (2019): Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: ZfDN, 25, S. 115–129.

Förderung

Das Projekt „diMEx – Digitale Kompetenz beim Modellieren und Experimentieren im Physikunterricht“ wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.