

## Akzeptanzbefragung zu Augmented Reality-Experimenten auf dem Spielplatz

Jelka Weber\*, Albert Teichrew\*

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

### Kurzfassung

Bei der Vermittlung physikalischer Inhalte und naturwissenschaftlicher Forschungsprozesse spielt die Verknüpfung von Theorie und Experiment zur Erklärung physikalischer Phänomene eine bedeutende Rolle. Der Einsatz einer Geometrie-Software wie *GeoGebra* stellt ein einfaches Werkzeug zur Visualisierung physikalischer Modelle in Form dynamischer Konstruktionen dar. Mit dem *GeoGebra 3D Rechner* lassen sich mithilfe von Augmented Reality (AR) reale Situationen mit den Konstruktionen überlagern, sodass Konzept und Beobachtung intuitiv miteinander verglichen werden können. In dem Beitrag wird das Potential der Verknüpfung von Modell und Experiment behandelt. Dazu wurden verschiedene Modelle und zugehörige Lerneinheiten für den Einsatz von AR-Experimenten auf dem Spielplatz konzipiert. Im Rahmen einer Akzeptanzbefragung mit zwei Schüler\*innengruppen wurde an diesem Beispiel untersucht, inwiefern sich die Durchführung von AR-Experimenten als lernförderliches Instrument im Physikunterricht eignet.

### 1. Hintergrund

Die Mechanik könnte als leichtes, da alltagsnahes Themengebiet des Physikunterrichts angesehen werden. Doch gerade die Nähe zum Alltag und die vermeintlich leichte Zugänglichkeit des Themas führen zu häufig übersehenen Lernschwierigkeiten (Schecker & Wilhelm, 2018, S. 64). In diesen Fällen könnte die Gegenüberstellung von auf physikalischen Prinzipien basierenden abstrakten Modellen, die die naturwissenschaftliche Sichtweise repräsentieren, und den mit Alltagsvorstellungen behafteten realen Situationen hilfreich sein.

Mithilfe der Dynamische-Geometrie-Software (DGS) *GeoGebra* lassen sich naturwissenschaftliche Ideen und Konzepte durch dynamische Modelle visualisieren (vgl. Erb & Teichrew, 2020). Die Augmented Reality (AR) Funktion der App *GeoGebra 3D Rechner* erlaubt es zudem die Sicht auf eine reale Umgebung auf dem Bildschirm eines Smartphones oder Tablets mit den dynamischen Modellen in Echtzeit zu überlagern. Die virtuellen 3D-Objekte können in Größe und Position an die jeweils beobachtete Situation angepasst werden und behalten diese bei. Auf diese Weise ist es möglich, sie auf dem Bildschirm von allen Seiten und aus unterschiedlicher Entfernung zu betrachten, als seien sie in der realen Umgebung vorhanden. Dadurch können reale Experimente mit nicht sichtbaren physikalischen Konzepten wie z.B. Kraftpfeilen erweitert werden, die zum Verständnis des Experiments beitragen (s. z.B. Abb.1).

Der Einsatz einer solchen Überlagerung von Modell und Versuchsaufbau während der Durchführung eines Experiments wird AR-Experiment genannt (vgl. Teichrew & Erb, 2020a, 2020b). AR-Experi-

mente bieten Lernenden gleichzeitig ein realistisches Abbild des Experiments durch die Kamera und die geometrische Repräsentation desselben durch die Modelldarstellung. Es sollte jedoch zuvor eine Auseinandersetzung mit dem dynamischen Modell ohne Überlagerung stattfinden, um im Vorfeld im Experiment überprüfbare Aussagen zu formulieren (vgl. Teichrew & Erb, 2019). In einem alternativen Setting könnte die Überlagerung allerdings auch den Aufbau und die Durchführung des Experiments erleichtern, indem bestimmte Positionen, Winkel oder Größenverhältnisse im Modell vorgegeben oder mit dem Modell gemessen werden. Während der Durchführung besteht die Möglichkeit, Ergebnisse durch Bildschirmaufnahmen zu dokumentieren, sodass sie auch im Nachhinein nachvollzogen oder diskutiert werden können.

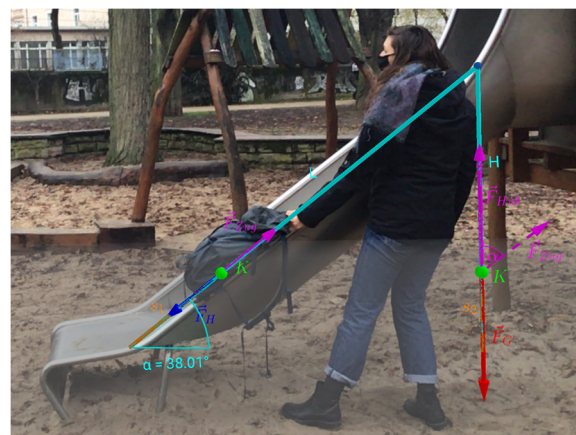


Abb.1: Bildschirmaufnahme während des AR-Experiments an der Rutsche

Vor diesem Hintergrund wurden an unterschiedlichen Spielplatzgeräten Phänomene identifiziert, die

sich für den Einsatz eines AR-Experiments eignen, und entsprechende Lerneinheiten zur Durchführung auf dem Spielplatz entwickelt:

- Kraftersparnis an der Rutsche
- Gleichgewichtszustand an der Wippe
- Beschleunigung an der Schaukel
- Kräfte am Karussell

Grundsätzlich lassen sich AR-Experimente eher auf statische Phänomene anwenden, da AR mit *GeoGebra* nicht auf die Überlagerung von Bewegungen – etwa einer rutschenden, wippenden oder schaukelnden Person – mit zeitabhängigen Simulationen ausgelegt ist. Dennoch lassen sich AR-Experimente (und entsprechende Lerneinheiten) konzipieren, die anhand von statischen Messungen ein vertieftes Verständnis der Spielplatzgeräte und der jeweils zugrundeliegenden physikalischen Konzepte fördern und fördern. So kann die Rutsche als schiefe Ebene betrachtet werden, an der ein Objekt gehalten oder heraufgezogen wird. An der Wippe als Hebel können im AR-Experiment die Bedingungen für den Gleichgewichtszustand untersucht werden. An der Schaukel kann die für eine Pendelbewegung essenzielle rückwirkende Kraft in Abhängigkeit der Auslenkung bestimmt werden. Am Karussell wird die Kraft untersucht, die notwendig ist, um sich in verschiedenen Entfernungen von der Drehachse auf der rotierenden Scheibe zu halten. Im Zentrum jeder der im Rahmen des Projekts entwickelten Lerneinheiten steht eines dieser Phänomene, das am jeweiligen Spielplatzgerät mit dem dafür entwickelten dynamischen Modell untersucht wird (s. Tab.1).

Gerät	Phänomen	Modell
Rutsche	Anstrengung beim Anheben eines Körpers und beim Hochziehen an der Rutsche vergleichen.	Kräfte an der schiefen Ebene
Wippe	Gleichgewichtszustand mit zwei Körpern unterschiedlicher Masse an der Wippe herstellen.	Kräfte und Abstände am Hebel
Schaukel	Startbeschleunigung bei großer und kleiner Auslenkung der Schaukel vergleichen.	Rücktreibende Kraft am Pendel
Karussell	Anstrengung, um sich auf dem Karussell zu halten, bei großen und kleinen Abständen zum Drehmittelpunkt vergleichen.	Zentripetalkraft bei der Kreisbewegung

**Tab.1:** Übersicht über die behandelten Phänomene und Modelle an verschiedenen Spielplatzgeräten

Die entwickelten AR-Experimente stellen den Versuch dar, Theorie und Experiment, Modell und empirisch überprüfbar Realität direkt miteinander zu verknüpfen. Durch die eigenständige Durchführung der Experimente am Spielplatz soll zum einen die

mentale Aktivität der Lernenden gefordert, zum anderen eine Situation hergestellt werden, in welcher der Lerngegenstand für sie tatsächlich eine Rolle spielt.

In der vorgestellten Studie wurde untersucht, ob die Lernenden ihr Verständnis der zugrundeliegenden mechanischen Zusammenhänge durch die Verknüpfung von Modell und Experiment im Rahmen der Lerneinheiten erweitern oder festigen können (FF1). Des Weiteren ging es darum herauszufinden, inwiefern Modelle als Visualisierungen physikalischer Konzepte bzw. die Überlagerung realer Spielplatzgeräte in AR-Experimenten von den Lernenden als Lernwerkzeuge betrachtet werden (FF2).

## 2. Methode

Weder die Durchführung von Experimenten noch der Einsatz von dynamischen Modellen garantieren von sich aus Lernerfolg. Die erfolgreiche Verknüpfung von Modell und Realität mithilfe des Einsatzes von AR mit *GeoGebra* am außerschulischen Lernort setzt eine angemessene Unterrichtsstruktur voraus. Anhand verschiedener Ziele des Experimentierens im Physikunterricht sowie dem Modell als (mentale) Rekonstruktion der Natur schlagen wir mit dem Kreislauf der Erkenntnisgewinnung eine Strukturhilfe für geeignete Lernumgebungen vor (Teichrew & Erb, 2020c). Im Vorfeld der Durchführung eines (AR-)Experiments setzen sich die Lernenden zunächst mit dem betrachteten Phänomen, dessen physikalischen Modell, der Bildung von Hypothesen anhand dieses Modells sowie der adäquaten Konzeption des Experiments auseinander.

Die in der Studie eingesetzte Methode der Akzeptanzbefragung geht auf Jung und Wiesner zurück (vgl. Jung, 1992; Wiesner & Wodzinski, 1996). Es handelt sich um eine qualitative fachdidaktische Methode, bei der untersucht werden soll, wie gut ein Lernkonzept und die dafür entwickelten Lernmedien von den Proband\*innen angenommen werden und die Erklärung, die sie für komplexe fachwissenschaftliche Phänomene bereithalten, akzeptiert wird. Durch in die Lerneinheit integrierte, methodisch vorstrukturierte Befragungsphasen wird evaluiert, ob die Lernenden das Angebot verstehen, es für eigene Erklärungen nutzen sowie auf weitere Fragestellungen anwenden können. Ist dies der Fall, kann von einer Akzeptanz des Angebots gesprochen werden. Das Setting für eine solche Akzeptanzbefragung ist klassischerweise ein sogenanntes *teaching experiment*, in dem die fachliche Instruktion und die Analyse der Schüler\*innenreaktionen unmittelbar miteinander verbunden sind. Lehrer\*in und Forscher\*in sind im *teaching experiment* ein und dieselbe Person. Parallel zur Vermittlung des Ansatzes geht es darum herauszufinden, inwiefern das zu erprobende Konzept sich in Bezug auf das Ziel der Sitzung als lernförderlich herausstellt, bzw. welche Aspekte auf den Widerstand der Lernenden stoßen.

In der vorgestellten Studie bekamen die Schüler\*innen bei der gemeinsamen Durchführung der Lerneinheit an der Rutsche zunächst die Möglichkeit, das im Modell präsentierte mechanische Konzept zur Deutung des Phänomens und den Umgang mit der AR-Funktion kennenzulernen, bevor sie das AR-Experiment an der Wippe nach demselben Schema selbst durchführten. Die Lernverläufe wurden jeweils mit zwei Gruppen à drei Schüler\*innen der 10. Klasse eines Frankfurter Gymnasiums untersucht, die sowohl die schiefe Ebene als Kraftwandler als auch verschiedene Hebelsysteme einige Wochen zuvor im Physikunterricht behandelt hatten und sich zudem durch eher überdurchschnittliche Leistungen im Fach Physik auszeichnen.

Zur Beantwortung von FF1 wurden die Phänomene an Rutsche und Wippe jeweils in einer festgelegten Abfolge von Befragungs-, Modellierungs- und Experimentierphasen behandelt. Nach jedem Schritt des AR-Experiments wurden die Schüler\*innen dazu aufgefordert, das Phänomen in eigenen Worten zu beschreiben und zu erklären:

- A) nach der Beobachtung des Phänomens
- B) nach der Beschäftigung mit dem Modell (ohne Überlagerung)
- C) nach dem Experimentieren (mit Überlagerung)

Teilweise wurden sie durch offene Fragen auch während des Experimentierens dazu angeregt, laut zu denken.

Im Anschluss an beide AR-Experimente folgte zur Beantwortung von FF2 eine Reflexion des Modells mit und ohne Überlagerung, die sich an den folgenden Reflexionsfragen orientierte:

- Kannst du in eigene Worte fassen, was im Experiment zu sehen ist und wie das mit dem Modell zusammenhängt?
- Welche Objekte sind nur im Modell zu sehen, nicht in der Realität? Helfen sie dir, das Phänomen besser zu verstehen?
- Was hat dir am AR-Experiment im Vergleich zu einem ähnlichen Experiment ohne AR besonders gefallen?
- Was hat dir am AR-Experiment im Vergleich zu einem ähnlichen Experiment ohne AR nicht so gut gefallen?

Bei den Daten handelt es sich um Tonaufnahmen, die „systematisch, regel- und theoriegeleitet“ mit der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet wurden, um eine größtmögliche Objektivität, Reliabilität und Validität der Ergebnisse gewährleisten zu können (Krüger & Riemeier, 2014, S. 133f). Die Auswertung erfolgte schrittweise: Im Anschluss an die wortgetreue Transkription der Aufnahmen wurden die Aussagen in einer ersten sprachlichen Glättung redigiert. Daraufhin wurden die Aussagen zunächst geordnet (A, B, C bzw. Reflexion des Modells oder Reflexion der Überlagerung) und dann

paraphrasiert. Im letzten Schritt wurde einerseits das fachliche Niveau der vorhandenen Paraphrasen zum Phänomen in vier Stufen von niedrig (0) bis hoch (3) eingeschätzt. Andererseits wurden aus den Paraphrasen der Reflexion einzelner Schüler\*innen generalisierte Kernaussagen als induktive Kategorien gebildet (s. z.B. Tab.2).

	<b>Aussage (Zeilennummern im Transkript)</b>	<b>Paraphrase (Niveau bzw. Kernaussage)</b>
	<b>A</b> Die Tasche wird von Kräften Richtung Boden gezogen. Wenn man schräg nach oben zieht, wird die Tasche entlastet und es ist leichter, die Tasche hochzuziehen (4-11).	Die Gewichtskraft muss überwunden werden. Es kommt auf den Winkel an (1).
	<b>B</b> Die Rutsche ist eine schiefe Ebene. Das heißt, dass die Tasche von verschiedenen Kräften beeinflusst wird. Einmal wird die Tasche parallel zur Ebene nach unten gezogen. Durch die Erdanziehungskraft wird sie gerade nach unten, Richtung Boden gezogen. Dann hat die Tasche auch noch ein eigenes Gewicht (14-22).	Es gibt eine Normalkraft und die Gewichtskraft (2).
	<b>C</b> Die Abweichungen könnten von Reibungskräften kommen. Wenn Tim die Tasche hochzieht, herrscht da natürlich auch noch ein Widerstand zwischen der Tasche und der Rutsche (24-44).	In der Realität gibt es Reibungskräfte, die im Modell nicht berücksichtigt wurden (3).
<b>Reflexion des Modells</b>	Durch das Modell wird verdeutlicht, welche Kräfte zu sehen sind und wo sie hingehen, wenn der Körper an einer bestimmten Stelle ist (14-22).	Die Visualisierung der Kräfte hilft dem Verständnis über die Kräfte in der Situation (Das Modell hilft beim Verständnis des Phänomens).
	Wenn wir das neu lernen würden, würde das Modell helfen, eine bildliche Vorstellung zu bekommen (46-55).	Es baut sich eine bildliche Vorstellung auf (Die Darstellung baut ein mentales Modell auf).
	Wenn man neu anfängt, mit dem Thema, ist das im Modell viel simpler und besser dargestellt (233-265).	Bessere Darstellung des Fachinhalts im Modell (Das Modell zeigt Fachinhalte auf).
<b>Reflexion der Überlagerung</b>	Ich finde, durch das Modell wird einfach viel deutlicher, wo der Körper hinmuss und wo die Kräfte zutreffen. Und dass man dann direkt das Ergebnis hat, finde ich auch gut. [Die Kräfte] sind im Modell zu sehen, aber nicht in der Realität (24-44).	Überlagerung mit unsichtbaren Objekten macht das Phänomen verständlich (Die Überlagerung hilft beim Verständnis des Phänomens).
	[Die Überlagerung] würde helfen, weil man dann einfach ein alltägliches Beispiel hat (46-55). Und man hat durch die Überlagerung direkt praktische Beispiele. So kann man das Modell gleich in der Realität verwerten (233-265).	Alltagsbezug des Modells durch praktische Beispiele (Es wird ein direkter Alltagsbezug hergestellt).

**Tab.2:** Redigierte Aussagen von Emil und Paraphrasen zum Phänomen an der Rutsche und aus der Reflexion

Da sich jeweils drei Schüler\*innen mehrfach zu demselben Phänomen äußern konnten, wurde bei der Einschätzung des fachlichen Niveaus folgendes Vorgehen gewählt: Nach der Ersteinschätzung der Aussagen zum Phänomen (A), wurde in den nachfolgenden Phasen (B und C) geprüft, ob elaboriertere fachliche Aussagen hinzugekommen sind, was zu einer Einschätzung auf einem höheren Niveau führen würde. Wurden Aussagen auf demselben Niveau wiederholt, dann verblieb die Person bei der vorherigen Einschätzung. Hat sich die Person in einer Phase nicht mehr geäußert, da z.B. andere Schüler\*innen bereits viele Gedanken geäußert haben, dann führte das nicht automatisch zu einer negativen Einschätzung, sondern wurde lediglich mit „keine Äußerung“ vermerkt. Ausdrückliche Widersprüche zu vorher getätigten Aussagen, die zu einer niedrigeren Einschätzung des fachlichen Niveaus geführt hätten, konnten nicht beobachtet werden.

### 3. Ergebnisse

Anhand einer summativen Evaluation der Äußerungen der sechs Schüler\*innen lassen sich Ergebnisse formulieren, was die Entwicklung des Verständnisses der zugrundeliegenden mechanischen Zusammenhänge im Laufe der durchgeführten AR-Experimente angeht (FF1). Tabelle 3 zeigt die Einschätzung des fachlichen Niveaus der Äußerungen der sechs Schüler\*innen zu den Phänomenen an der Rutsche und an der Wippe in den verschiedenen Phasen des AR-Experiments in Rot (0/niedrig), Gelb (1), Hellgrün (2) und Dunkelgrün (3/hoch) bzw. in Grau, wenn keine Äußerung vorlag.

		Emil	Jona	Tim	Lea	Martha	Sonia	Σ
Rutsche	A	1	0	1	2	2	1	
	B	+	+	1	2	1	+	+3
	C	+	1	1	1	+	1	+2
Wippe	A	1	2	1	2	1	1	
	B	+	1	+	+	+	1	+3
	C	+	2	2	+	+	1	+3
Σ		+4	+1	+1	+1	+3	+1	

Tab.3: Darstellung der fachlichen Ergebnisse (alle Namen wurden geändert)

Eine Steigerung des Niveaus in den Phasen B und C wurde mit einem „+“ markiert. An den Enden der Tabelle befindet sich die Summe (Σ) der Steigerungen für jede Phase bzw. für jede Person. So haben die Lernenden bestehende Vorstellungen zum Phänomen (A) teilweise mithilfe der Modelle (B) und teilweise auch noch während der Überlagerung (C) ausgebaut. Insbesondere an der Wippe stellten die Schüler\*innen durch die Überlagerung eine deutliche Verknüpfung zwischen Modell und Realität her, die sich vor allem darin zeigte, dass sie ein hohes Maß an Kreativität in Bezug auf die Ermittlung

möglicher Ursachen für Abweichungen zwischen Modell und Experiment an den Tag legten.

Die von den sechs Schüler\*innen im Zusammenhang mit FF2 während der Reflexionsphase geäußerten Eindrücke zur Arbeit mit dem dynamischen Modell (ohne Überlagerung) beinhalten 14 Aussagen, aus denen fünf Kernaussagen (KA) induktiv gebildet wurden (s. Reflexion des Modells in Tab.4). Aus der Zuordnung der Äußerungen zu Kernaussagen geht hervor, dass die Schüler\*innen nach der Beschäftigung mit den dynamischen Modellen im Rahmen der am Kreislauf der Erkenntnisgewinnung orientierten Lerneinheiten sowohl die Eigenschaften des Modells (KA1), die Beziehung des Modells zum Original (KA2) als auch die Beziehung des Modells und des Subjekts (KA3 bis KA5) reflektieren. Das entspricht der von Kircher (1995) für den Physikunterricht aufbereiteten Sichtweise auf die Erkenntnisgewinnung als Zusammenspiel von Subjekt, Original und Modell. Die Schüler\*innen erkennen somit die intendierten Ziele des digitalen Mediums zur Visualisierung der Fachinhalte und sehen auch den verständnisfördernden Bezug zum realen Phänomen.

	Kernaussage	H
Reflexion des Modells	1. Das Modell zeigt Fachinhalte auf.	5
	2. Das Modell hilft beim Verständnis des Phänomens.	3
	3. Eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Modell wäre hilfreich.	3
	4. Die Darstellung baut ein mentales Modell auf.	2
	5. Die Modelle könnten nicht für alle Lernenden geeignet sein.	1
Reflexion der Überlagerung	1. Es ist hilfreich, virtuelle Objekte in die Realität einzublenden.	4
	2. Die Überlagerung hilft beim Verständnis des Phänomens.	3
	3. Das Modell kann während der Überlagerung überprüft werden.	3
	4. Die Überlagerung kann als Messwerkzeug verwendet werden.	3
	5. Es wird ein direkter Alltagsbezug hergestellt.	2
	6. Der außerschulische Lernort ist motivierend.	2

Tab.4: Häufigkeit (H) generalisierter Kernaussagen während der Reflexion des Modells und der Überlagerung

Der Reflexion der Schüler\*innen bezüglich der Überlagerung der Realität mit dem dynamischen Modell im AR-Experiment konnten 17 Aussagen entnommen werden, die auf sechs Kernaussagen reduziert wurden (s. Reflexion der Überlagerung in Tab.4). Sie betreffen sowohl die visuelle (KA1), kognitive (KA2), experimentelle (KA3 und KA4) als auch affektive (KA5 und KA6) Unterstützung der Lernenden durch den Einsatz von AR im Rahmen der konzipierten AR-Experimente auf dem Spielplatz. Die Möglichkeit, Fachinhalte im Gegensatz

zum gewohnten Laborsetting direkt vor Ort mit Alltagserfahrungen zu verknüpfen, hatte einen positiven Einfluss nicht nur auf die Motivation, sondern auch auf das Verständnis:

*Ich finde es schwer, wenn wir mithilfe von Beispielen arbeiten, das [Gelernte] auf die Realität zu übertragen. Das geht mit dem Modell [in Augmented Reality] besser (562-563, Lea).*

Auch die eigenständige Durchführung wurde von den Schüler\*innen als hilfreich und motivierend empfunden, die Bedienung der App verlief weitestgehend problemlos. Die Fülle an Informationen und Möglichkeiten, unterschiedliche virtuelle Objekte ein- und auszublenden stellte einige Schüler\*innen jedoch vor eine Herausforderung. Entsprechend wünschten sie sich mehrheitlich mehr Zeit für die Auseinandersetzung mit dem Modell im Vorfeld des AR-Experiments, insbesondere bei der Vorstellung, sie könnten Teil des regulären Physikunterrichts im Klassenverband sein.

Zusammengefasst konnten die Schüler\*innen ihre Fähigkeiten in Bezug auf die Erklärung des Phänomens mit physikalischen Modellvorstellungen ausbauen und präzisieren. Ist das Modell jedoch zu komplex oder haben die Schüler\*innen im Vorfeld der Durchführung nicht ausreichend Zeit, sich mit der dynamischen Visualisierung vertraut zu machen, besteht die Gefahr, dass insbesondere die Überlagerung zu Überforderung führt. Insgesamt kann von einer hohen Akzeptanz der Schüler\*innen gegenüber der Durchführung von AR-Experimenten nach dem beschriebenen Konzept gesprochen werden.

#### 4. Diskussion

Aus den Ergebnissen ergeben sich vielversprechende Hinweise, was die Akzeptanz der entwickelten Lerneinheiten und das Potential von AR-Experimenten mit *GeoGebra* im Physikunterricht allgemein angeht. Diese verlangen jedoch nicht zuletzt angesichts der limitierenden Rahmenbedingungen der hier durchgeführten Erhebung nach weiterer empirischer Untersuchung. Während der Durchführung und der anschließenden Reflexion in Dreiergruppen entwickelte sich eine Gruppendynamik, in der die Handlungen oder das Gespräch von einzelnen Schüler\*innen dominiert wurden, was sich in den Ergebnissen niederschlägt. Eine quantitative Interventionsstudie mit einer größeren Stichprobe und einer Unterrichtseinheit entlang des Kreislaufs der Erkenntnisgewinnung, in welche verschiedene aufeinander aufbauende AR-Experimente eingebettet sind, steht noch aus.

Die im Rahmen des Projekts entwickelten dynamischen Modelle wurden überarbeitet und können neben der Durchführung am Spielplatz auch im Fachraum als Visualisierungen genutzt werden (<https://www.geogebra.org/m/fwva54pz>), um die zu überprüfenden Hypothesen in einer konzentrierten Atmosphäre herauszuarbeiten. Die Reflexion der

einzelnen Schritte müsste ebenso nicht direkt auf dem Spielplatz erfolgen.

Zudem bleibt zu klären, inwiefern die Ergebnisse durch den Spielplatz als außerschulischen Lernort beeinflusst wurden. Die Lernenden legten zwar eine Akzeptanz gegenüber dem Lernen mit einer Überlagerung von Modell und Realität an den Tag, es bleibt jedoch offen, ob es nicht die Kombination des AR-Experiments mit der Realität am Spielplatz ist, welche dieses Ergebnis bedingt. Um dieser Frage nachzugehen, wären vergleichende Untersuchungen zwischen dem Lernen mit AR-Experimenten im Laborsetting und im Alltag der Schüler\*innen anzustellen.

#### 5. Literatur

- Erb, R. & Teichrew, A. (2020). Geometrische Optik mit GeoGebra. *NiU Physik*, 31(175), 24–28.
- Jung, W. (1992). Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties (IPN). In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Hrsg.), *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies: proceedings of an international workshop held at the University of Bremen* (S. 278–295). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel.
- Kircher, E. (1995). *Studien zur Physikdidaktik: Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen* (IPN). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Krüger, D. & Riemeier, T. (2014). Die qualitative Inhaltsanalyse – eine Methode zur Auswertung von Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 133–145). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0_11)
- Schecker, H. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen in der Mechanik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (S. 63–88). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_4)
- Teichrew, A. & Erb, R. (2019). Analysis of learning with dynamic models and experiments in optics. In O. Levrini & G. Tasquier (Hrsg.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2019 Conference. Part 3 (Co-Hrsg. Fechner, S. & Vorhoeff, R.)* (S. 330–336). Bologna. Verfügbar unter: <https://www.esera.org/publications/esera-conference-proceedings/esera-2019>
- Teichrew, A. & Erb, R. (2020a). How augmented reality enhances typical classroom experiments: examples from mechanics, electricity and optics. *Physics Education*, 55(6), 065029. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abb5b9>

- Teichrew, A. & Erb, R. (2020b). Augmented Reality-Experimente mit GeoGebra. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Zugriff am 15.4.2021. Verfügbar unter:  
<http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1043>
- Teichrew, A. & Erb, R. (2020c). Lernen mit Modellen und Experimenten: Von der Beobachtung zur Erkenntnis am Beispiel des Regenbogens. *MNU*, 73(6), 481–486.
- Wiesner, H. & Wodzinski, R. (1996). Akzeptanzbefragung als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In R. Duit & C. Rhöneck (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften* (S. 250–274). Kiel: IPN.