

PUMA : Optiklabor - Eine webbasierte AR-Simulation für die Sekundarstufe I

Stefan Kraus, Thomas Trefzger

Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg
stefan.kraus@physik.uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Ein kostenloser Optik-Experimentierkasten, den man Schülerinnen und Schülern mit nach Hause geben kann, der jederzeit zum Experimentieren einlädt, der haptische und virtuelle Elemente verbindet, bei dem man nichts beschädigen, aber über die Grenzen der realen Welt hinaus experimentiert werden kann. Diesen Anspruch verfolgt das PUMA : Optiklabor. **Physikunterricht mit Augmentierung** – dieses Projekt des Lehrstuhls für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg widmet sich in verschiedenen Teilgebieten der Physik den Möglichkeiten, die Augmented Reality (AR) bieten kann. Das Optiklabor besteht aus einer webbasierten AR-Simulation, bei der über Karten, die auf den Tisch gelegt werden, Laser und Gegenstände wie Spiegel und Linsen eingeblendet werden. Diese betrachten die Schülerinnen und Schüler durch ihr Smartphone oder Tablet-PC, auf dem sie lediglich eine Website öffnen, jedoch keine App installieren müssen. Die Applikation wird im Rahmen eines Design-Based-Research- Projekts entwickelt, das in zwei Phasen den Einsatz durch die Lehrkräfte und die Nutzung durch die Jugendlichen im Anfangsunterricht der Sekundarstufe I evaluiert. Parallel steht die technische Eignung für den Unterricht im Studieninteresse. Der Vortrag stellt die Applikation und das Studiendesign vor und lädt zum Ausprobieren und konstruktiven Austausch ein.

1. Ausgangssituation

Experimente sind ein fester und wichtiger Bestandteil des Physikunterrichts. Das zunehmende Angebot von Schülerexperimentiersets erleichtert es den Lehrkräften, Experimente durch die Lernenden selbst durchführen zu lassen. So stehen ausgesuchte Materialien mitsamt Anleitungen zur Durchführung in Kleingruppen zur Verfügung und sind auch nach dem Versuch übersichtlich aufgeräumt. Diesen Möglichkeiten steht in der Realität allerdings oft das mangelnde Budget zur Ausstattung der Physiksammlung entgegen. So werden oft nur die wichtigsten Kästen beschafft, eine Mitgabe nach Hause erscheint bei Preisen von einigen hundert Euro pro Stück absolut unrealistisch.

Neben dem Kostenfaktor spielt im Unterricht oftmals auch die Zeit eine entscheidende Rolle. Die Bereitstellung und das Aufräumen der Gerätschaften erfordert Ressourcen, die sich durch ein Demonstrationsexperiment einsparen lassen. Auch dies reduziert die Anzahl durchgeführter Schülerexperimente.

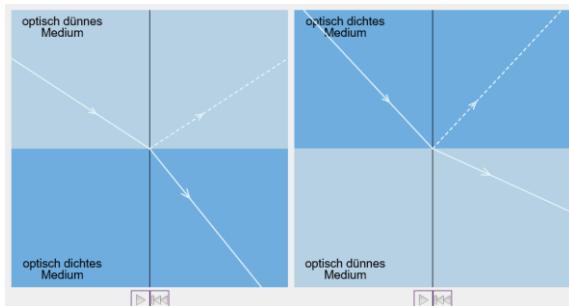


Abb. 1: Bildschirmsimulation zur Lichtbrechung [1]

Alternativ gibt es Bildschirmsimulationen, die einen bestimmten Sachverhalt abdecken. Der Abstraktionsgrad ist allerdings häufig so hoch, dass den Jugendlichen der Transfer auf die Realität schwerfällt. Zudem lassen sich meist nur wenige Dimensionen des Experiments steuern, was den Immersionsgrad weiter senkt.

2. Konzept

Die hier vorgestellte Applikation versucht eine weitere Art der Simulation zur Verfügung zu stellen, welche näher am echten Experiment sein soll, ohne dessen Nachteile zu vorzuweisen. Ziel dabei soll keinesfalls sein, das echte Experiment zu ersetzen, sondern neue Gelegenheiten des Experimentierens zu erschließen.

Kernidee ist das Schaffen haptischer Erfahrung trotz der Durchführung eines rein digitalen Experiments. Hierbei soll keine größere Einarbeitung notwendig sein, die mit der Bedienung einer Software und ihrer Eigenheiten einhergehen. Dadurch konzentrieren sich die Kinder auf den Versuch als solches ohne Ablenkungen, die mit dem eigentlichen Experiment nichts zu tun haben. Die Simulation umfasst dabei die Physik hinter dem Experiment, so dass die Schülerinnen und Schüler nicht auf einen bestimmten Versuchsaufbau beschränkt sind. Dies lädt zum freien Experimentieren und Ausprobieren ein.

Größtmöglicher Immersionsgrad wird durch den Einsatz von Augmented Reality (AR) erreicht. Die einzige, notwendige Hardware beschränkt sich auf „Marker“ zum Preis eines Blattes Papier. Die Applikation läuft plattformunabhängig auf Smartphones

und Tablet-PCs aller Betriebssysteme. Sie ist aus dem Stegreif einsetzbar und steht sowohl in der Schule wie auch im häuslichen Umfeld kostenlos zur Verfügung. Ein weiterer Mehrwert des digitalen Experiments ist die Möglichkeit, Grenzen der Physik zu verschieben. Im Gegensatz zur Realität kann hier während des Versuchs beispielsweise die Brennweite einer Linse oder der Brechungsindex eines Wasserbeckens beliebig im realistischen, wie auch im unrealistischen Bereich angepasst werden.

3. Die Applikation

Die Schülerinnen und Schüler erhalten Kärtchen (sogenannte „Marker“), die von einer webbasierten Applikation erkannt werden. Darüber blendet die App Gegenstände wie Laser, Linsen etc. ein. Diese interagieren miteinander, so dass das Experiment rein virtuell stattfindet. Dadurch, dass die Marker auf dem Tisch hin- und hergeschoben werden können, erfährt die Nutzung eine haptische Komponente, die den Immersionsgrad immens fördert. Je nach Objekt stehen werden Buttons eingeblendet, die die Manipulation weiterer Parameter ermöglichen.



Abb. 2: Marker & Übungskarten (in Entwicklung)

4. Technische Umsetzung

Die WebAR-Applikation ist in HTML und JavaScript implementiert. Die Virtual-Reality-Funktionalität wird durch das Framework A-FRAME zur Verfügung gestellt [2]. Die Erweiterung auf Augmented-Reality erfolgt durch den Einsatz des JavaScript-Frameworks AR.js [3]. Dieses verknüpft das Kamerabild und die darin enthaltenen Marker mit den Positionen im virtuellen Raum. Die Darstellung von 3D-Objekten erfolgt durch das JavaScript-Framework Three.js, welches Zugriff auf die WebGL-Schnittstelle hat [4].

5. Elemente

Zum Experimentieren wurde eine Reihe von ausdrucksfähigen Markern entwickelt, auf denen Elemente eingeblendet werden. Der aktuelle Entwicklungsstand (März 2024, noch in Entstehung) umfasst folgende virtuelle Elemente:

5.1 Kerzen

Erste völlig ungefährliche Schattenversuche lassen sich mit Kerzen durchführen, deren Helligkeit und Flammenfarbe während des Versuchs einstellbar sind. Die eingestellte Flammenfarbe verknüpft zugleich interdisziplinäre Kenntnisse der aus der

Chemie charakteristische Flammenfärbung durch bestimmte Elemente.

5.2 Sonne, Erde & Mond

Sonnenauf-, Sonnenuntergang, Mondphasen, Sonnen- und Mondfinsternis sind Beispiele aus der Lebenswelt der Kinder, die eine willkommene Anwendung des Gelernten aus dem Bereich Lichtquellen und Schatten anbieten. Die Animation des Mondes um die Erde kann pausiert werden, um die Phänomene genauer zu analysieren. Die Größenverhältnisse sind nicht maßstabsgetreu, ein solcher Modus als spätere Erweiterung aber denkbar.

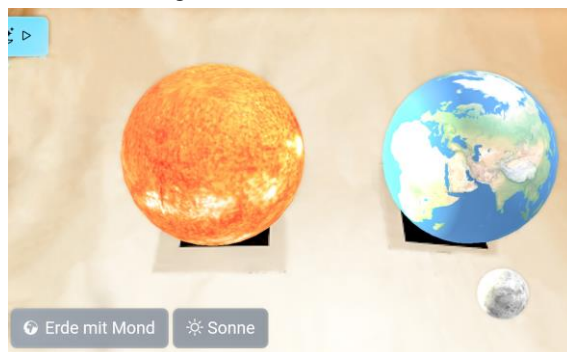


Abb. 3: Marker Sonne & Erde mit Mond

5.3 Zylinder

Der Zylinder stellt ein Hindernis für Schattenexperimente mit ein oder mehreren Kerzen und deren Kern- und Halbschatten dar.

5.4 Schirm

Auf den Schirm werden beleuchteten und verschatteten Bereiche sichtbar. Für viele Schülerinnen und Schüler überraschend sind dabei die Halbschatten bei Versuchen mit Kerzen verschiedener Farben.

5.5 Laserbox

Grundversuche der geometrischen Strahlenoptik benötigten einen Laserstrahl. Dieser ist in dieser Simulation auch ohne Nebel durchgehend sichtbar. Es lassen sich ein, drei oder fünf parallele Laserstrahlen einblenden. Die Laserstrahlen können in ihrer Farbe verändert werden. Insbesondere steht weißes Licht kontinuierlichen Spektrums wie bei einer Glühlampe zur Auswahl.

5.6 Spiegel

Ebenso steht ein einfacher Spiegel bereit, der an beliebigen Stellen in den Strahlenverlauf positioniert werden kann. In Planung ist die zusätzliche Einblendung von Einfallslot und Winkelscheibe.

5.7 Quader

Ebene Flächen erleichtern den Einstieg in die Lichtbrechung, bevor es an komplexere Systeme wie Linsen geht. In der Grundkonfiguration handelt es sich hierbei um einen Glasquader, wobei dessen Materialeigenschaften verändert werden können. Ebenso kann beeinflusst werden, ob sowohl Brechung als auch Reflexion angezeigt werden sollen oder nur eins

dieser Phänomene. Die Anzeige des Einfallslotes sowie eine virtuelle Winkelscheibe sind auch hierbei in Planung.

5.8 Linsen

Auch eine Sammel- und Zerstreuungslinse liegt dem virtuellen Experimentierkasten bei. Wie bereits beschrieben lässt sich die Brennweite während des Versuchs verändern.

5.9 Prisma

Neben dem Quader stellt das Prisma ein interessantes Objekt zur Strahlmanipulation dar. Eine unterschiedliche Brechung je nach Wellenlänge des Einfallstrahls, sowie insbesondere die Aufteilung weißen Lichts ist in Planung.

5.10 Wasserbecken & Luftlinse

Die meisten Experimente im Schulkontext betrachten das Verhalten eines Lichtstrahls von Luft kommend in einem Körper höherer optischer Dichte. Ein Wasserbecken mit einer Luftlinse dreht dies um und erzeugt kognitive Konflikte, die zu einer weiteren Vertiefung des physikalischen Verständnisses führen sollen.

5.11 Auge, Objekt & Brille

Eine weitere lebensnahe Anwendung des Gelernten ist die Abbildung im Auge. Ein Marker stellt ein halbes Auge dar, der andere Marker einen kleinen Baum, der zusätzlich ins Auge projiziert wird. Des Weiteren lässt sich eine Fehlsichtigkeit simulieren, die den Augapfel verlängert oder verkürzt. Durch eine zuschaltbare Brille und variabel einstellbare Brennweite der Brille können die Schülerinnen und Schüler die Fehlsichtigkeit korrigieren und die Projektionsebene wieder auf die Netzhaut legen.

6. Übungsaufgaben

Durchführung größerer Experimente mit Messreihen und dem Erlernen ausführlicher Dokumentation ist nicht der Anspruch dieser spontan einsetzbaren Simulation. Daher werden Übungsaufgaben in Form von Karten entwickelt, auf deren Vorderseite eine Kurzanleitung und Rückseite Lösungshinweise gegeben sind. Über den aufgedruckten QR-Code gelangt man zur WebAR-Applikation. Die benötigten Marker sind leicht erkennbar. Die Karten im DIN-A5 oder DIN-A6-Format zur Verfügung gestellt oder direkt online abgerufen werden.

Die Themen reichen dabei von Schatten über die Anwendung bei Mondphasen,

7. Studie

Die Entwicklung des digitalen Schülerexperimentierkastens erfolgt nach dem Schema des Design-Based-Research [5]. Um wissenschaftlich fundierte Daten zu erhalten, erfolgt eine Erprobung in 8. Klassen des bayerischen Gymnasiums und 7. & 8. Klassen der bayerischen Realschule (je nach Zweigwahl) und begleitet das dort im Lehrplan verankerte Thema Optik. Die Studie wurde jüngst durch das Bayerische

Staatsministerium für Unterricht und Kultus genehmigt und beforscht sowohl die Erfahrungen der Lehrkräfte, wie auch der Lernenden. Bei den Jugendlichen wird zudem der Einfluss auf affektive Faktoren und Schülervorstellungen beleuchtet. Die gewonnenen Kenntnisse werden in zwei Iterationen zur Weiterentwicklung der Materialien genutzt. [6]

8. Kontext: PUMA

Der Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg unter Prof. Dr. Thomas Trefzger widmet sich in mehreren Projekten der Augmentierung von Physikunterricht. [7] Dabei steht der Einfluss von Augmented Reality auf die Lernenden im Vordergrund. So werden neben dem Optiklabor auch ein Magnetlabor [8] und ein Spannungslabor [9] entwickelt, die sich bereits in weiter entwickelten Stadien befinden. Bei diesen Projekten wurden native Applikationen mittels Unity implementiert, die Realexperimente graphisch und mit Zusatzinformationen unterstützen.

9. Ausblick

Die nächsten Schritte stellen die Fertigstellung der Hauptmerkmale der Applikation und das Angebot von Lehrkräftefortbildungen dar. Dabei soll nicht nur der Dialog mit Lehrkräften gesucht und das Optiklabor bekannt gemacht, sondern auch Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer akquiriert werden. Noch im Schuljahr 2023/24 erfolgt dann die Pilotierung mit einer kleineren Stichprobe. Die Hauptstudie mit bereits erstmals überarbeiteten Materialien findet im Schuljahr 2024/2025 statt.

10. Literatur

- [1] LEIFIPHYSIK: *Bildschirmssimulation zur Lichtbrechung* <https://www.leifiphysik.de/optik/lichtbrechung/grundwissen/lichtbrechung-einfuehrung> (Stand 3/2024)
- [2] *A-Frame : A web framework for building 3D/AR/VR experiences.* <https://aframe.io/> (Stand 3/2024)
- [3] *AR.js : Augmented Reality on the Web.* <https://ar-js-org.github.io/AR.js-Docs/> (Stand 3/2024)
- [4] *Three.js.* <https://threejs.org/> (Stand 3/2024)
- [5] REINMANN, Gabi: *Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung.* In: *Unterrichtswissenschaft* 33 (2005), S. 52–69
- [6] KRAUS, Stefan ; TREFZGER, Thomas: PUMA : Optiklabor - eine WebAR-Anwendung zur Unterstützung der Optiklehre. In: VORST, Helena van (Hrsg.): *Frühe naturwissenschaftliche Bildung : Tagungsband der 50. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP)*, 2024, S. 865-868 <https://gdcp-ev.de/tagungsbaende/tagungsband-2023-band-43> (Stand 7/2024)

- [7] FLORIAN FRANK ; STEFAN KRAUS ; ANNIKA KREIKENBOHM ; HAGEN SCHWANKE ; CHRISTOPH STOLZENBERGER ; THOMAS TREFZGER: *Das Projekt PUMA (Physik-Unterricht Mit Augmentierung)*. Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), Hannover, 2023, S. 277-279 <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1407/1605> (Stand 7/2024)
- [8] SCHWANKE, Hagen ; TREFZGER, Thomas: *Augmented Reality in Schülerversuchen – Entwicklung und Evaluierung der Applikation PUMA: Magnetlabor*. In: ROTH, Jürgen; BAUM, Michael; EILERTS, Katja; HORNUNG, Gabriele; TREFZGER, Thomas (Hrsg.): *DIE ZUKUNFT DES MINT-LERNENS : Digitale Tools und Methoden für das Lehren und Lernen*. Berlin, Heidelberg : Springer Spektrum, 2023, S. 77–91
- [9] STOLZENBERGER, Christoph ; FRANK, Florian ; TREFZGER, Thomas ; WILHELM, Thomas ; KUHN, Jochen: *Spannung mit PUMA : Spannungslabor*. In: *Physik in unserer Zeit* 54 (2023), Nr. 1, S. 44–45