

PUMA : Optiklabor - Eine webbasierte AR-Simulation für die Sekundarstufe 1

Ausgangssituation

Experimente sind ein fester und wichtiger Bestandteil des Physikunterrichts. Das zunehmende Angebot von Schülerexperimentiersets erleichtert es Lehrkräften, Experimente durch Lernende durchführen zu lassen. So stehen ausgesuchte Materialien mitsamt Anleitungen zur Durchführung in Kleingruppen jederzeit ohne großen Aufwand zur Verfügung. Diesen Möglichkeiten steht in der Realität allerdings oft das geringe Budget zur Ausstattung der Physiksammlung entgegen. So werden oft nur die wichtigsten Experimentiersets beschafft, die Mitgabe nach Hause erscheint bei Stückpreisen von einigen hundert Euro unrealistisch. (Schürmann, 2020)

Neben dem Kostenfaktor spielt im Unterricht oftmals auch 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.

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.

Konzept

Die hier vorgestellte Applikation versucht eine weitere Art der Simulation bereit zu stellen, welche näher am echten Experiment sein soll, ohne dessen Nachteile zu vorzuweisen. Ziel dabei soll keinesfalls sein, das echte Experiment zu ersetzen. Es geht darum, 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 Schülerinnen und Schüler auf den Versuch als solches. Ablenkungen, die mit dem eigentlichen Experiment nichts zu tun haben, werden vermieden. Die Simulation umfasst 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 einzig 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.

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 werden Buttons eingeblendet, die die Manipulation weiterer Parameter ermöglichen.

Elemente

Zum Experimentieren wurde eine Reihe von ausdrückbaren Markern entwickelt, auf denen Gegenstände eingeblendet werden. Der aktuelle Entwicklungsstand umfasst folgende Marker: 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 charakteristischen Flammenfärbung durch bestimmte Elemente.

Sonnenauf-, **Sonnenuntergang**, **Mondphasen**, **Sonnen-** und **Mondfinsternis** sind Beispiele aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler, 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 später aber denkbar. Der **Zylinder** stellt ein Hindernis für Schattenexperimente mit ein oder mehreren Kerzen und deren Kern- und Halbschatten dar.

Auf dem **Schirm** werden beleuchtete und verschattete Bereiche sichtbar. Für viele Schülerinnen und Schüler überraschend sind dabei die Halbschatten bei Versuchen mit Kerzen verschiedener Farben.

Grundversuche der geometrischen Strahlenoptik benötigen 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. Zusätzlich steht weißes Licht kontinuierlichen Spektrums zur Auswahl.

Ebenso steht ein einfacher **Spiegel** bereit, der an beliebigen Stellen in den Strahlenverlauf positioniert werden kann. Vorgesehen ist die Einblendung von Einfallslot und Winkelscheibe. 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 Einfallslots sowie eine virtuelle Winkelscheibe sind in Planung. Auch eine **Sammel- und Zerstreuungslinse** liegen dem virtuellen Experimentierkasten bei. Wie bereits beschrieben, lässt sich die Brennweite während des Versuchs verändern.

Neben dem Quader stellt das **Prisma** ein interessantes Objekt zur Strahlmanipulation dar. Eine unterschiedliche Brechung je nach Wellenlänge des Einfallsstrahls ist in Planung.

Die meisten Experimente im Schulkontext betrachten das Verhalten eines Lichtstrahls von Luft kommend in einen 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.

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.

Übungsaufgaben

Die Durchführung größerer Experimente mit Messreihen und dem Erlernen ausführlicher Dokumentation ist nicht der Anspruch dieser spontan einsetzbaren Simulation. Es wurden aber 12 Übungsaufgaben in Form von Karten entwickelt, auf deren Vorderseite eine Kurzanleitung und auf der Rückseite Lösungshinweise gegeben sind. Über den aufgedruckten QR-Code gelangt man zur WebAR-Applikation. Die benötigten Marker sind leicht erkennbar. Die Karten können digital oder ausgedruckt verwendet werden. Die Themen reichen dabei von Schatten über die Anwendung bei Mondphasen, bis hin zur Fehlsichtigkeit des Auges.

Studie

Die Entwicklung des digitalen Schülerexperimentierkastens erfolgt nach dem Schema des Design-Based-Research (Reinmann, 2005). 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 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. (Kraus, Trefzger, 2024)

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. (Frank, Kraus, Kreikenbohm, Schwanke, Stolzenberger, Trefzger, 2024) Dabei steht der Einfluss von Augmented Reality auf die Lernenden im Vordergrund. So wurden neben dem Optiklabor auch ein Magnetlabor (Schwanke, Kreikenbohm, Trefzger, 2024) und ein Spannungslabor (Stolzenberger, Frank, Trefzger, 2024) entwickelt, die sich bereits in der Datenauswertung befinden. Bei diesen Projekten wurden native Applikationen mittels Unity implementiert, die Realexperimente graphisch und mit Zusatzinformationen unterstützen.

Ausblick

Im September 2024 steht die Finalisierung der Implementierungsarbeiten an WebApp und Webplattform sowie das Angebot von Lehrkräftefortbildungen an. Dabei soll nicht nur der Dialog mit Lehrkräften gesucht und das Optiklabor bekannt gemacht, sondern auch Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer akquiriert werden. Im gesamten Schuljahr 2024/25 haben die Lehrkräfte die Möglichkeit, mit ihren Klassen an der Studie mitzumachen. Dabei zeichnen sich curricular bedingt zwei Phasen ab: ab Januar und ab Juni 2025, je nachdem, ob das Thema Optik als zweites oder drittes Teilgebiet gewählt wurde. Ab August 2025 werden die Daten ausgewertet und fließen sowohl in die zugehörige Dissertation wie auch in die Überarbeitung der Materialien, um diese schließlich in optimierter Form öffentlich zur Verfügung stellen zu können.

Literatur

- Frank, F., Kraus, S., Kreikenbohm, A., Schwanke, H., Stolzenberger, C., Trefzger, T. (2024). Das Projekt PUMA (Physikunterricht Mit Augmentierung). In: Beiträge zur Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) in Hannover 2023. S. 277-279. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1407/1605> (letzter Zugriff 16.10.2024)
- Kraus, S., Trefzger, T. (2024). Optiklabor – eine WebAR-Anwendung zur Unterstützung der Optiklehre. In: Vorst, H., Frühe naturwissenschaftliche Bildung: Tagungsband der 50. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP) 2023. 865-868. <https://gdcp-ev.de/tagungsbaende/tagungsband-2023-band-43> (letzter Zugriff 15.10.2024)
- Reinmann, Gabi (2005). Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. In: Unterrichtswissenschaft 33, 52-69. <https://doi.org/10.25656/01:5787>
- Schwanke, H., Kreikenbohm, A., Trefzger T. (2024). Ein AR-Lehr-Lern-Labor zum Themengebiet (Elektro-) Magnetismus in der Sekundarstufe I. In: Beiträge zur Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) in Hannover 2023. 309-312. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1407/1605> (letzter Zugriff 16.10.2024)
- Schürmann, Patrick (2020). Experimente zur optischen Interferenz aus dem 3D-Drucker. Wiesbaden: Springer-Spektrum, 1. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-28894-5>
- Stolzenberger, C., Frank, F., Trefzger, T. (2024). Theorie trifft Realexperiment - Stromkreise verstehen mit der AR-App "PUMA : Spannungslabor". https://doi.org/10.18420/avril2024_01