

AR Physics Table

- Interaktive Experimentiertische für das experimentelle Lernen im Schülerlabor -

Fabian Bernstein*, Thomas Wilhelm⁺

*TECHNOSEUM, Museumsstr. 1, 68165 Mannheim, ⁺Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
fabian.bernstein@technoseum.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Der Beitrag stellt ein neuartiges Konzept zur Integration von Augmented Reality (AR) in die physikalische Experimentierpraxis an außerschulischen Lernorten vor. Der AR Physics Table kombiniert reale Versuchsaufbauten mit digitalen Aufprojektionen, interaktiven Visualisierungen und narrativen Elementen. Ziel ist es, physikalische Konzepte sichtbar zu machen, Prinzipien wie Just-in-Time-Information, Storytelling und Gamification für die Experimentierpraxis zu erschließen und Experimentiermaterialien und -aufbauten um digitale Funktionalitäten zu erweitern. Der Artikel beschreibt das Systemkonzept, erläutert die zugrunde liegenden didaktischen Zielsetzungen und berichtet von ersten prototypischen Erprobungen im TECHNOSEUM Mannheim. Damit eröffnet der Ansatz neue Möglichkeiten, skalierbare, robuste und niedrigschwellige Implementierungen digital erweiterter Experimente in Schülerlaboren und Science Centern zu realisieren.

1. Digitale Erweiterungen für das Lernen am Experiment

Außerschulische Lernorte wie Schülerlabore oder Science Center bieten wichtige Gelegenheiten, um Schülerinnen und Schüler für Naturwissenschaften und Technik zu begeistern und zugleich ihre experimentellen Kompetenzen zu fördern [1]. Häufig zeigt sich jedoch ein Spannungsverhältnis zwischen den aufwendigen und fortschrittlichen Experimentieraktivitäten und der Aufbereitung des Begleitmaterials: Während viele Lernorte über ansprechende und technisch fortschrittliche Versuchsaufbauten verfügen, bleiben Arbeitsanleitungen und didaktische Medien oftmals analog, linear strukturiert und wenig interaktiv.

In einer zunehmend digital geprägten Lebenswelt wirken analoge Schritt-für-Schritt-Anleitungen nicht nur wenig motivierend, sondern bieten auch kaum Anknüpfungspunkte an die medialen Erfahrungswelten heutiger Jugendlicher. Augmented Reality (AR) kann hier neue didaktische Möglichkeiten eröffnen, indem physikalische Experimente um digitale Informations-, Visualisierungs- und Interaktionsebenen ergänzt werden.

2. Systembeschreibung: Der AR Physics Table

Der AR Physics Table ist eine am TECHNOSEUM Mannheim entwickelte projektionsbasierte Augmented-Reality-Plattform, die es ermöglicht, reale Versuchsaufbauten durch digitale Inhalte zu erweitern. Eine zentrale Herausforderung bei der Integration digitaler Technologien in Schülerlabore und Science Center besteht darin, praxistaugliche Lösungen zu entwickeln – also Systeme, die auch unter intensiver Nutzung im Regelbetrieb zuverlässig funktionieren,

wartungsarm sind und sich wirtschaftlich betreiben lassen.

Das vorgestellte System unterscheidet sich dabei in wesentlichen Aspekten sowohl von AR-Ansätzen mit Head-Mounted Displays [2] als auch von mobilen Anwendungen, die auf Tablets oder Smartphones basieren [3-6]. Während Head-Mounted Displays aufgrund des hohen Aufwandes sowohl bei der Entwicklung der Inhalte als auch im laufenden Betrieb bislang vorrangig in kleinskaligen Szenarien, etwa in Hochschulpraktika, eingesetzt werden und nur begrenztes Transferpotenzial besitzen, sind mobile AR-Anwendungen zwar prinzipiell praxistauglich, weisen jedoch meist nur einen geringen Immersionsgrad auf. Das am TECHNOSEUM Mannheim entwickelte AR-System verfolgt hingegen einen dezidiert pragmatisch-immersiven Ansatz: Im Sinne des KISS-Prinzips („Keep It Simple, Stupid“) [7] stehen Skalierbarkeit, technische Robustheit und einfache Wartung im Vordergrund – mit dem Ziel, eine nachhaltige Integration in reale Bildungskontexte zu ermöglichen, ohne auf immersive Lernszenarien zu verzichten.

Das entwickelte System (siehe Abbildung 1) besteht aus einer Reihe von Standardkomponenten, um Aufprojektion und Interaktion zu realisieren:

- einem Kurzstanz-Projektor, der interaktive Inhalte auf die Experimentierfläche projiziert,
- einem Minicomputer (NUCbox), der AR-Logik, Visualisierungen und Benutzerinteraktion in Echtzeit steuert,
- einem Touchscreen oder wahlweise einem Tablet, über das die Benutzerinteraktion gesteuert wird,

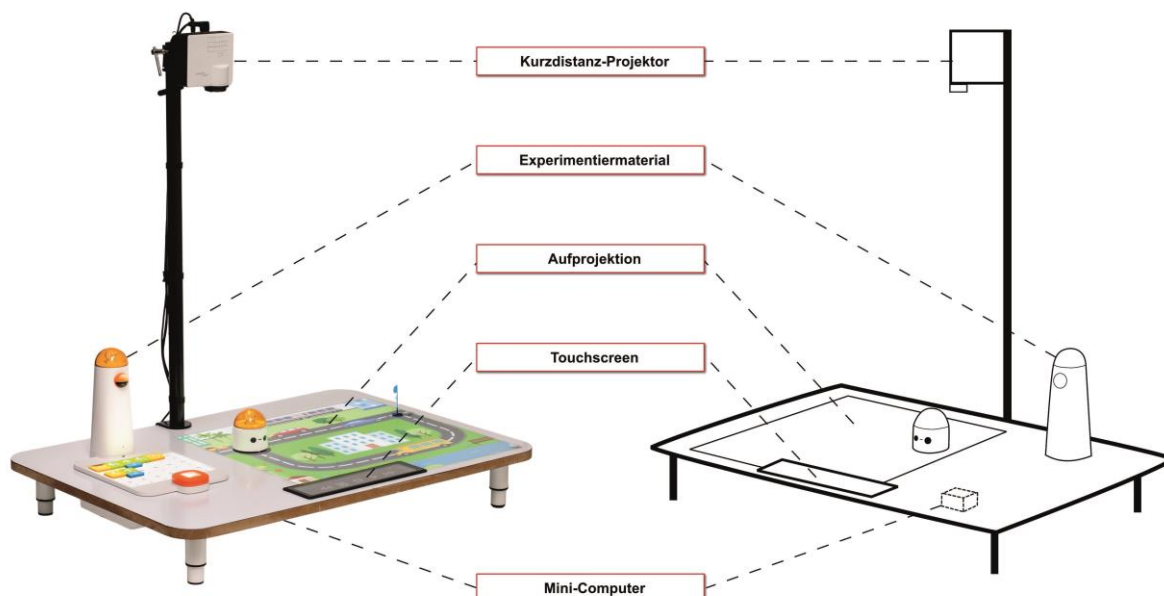


Abb. 1: Prototyp der AR Physics Table mit Lernmaterial zum Coding in der Primarstufe (eigene Darstellung) mit abgebildeter Vorlage von Envato Elements, lizenziert 31.5.2025

- sowie variablen Experimentiermaterialien – je nach Anwendungszweck bestehend aus Standard-Lehrmitteln oder eigens 3D-gedruckten Komponenten.

Je nach didaktischem Szenario lassen sich unterschiedliche Varianten realisieren: So kann der Experimentiertisch etwa als magnetisches Whiteboard gestaltet werden, beispielsweise durch den Einsatz spezieller Projektionsfolien oder pulverbeschichteter Metallplatten, um die Arbeit mit magnetischen Experimentiermaterialien zu erleichtern. Auch eine Über-tischmontage in Verbindung mit Standard-Throw-Projektoren ist möglich und im Rahmen des Aufbaus eines neuartigen Innovationslabors am TECHNOSEUM Mannheim geplant.

3. Einordnung in den Stand der Technik

Der hier verfolgte Ansatz unterscheidet sich deutlich von früheren Arbeiten, die projektionsbasierte Interaktionen in Bildungskontexten – teilweise auch im naturwissenschaftlichen Bereich – explorativ untersucht haben. Bereits in den frühen 2010er Jahren wurden erste Experimente mit Aufprojektionen in Kombination mit markerbasiertem Tracking erprobt [8]. Weitere Entwicklungen, wie das Projekt Enlight am MIT Media Lab [9], integrierten fortgeschrittene Computer-Vision-Algorithmen zur markerlosen Objekterkennung. Dort wurden neben spielerischen Anwendungen für Grundschüler auch physikalische Lernsettings realisiert – etwa im „Fields Playground“, der magnetische Feldlinien in Abhängigkeit von der Position realer Magnete auf der Projektionsfläche sichtbar macht. Schließlich wurden, beispielsweise im Projekt PapARt [10], auch Hand- und Fingertracking in Aufprojektionssysteme integriert, um weitere Interaktionsmöglichkeiten zu schaffen. Allen genannten Ansätzen ist gemeinsam, dass sie eine eher

begrenzte didaktische Tiefe aufweisen und primär als Proof-of-Concepts konzipiert sind, mit dem Ziel, technologische Möglichkeiten exemplarisch auszuloten.

Auffällig ist auch, dass keines dieser Systeme über den Projektstatus hinaus nennenswerte Verbreitung erlangt hat. Dies dürfte auf eine Kombination mehrerer Faktoren zurückzuführen sein: technische Komplexität, fehlende Standardisierung, Mangel an kritischer Masse sowie ein hoher Aufwand bei der Inhaltserstellung. Dabei wird ein grundlegender Zielkonflikt deutlich: Einerseits versprechen fortschrittliche, möglichst intuitive Interaktionsformen ein hohes didaktisches Potenzial, erfordern jedoch komplexe Hard- und Software. Andererseits bedarf es für einen dauerhaft stabilen und wirtschaftlichen Betrieb in Bildungseinrichtungen möglichst wartungsarmer und robust einsetzbarer Systeme – was wiederum die Tiefe und Vielfalt der Interaktion einschränkt. Wir argumentieren, dass dieser Zielkonflikt im Kontext von Schülerlaboren und Science Centern zugunsten der Robustheit aufzulösen ist. Im Unterschied zu kleinskaligen Forschungsstudien handelt es sich um produktive Lernumgebungen mit hoher Nutzungsfrequenz, in denen langfristig einsetzbare und zuverlässig funktionierende Systeme erforderlich sind. Nichtsdestotrotz werden am TECHNOSEUM derzeit weiterführende Prototypen des AR Physics Table entwickelt (siehe bspw. Abbildung 2), die teils auch zusätzliche Technologien wie RGB-D-Kameras integrieren. Dabei gilt weiterhin der Anspruch, die Systemstabilität und Alltagstauglichkeit auch bei technologischer Erweiterung nicht zu gefährden.

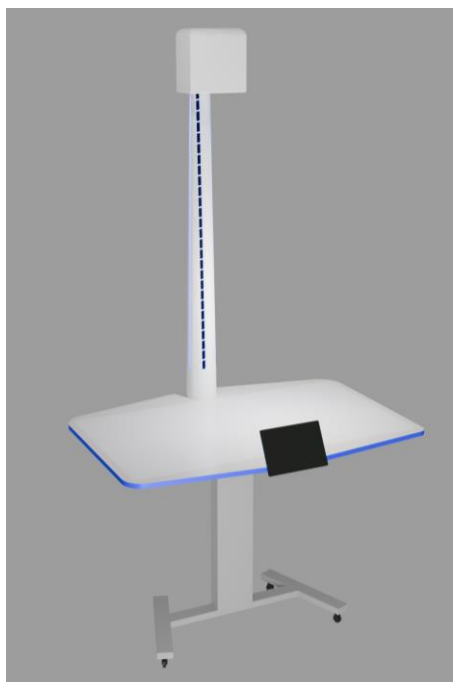


Abb. 2: Weiterentwickelter AR Physics Table mit Tablet zur Benutzersteuerung (eigene Darstellung)

4. Didaktisches Design: Von Gamification bis Storytelling

Aus didaktischer Perspektive bieten AR-Experimentiertische, wie der hier vorgestellte, vielfältige Potenziale, die sowohl neue Interaktionsmuster ermöglichen als auch zentrale Herausforderungen des physikalischen Experimentierens adressieren:

- a) Transformation des Experimentierens: Statische Anleitungen werden durch dynamische, visuelle und interaktive Instruktionen ersetzt, die sich an das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer anpassen.
- b) Erhöhung der Lernmotivation: Gamification, narrative Elemente und simulationsbasierte Herausforderungen steigern das Engagement und fördern das Immersionserlebnis.
- c) Sichtbarmachung unsichtbarer Phänomene: AR ermöglicht die Sichtbarmachung von an-sich unsichtbaren Vorgängen wie bspw. subatomaren Prozessen sowie die Möglichkeit der Visualisierung von physikalischen Größen (z.B. elektrische oder magnetische Felder).
- d) Erweiterung des experimentellen Spektrums: Die AR-Science Table ermöglicht hybride Experimente, die in Schülerlaboren aus sicherheitstechnischen oder praktischen Gründen nicht durchführbar wären – etwa Versuche mit Hochspannung oder zu quantenphysikalischen Systemen.
- e) Optimierung der Workshop-Betreuung: Das System bietet Just-in-Time-Informationen und Hilfestellungen und reduziert so den Unterstützungsaufwand durch Lehrkräfte oder Betreuende, insbesondere bei heterogenen Lerngruppen.

Am TECHNOSEUM Mannheim wurden verschiedene Prototypen des AR-Experimentiertisches realisiert und in ersten Evaluationen erprobt. Dabei zeichnet sich die grundsätzliche Tragfähigkeit des gewählten Ansatzes ab: Das System ist intuitiv bedienbar, technisch stabil und organisatorisch gut handhabbar. Erprobt wurde dabei sowohl ein Einsatz in Kombination mit Experimentiermaterial zum Programmieren-Lernen für Grundschüler als auch – am anderen Ende des Spektrums – fortgeschrittene Experimente zur Quantenphysik.

5. Ausblick

Aktuell wird das System sowohl hardware- also auch softwareseitig weiterentwickelt und sukzessive um zusätzliche Module ergänzt. Ziel ist es, sowohl mobile Demonstratoren für den Einsatz innerhalb und außerhalb des TECHNOSEUM bereitzustellen als auch das entstehende Innovationslabor am Haus standardmäßig mit der AR-Technologie auszustatten. Langfristig ist eine Bereitstellung als Open-Source-System vorgesehen. Damit soll der AR Physics Table als Referenzprojekt für die digitale Erweiterung physikalischer bzw. naturwissenschaftlicher Experimente etabliert werden und zugleich eine nachhaltige Plattform für interaktives, immersives und innovatives Experimentieren entstehen.

6. Literatur

- [1] Euler, M., & Schüttler, T. (2013). Schülerlabore. In Kircher, E., Girwidz, R., & Fischer, H. E. (Hrsg.). Physikdidaktik | Methoden und Inhalte (4. Aufl.). Springer Spektrum, 127-166.
- [2] Laumann, D., Schlummer, P., Abazi, A., et al. (2024). Analyzing the effective use of augmented reality glasses in university physics laboratory courses for the example topic of optical polarization. *Journal of Science Education and Technology*, 33(5), 668-685.
- [3] Stolzenberger, C., Frank, F., Trefzger, T. (2025). Multimedia-supported electricity teaching via the application "PUMA : Spannungslabor". *J. Phys.: Conf. Ser.* 2950 012020 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2950/1/012020>
- [4] Kraus, S., & Trefzger, T. (2024). PUMA: Optiklabor - Eine webbasierte AR-Simulation für die Sekundarstufe I. *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung*. Abgerufen von <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1451>
- [5] Lhotzky, J. F., Schimmelpfennig, F., & Wendt, K. (2020). Augmented Physik AR im Physikunterricht. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- [6] Lhotzky, J. F., & Wendt, K. (2023). Augmented Reality Experimente AR.X (download, print, cut, explore). *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung*. Abgerufen von <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1381>

- [7] Johnson, C. L. (2012). *Kelly: more than my share of it all*. Smithsonian Institution.
- [8] Do-Lenh, S., Jermann, P., Legge, A., Zufferey, G., & Dillenbourg, P. (2012). TinkerLamp 2.0: designing and evaluating orchestration technologies for the classroom. In *21st Century Learning for 21st Century Skills: 7th European Conference of Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2012, Saarbrücken, Germany, September 18-21, 2012, Proceedings 7*, Springer Berlin Heidelberg, 65-78.
- [9] Saw, Y. (2014). *Enlight: a projected augmented reality approach to science education* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- [10] Paper Augmented Reality Toolkit – interactive projection for Processing.
<https://github.com/natar-io/PapARt>