

Theorie begreifbar machen - Immersive Modellbildung im naturwissenschaftlichen Schulunterricht

Vorteile des Einsatzes von AR-Applikationen in der schulischen Elektrizitätslehre

Florian Frank¹, Annika Kreikenbohm¹, Hagen Schwanke¹, Christoph Stolzenberger¹, Nicole Wolf¹ und Thomas Trefzger¹

Abstract: Im Beitrag werden zunächst Herausforderungen kognitiver, affektiver und interpersoneller Natur in der naturwissenschaftlichen Lehre im Bereich Elektrizität vorgestellt. Gestützt auf die Cognitive Load Theory, die Cognitive Theory of Multimedia Learning und die Selbstbestimmungstheorie wird die Entwicklung von Augmented Reality (AR) Anwendungen für den Einsatz im Unterricht beschrieben. Verschiedene Studien sollen evaluieren, ob AR durch die Überblendung von traditionellen Experimenten mit dem zu Grunde liegenden theoretischen Modell den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess und damit die Lehre unterstützen kann. Außerdem ist geplant zu untersuchen, ob durch den Einsatz von AR fehlerhafte Schülervorstellungen reduziert und zusätzlich die unterrichtsbezogene Motivation und die Möglichkeiten der Differenzierung gesteigert werden können.

Keywords: Augmented Reality, Digitalisierung, naturwissenschaftliche Ausbildung, Elektrizitätslehre, Magnetismus, elektrische Felder, Sekundarstufe I, CLT, Usability

1 Einleitung

Wir leben in einer komplexen, hoch-technologischen Welt, die jeden von uns zwingt, sich im Alltag mit Technik auseinanderzusetzen, und die große globale Problemfelder wie etwa die Klimaerwärmung generiert und verschärft. Die Naturwissenschaften können mithilfe der in Experimenten erhaltenen Erkenntnisse und den daraus abgeleiteten theoretischen Modellen einen bedeutenden Beitrag dazu leisten, sowohl globale Problemfelder vorherzusagen und zu bearbeiten als auch die Menschen für einen durchdachten Umgang mit neuen Technologien zu qualifizieren. Ein gutes naturwissenschaftliches Verständnis erleichtert dies und befähigt uns, globale, komplexe Wirkmechanismen zu verstehen und zu beeinflussen.

Eine gelungene naturwissenschaftliche Ausbildung ist nicht nur fachlich korrekt, sie sorgt auch dafür, dass es bei Schülerinnen und Schülern, Studierenden, Auszubildenden usw. nicht zu fehlerhaften Vorstellungen kommt. Außerdem ist es wichtig, Lernende bereits in jungen Jahren für diese Themen zu begeistern und intrinsisch motiviert an naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen heranzuführen. Vor allem der Umgang mit und die Lehre von naturwissenschaftlichen Modellen bringt eine Reihe großer

¹ Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Emil-Hilb-Weg 22, 97074 Würzburg, Kontakt: florian.frank@uni-wuerzburg.de

Herausforderungen kognitiver, affektiver und interpersoneller Natur mit sich, denen wir mittels des Einsatzes von Augmented Reality begegnen möchten.

2 Herausforderungen der Lehre und ihre aus der Theorie abgeleiteten Lösungsansätze mit AR

Die Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Modellen wie etwa des Modells der magnetischen Feldlinien, das in der Vergangenheit häufig erfolgreich bei der Erklärung oder Vorhersage verschiedenster naturwissenschaftlicher Phänomene herangezogen wurde, birgt für die Lernenden ein hohes Maß an Komplexität. Tatsächlich existieren bei Schülerinnen und Schülern auch nach Ende der Sekundarstufe II eine Vielzahl an fehlerhaften Vorstellungen zum Magnetismus [As16]. Ebenso zeigen sich in der elementaren Lehre zu einfachen Stromkreisen nach Abschluss des Einführungsunterrichts prävalente fehlerhafte Schülervorstellungen [Bu18]. Selbst Studienanfänger*innen der Physik, also vermeintlich gute und interessierte Lernende, offenbaren noch häufig solche fehlerhaften Vorstellungen [Fr18].

Nach der Cognitive Load Theory [Pl10] (vgl. Abb.1) kann man bei Lernprozessen drei Arten auftretender kognitiver Belastung unterscheiden: Intrinsische Belastung ist für einen Lerngegenstand unveränderlich und resultiert aus der Komplexität desselben. Extrinsische Belastung ist abhängig von der Darstellung der Lerninhalte und allgemein nicht lernförderlich. Lernbezogene Belastung entsteht durch die Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung der Lerninhalte in das Langzeitgedächtnis und ist damit lernförderlich. Lernende haben nur eine begrenzte kognitive Kapazität – bei hoher extrinsischer Belastung wird die lernbezogene Belastung verringert und damit der Lernvorgang gehemmt, was vermieden werden sollte [Pl10]. Ziel muss es also sein, diese Art der Belastung zu reduzieren.

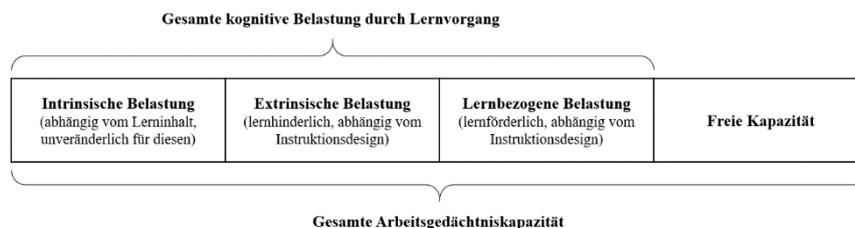


Abb. 1: Arten kognitiver Belastung, angelehnt an [Pl10]

Zur Reduktion der extrinsischen Belastung kann nach den Prinzipien der räumlichen und zeitlichen Kontiguität der Cognitive Theory of Multimedia Learning [Ma14] die Nutzung von erweiterter Realität (Augmented Reality, AR) einen entscheidenden Beitrag leisten. Grundannahme ist, dass eine räumliche und zeitliche Trennung aufeinander bezogener Lerninhalte die extrinsische Lernbelastung erhöht. Diese Trennung findet im Unterricht etwa statt, wenn die Lehrperson nach der Durchführung eines naturwissenschaftlichen Experiments in Kleingruppen das theoretische Modell entkoppelt vom Experiment im

Lehrervortrag näher erläutert, um die gewonnenen Erkenntnisse in die Theorie zu überführen. Durch die Nutzung einer AR-Applikation kann in diesem Szenario das theoretische Modell während des Experimentierens in der Kleingruppe über den experimentellen Aufbau geblendet werden, um eine höhere räumliche und zeitliche Kontiguität zu gewährleisten und damit die extrinsische Lernbelastung zu reduzieren.

Eine weitere Herausforderung der naturwissenschaftlichen Lehre stellt die Abnahme der Motivation im Verlauf der Schulzeit dar [Fi18]. Nach der Selbstbestimmungstheorie [De08] kann die intrinsische Motivation durch die Erfüllung der drei psychologischen Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenzerleben und sozialer Eingebundenheit erhöht werden. Der Einsatz von AR-Applikationen zur Vermittlung theoretischer Modelle direkt während des Experimentierens ermöglicht es, mehr Unterrichtssegmente in Kleingruppen durchzuführen, was eine im Vergleich zum Lehrervortrag erhöhte Befriedigung der psychologischen Grundbedürfnisse mit sich bringen kann.

Durch die schülerzentrierte und erforschende Auseinandersetzung mit den physikalischen Modellen wird eine stärkere individuelle Passung des Unterrichts ermöglicht, was auch Lehrkräften zugutekommt, die Schwierigkeiten haben, ihren Unterricht hinreichend zu differenzieren [Le19]. Lernenden können in ihrem eigenen Tempo arbeiten und Lehrende werden von Dozierenden zu Lernbegleiter*innen, die auf individuelle Fragen eingehen und bei Problemen unterstützen können.

Ziel des Einsatzes von AR in Unterrichtssituationen kann es also sein, die Vermittlung komplexer Lerninhalte (z.B. theoretischer Modelle) in den Naturwissenschaften durch eine bessere räumliche und zeitliche Kontiguität zu vereinfachen, die unterrichtsbezogene Motivation der Lernenden durch die Befriedigung der psychologischen Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenzerleben und sozialer Eingebundenheit zu steigern und den Lehrpersonen Möglichkeiten zur Binnendifferenzierung zu bieten.

3 Design der AR-Applikationen

Ausgehend von diesen theoretischen Überlegungen wurden AR-Anwendungen für die naturwissenschaftliche Lehre entwickelt. Diese sollen im Unterricht als Bindeglied zwischen den zur Erklärung und Vorhersage genutzten theoretischen Modellen und den durchgeführten (Schüler*innen-)Experimenten fungieren. Der naturwissenschaftliche Erkenntnisweg ist ein iterativer Prozess, der zu Beginn aufgestellte Hypothesen mit Hilfe von Experimenten überprüft und die dabei gewonnenen Ergebnisse in theoretische Modelle überführt. Aus diesen Modellen werden dann wiederum Hypothesen generiert, die es zu überprüfen gilt [St20]. Die Applikationen sollen ebendiesen Prozess qualitativ begleiten und den Lernenden so die Möglichkeit bieten, selbständig die Theorien am Experiment konstruktiv zu erarbeiten.

Um die AR Anwendungen auf die beschriebene Weise in die Lernprozesse zu integrieren, ist es wichtig, dass sie auf die vorhandene Hard- und Software abgestimmt sind. Da eine großflächige Nutzung von AR-Brillen in Unterrichtssituationen aufgrund der Kosten und

der schlechten Usability bisher nicht realistisch erscheint, wurden die erstellten Applikationen für Tablets bzw. Smartphones optimiert. Sobald AR-Brillen bezahlbar und handlicher werden, ist eine Erweiterung auf diese aber problemlos möglich.

Im Folgenden werden zwei der aktuell entwickelten Anwendungen näher beschrieben: „*Magneto*“ – eine Applikation, die Magnetfelder sichtbar macht, und „*profiBrille*“, welche die Vermittlung einfacher Stromkreise in der Elektrizitätslehre unterstützen soll. Die Entwicklung beider ist, abgesehen von der gleichen theoretischen Basis, dabei unabhängig voneinander.

Beide Applikationen wurden so entworfen, dass sie sowohl in Verbindung mit Experimenten von Schüler*innen als auch von Lehrkräften eingesetzt werden können. Dafür wurden Experimentierkästen der Firma Mekruphy mit Bildmarken versehen und können während des Experiments mit digitalen Zusatzinformationen angereichert werden.

Der Applikation *Magneto* liegt das Feldlinienmodell des Magnetismus zu Grunde. Häufig wird dieses in der unterrichtlichen Praxis nur zweidimensional betrachtet. AR bietet nun die Möglichkeit, das Modell um eine Dimension zu erweitern (vgl. Abb. 2). Dafür werden die Magnetfelder von Stab- oder Hufeisenmagneten räumlich dargestellt und mit dem Realexperiment in Deckung gebracht. Mit der Anwendung können auch Phänomene des Elektromagnetismus genauer visualisiert werden, so etwa die Interaktionen von Magnetfeldern mit Elektronen einer Spule, was eine anschaulichere Erklärung der elektromagnetischen Induktion ermöglicht.

Insgesamt liefert die Anwendung dabei die Grundlage für sechs verschiedene AR-gestützte Experimente. Weitere Themen sind unter anderem die magnetische Influenz, der Versuch von Oersted, die Regel von Lenz oder die Funktionsweise eines Weicheiseninstruments [Sc21].

Die Applikation *profiBrille* überblendet den realen Experimentieraufbau eines Stromkreises mit sich bewegenden Elektronen (vgl. Abb. 3). Deren Verhalten, Geschwindigkeit und Dichte orientiert sich am Elektronengasmodell [Bu18]. Zusätzlich können Visualisierungen zur Ansicht verschiedener Widerstandsarten eingeblendet werden, in denen auf Teilchenebene die Wechselwirkungen der Atomrümpfe und der Leitungselektronen beobachtbar sind. Mit der Applikation können grundlegende Untersuchungen an einfachen Stromkreisen mit Parallel- und Reihenschaltungen von mehreren Widerständen und Lampen durchgeführt werden. Das theoretische Modell wird am Experiment direkt erfahrbar und kann von den Schüler*innen eigenständig erprobt und validiert werden.

Die Design-Philosophie beider Apps ist dabei dieselbe: es soll ein zugleich einfaches und vielseitig einsetzbares Werkzeug für den Unterricht zur Verfügung gestellt werden, dessen

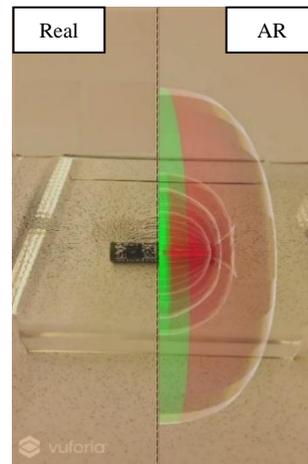


Abb.2: Durch *Magneto* augmentiertes Realexperiment

Bedienung und Handhabung für die Schüler*innen möglichst einfach und intuitiv ist. Die komplexen Lerninhalte sollen durch den Einsatz von AR leichter nachvollziehbar werden.

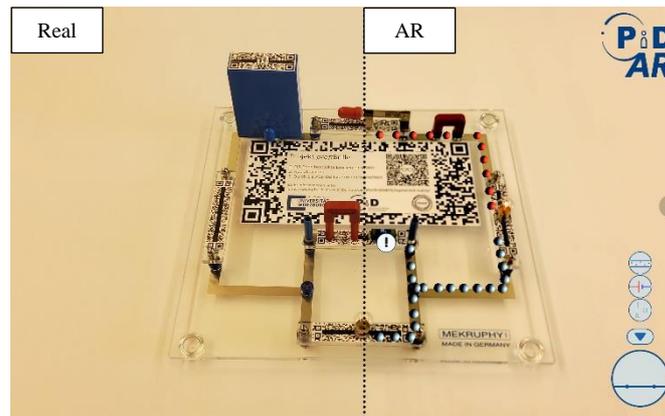


Abb. 3: Durch *profi*Brille augmentiertes Realexperiment

4 Geplante Studien

Zur Unterstützung der weiteren Entwicklung werden prozessbegleitend qualitative Studien durchgeführt. Hierfür werden Prototypen der Anwendungen Lehrkräften an bayerischen Schulen sowie freiwilligen Teilnehmer*innen einer ausgeschriebenen Umfrage zur persönlichen Testung zur Verfügung gestellt. Die Teilnehmenden der Studien werden anschließend in leitfadengestützten Interviews gebeten, Aussagen zur Usability, zur didaktischen Umsetzung und zu den Einsatzmöglichkeiten der Applikationen im Unterricht zu machen. Die ersten Ergebnisse der Befragungen liegen bereits vor und werden in der Weiterentwicklung der Applikationen berücksichtigt. Auf Grundlage der Interviewergebnisse sollen auch die Konzepte erstellt werden, nach denen die Applikationen in den Unterricht eingebunden werden können.

Am Ende der Entwicklung ist für beide Applikationen im Rahmen von Dissertationsarbeiten je eine Interventionsstudie an bayerischen Gymnasien in den Sekundarstufen I/II geplant. Mit einem Pre/Post-Test-Design mit Kontroll- und Testgruppe unter Vorgabe der Unterrichtskonzepte sollen der Einfluss des Einsatzes der Anwendungen im Unterricht auf den kognitiven Lernzuwachs, die Auftretenswahrscheinlichkeit von Schülervorstellungen und die Änderung der intrinsischen unterrichtsbezogenen Motivation untersucht werden. Über den Zeitraum der Interventionen hinweg können dabei mit Begleitfragebögen an geeigneten Zeitpunkten Daten zur momentanen kognitiven Belastung und zur von den Lernenden wahrgenommenen Befriedigung der psychologischen Grundbedürfnisse erhoben werden, was Rückschlüsse auf die Validität der eingangs dargestellten, aus der Theorie abgeleiteten Annahmen zur Wirkung von AR in der schulischen Lehre ermöglicht.

5 Ausblick und Übertragbarkeit

Ziel der Forschung ist es zu untersuchen, wie der Einsatz von AR zur Vermittlung naturwissenschaftlicher theoretischer Modelle kognitive und motivationale Aspekte der Lernenden beeinflusst. Prototypisch wird dies an Anwendungsbeispielen aus der Elektrizitätslehre im Rahmen des schulischen Physikunterrichts durchgeführt. Im Anschluss an die Feldexperimente sollen die Applikationen über die Internetseite der Physikdidaktik der Universität Würzburg für den Einsatz im Unterricht zur Verfügung gestellt werden. In diesem Rahmen können die Applikationen auch auf andere Experimentierkästen angepasst werden.

Hat sich im Laufe der Testung dieses Prinzip der Unterrichtsgestaltung bewährt, können die Erfahrungen sowohl auf andere Bereiche der Physik (Optik, Mechanik, etc.) als auch auf andere Schulfächer und Disziplinen übertragen werden. Ebenso ist ein Einsatz in Bereichen der Hochschullehre oder der Erwachsenenbildung denkbar.

6 Literaturverzeichnis

- [As17] Aschauer, W.: Elektrische und magnetische Felder. Eine empirische Studie zu Lernprozessen in der Sekundarstufe II, Logos-Verlag, Berlin, 2017.
- [Bu18] Burde, J.-P.: Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. Logos-Verlag, Berlin, 2018.
- [De08] Deci, E.; Ryan, R.: Self-Determination Theory: A Macrotheory of Human Motivation, Development, and Health. *Canadian Psychology* 49/3, S.182-185, 2008.
- [Fi18] Finkenberg, F.: Flipped Classroom im Physikunterricht. Logos-Verlag, Berlin, 2018.
- [Fr18] Fromme, B.: Fehlvorstellungen von Studienanfängern: Was bleibt vom Physikunterricht der Sekundarstufe I?. In (Nordmeier, V. & Grötzebauch, H., Hrsg.): *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Würzburg, S. 205-215, 2018.
- [Le19] Letzel, V.; Otto, J.: Binnendifferenzierung und deren konkrete Umsetzung in der Schulpraxis – eine qualitative Studie. *Zeitschrift für Bildungsforschung* 9/3, S.375-39, 2019.
- [Ma14] Mayer, R. (Hrsg.): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Second Edition, Cambridge University Press, 2014.
- [Pl10] Plass, J.; Moreno, R.; Brünken, R. (Hrsg.): *Cognitive Load Theory*. Cambridge University Press, 2010.
- [Sc21] Schwanke, H.; Kreikenbohm, A.; Trefzger, T.: Augmented Reality in Schülerversuchen der Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I. In (Habig, S. Hrsg.): *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP), S. 641-644, 2021.
- [St20] Stiller, C. et.al.: Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung* 2/2, S.28-39, 2020.