

Sabrina Syskowski^{1,2}
Timon Saatzer^{1,2}
Yves Renault¹
Johannes Huwer^{1,2}

¹Universität Konstanz
²Pädagogische Hochschule Thurgau

Einsatz von Augmented Reality im Unterricht Iodometrie und Magnetismus

Einleitung

Augmented Reality (AR) kann unterschiedlich positive Wirkungen auf den Lernprozess von Schülerinnen und Schülern (SuS), z.B. hinsichtlich der Motivation und Selbstwirksamkeit haben (Bacca Acosta, Baldiris Navarro, Fabregat Gesa & Graf, 2014; Cai, Liu, Wang, Liu & Liang, 2021). Zudem kann AR abstrakte Inhalte dreidimensional anschaulich und interaktiv erfahrbar werden. In den Naturwissenschaften wurde daher auch insbesondere das Verständnis submikroskopischer Prozesse durch die Verknüpfung mit makroskopischen Phänomenen untersucht (Krug, Czok, Weitzel, Müller & Huwer, 2021; Akçayır & Akçayır, 2017). Beim Experimentieren ermöglicht AR eine Erweiterung klassischer Lernumgebungen: Prozesse lassen sich in Echtzeit mit AR-Inhalten überlagern, wodurch Lernende ihr Verständnis vertiefen und individueller explorieren können (Syskowski, Wilfinger & Huwer, 2024). Damit bietet AR ein hohes Potenzial, naturwissenschaftliches Lernen nicht nur motivierender, sondern auch nachhaltiger zu gestalten.

Zielstellung und Forschungsfragen

Im Projekt ARIELLE stand die Entwicklung und Erforschung von AR-gestützten Lern-Apps für den naturwissenschaftlichen Experimentalunterricht im Mittelpunkt. Ziel war es, SuS eine möglichst selbstständige Durchführung von Praktika zu ermöglichen und den Erkenntnisgewinn durch animierte Modelle zu unterstützen. Es wurden vier Anwendungen entwickelt: Leitfähigkeit von Salzen (Chemie, Klassen 9/10), Säure-Base-Titration (Chemie, Klassen 9/10) (Syskowski, Preuß & Berber, 2023), Iodometrie (Chemie, Klasse 12, Leistungskurs) und Magnetismus (Physik, Klasse 7). Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf die Entwicklung und Erprobung der beiden zuletzt genannten Apps und untersucht deren Potenziale für das selbstständige Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Untersuchung wurde durch folgende zentrale Forschungsfragen geleitet: **FF1**: Wie sollte eine Lehr-Lernumgebung in Form einer App mit AR-Elementen zur Iodometrie / zum Magnetismus konzipiert sein? **FF2**: Wie bewerten SuS die Konzepte der Lehr-Lernumgebungen?

Methode

Die Konzepte der Apps wurden auf Grundlage des baden-württembergischen Lehrplans (Kultusministerium, 2022), der Cognitive Load Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2014) und etablierter Gestaltungsparameter für AR (Krug, Czok, Weitzel, Müller & Huwer, 2021) entwickelt. Der Entwicklungsprozess wurde im Rahmen partizipativer Aktionsforschung durch den regelmäßigen Austausch mit aktiven Lehrpersonen begleitet, um die Praxisrelevanz der Anwendungen sicherzustellen (vgl. Abb. 1, Zyklus 1 und 2) (Eilks & Ralle, 2002).

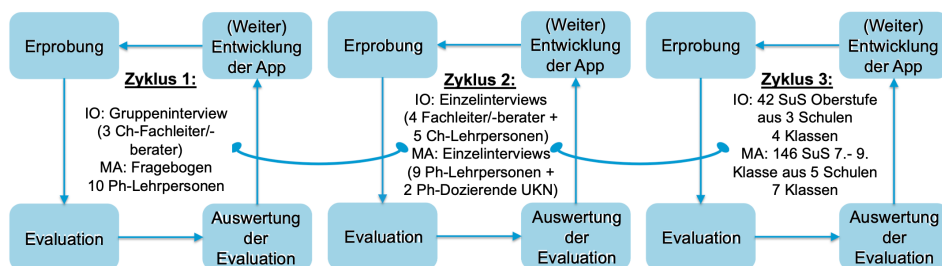


Abb.1: Schema der partizipativen Aktionsforschung nach Eilks & Ralle (Eilks & Ralle, 2002) (IO: Iodometrie, MA: Magnetismus, Ch: Chemie, Ph: Physik, UKN: Universität Konstanz)

Für die schulische Erprobung (vgl. Abb. 1, Zyklus 3) wurde die verkürzte Variante des User Experience Questionnaire (UEQ) (Schrepp, Hinderks & Thomaschewski, 2017) als Post-Fragebogen eingesetzt. Mit diesem Instrument wurde die Nutzererfahrung anhand von acht Items auf einer siebenstufigen Likert-Skala erfasst. Die ersten vier Items dienten der Erhebung der pragmatischen Qualität, die nächsten vier Items der hedonischen Qualität. Darüber hinaus erhielten die SuS die Möglichkeit, ergänzendes schriftliches Feedback zu geben.

Insgesamt nahmen 13 Lehrpersonen im ersten Zyklus und 20 Lehrpersonen im zweiten Zyklus teil. Für die Umsetzung der Iodometrie-App konnten vier Oberstufenklassen mit insgesamt 42 SuS gewonnen werden. An der Erprobung der Magnetismus-App beteiligten sich sieben Klassen der Jahrgangsstufen 7 bis 9 mit insgesamt 146 SuS.

Ergebnis und Diskussion FF1: Konzeption der AR-Lernumgebungen

Iodometrie

Die AR-Lernumgebung zur Iodometrie wurde für die Oberstufe im Fach Chemie entwickelt und greift die quantitative Bestimmung des Sulfidgehalts in Weißwein auf. Der Einstieg erfolgt über einen Comic, der die Weinherstellung und die Bedeutung des Sulfidgehalts thematisiert und so einen lebensweltlichen Bezug herstellt. Im anschließenden Experiment titrieren die SuS das Sulfit im Wein mit Iodlösung.

Die App unterstützt den Lernprozess durch AR-Elemente, die die Teilchenebene und die animierte Redox-Reaktion visualisieren (vgl. Abb. 3, Video: <https://youtu.be/RCxTdfME9Cw?si=hm3Ozpxd6YiZ3Mqh>, Blenderdatei: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17466603>). Diese Elemente ermöglichen es, Elektronenübergänge und Stoffumwandlungen nachvollziehbar darzustellen.

Das Feedback der beteiligten Lehrpersonen (LI) hob hervor, dass eine kurze, gezielte Einführung in die AR-Technologie sinnvoll sei, um den Fokus auf die fachlichen Inhalte zu lenken: „Unüblich wäre eine längere Methodendiskussion oder eine detaillierte Erklärung der Funktionsweise der Instrumente“ (LI3; bestätigt durch LI4, LI2). Zugleich wurde die Visualisierung der Elektronenübergänge als zentrales didaktisches Element betont: „Das ist das Herzstück ihrer Einheit. Deswegen sind die natürlich essentiell wichtig“ (LI7; bestätigt durch LI2, LI3, LI4, LI6).

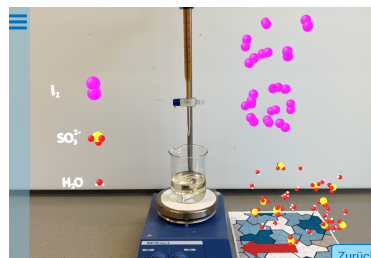


Abb.3 Teilchenebene Edukte Iodometrie.

Magnetismus

Die AR-Lernumgebung zum Thema Magnetismus richtet sich an SuS der Klassenstufen 7 bis 9. Der Einstieg erfolgt über die Erarbeitung grundlegender Eigenschaften von Magneten. Im Experiment untersuchen die Lernenden die Magnetisierung und Demagnetisierung eines Eisenstabs bzw. Nagels. Die AR-Elemente zeigen das Verhalten von Elementarmagneten und deren Ausrichtung bei Magnetisierungsvorgängen (vgl. Abb. 4, Video: <https://youtu.be/TFZisBqi2yA?si=OW6dvhdhbmBByH5>, Blenderdatei: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17466419>). Mehrere Lehrpersonen (LM) wünschten sich eine stärkere Interaktivität der Anwendung, beispielsweise durch Bewegungssteuerung („Schütteln“) (LM2, LM3). Zudem wurde der Mehrwert der AR-Visualisierung von einigen Beteiligten als noch nicht vollständig erkennbar beschrieben (LM2, LM4, LM7). Eine interessante Idee aus dem Lehrpersonenfeedback war die Nutzung eines echten Nagels als AR-Marker, um die Verbindung zwischen realem Objekt und digitaler Darstellung zu stärken. Aufgrund technischer Einschränkungen war dies jedoch bislang nur über einen papierbasierten Trigger realisierbar (LM1, LM2, LM6).

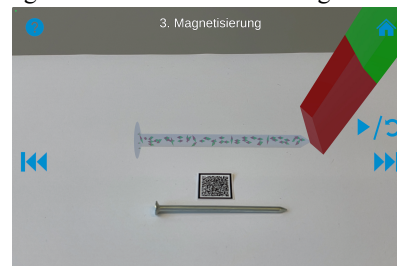


Abb. 4 Elementarmagneten in virtuellem Nagel

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass Lehrpersonen die reinen AR-Elemente bevorzugten anstelle einer fertigen App für eine Einheit. Laut den Lehrpersonen benötigen SuS eine kurze Einführung in die Nutzung von AR. Die AR-Elemente müssen einen didaktischen Mehrwert bieten, beispielsweise durch Bezug zur Realität, 3D-Darstellung, Animationen oder Interaktivität. Dies sind Gestaltungsparameter, die auch bei den meisten AR-Apps zum Experimentieren gefunden wurden (Krug, Czok, Weitzel, Müller & Huwer, 2021).

Ergebnis und Diskussion FF2: Bewertung durch SuS

Der User Experience Questionnaire (UEQ) wurde von 42 SuS (IO-Iodometrie) und 149 SuS (MA-Magnetismus) ausgefüllt. Im UEQ-Benchmark (Vergleich mit 468 Studien, $n = 21.175$) erzielten beide Apps Werte im Bereich „Good“ bis „Excellent“ (1.20-1.89). Die pragmatische Qualität wurde durchweg höher bewertet als die hedonische, was auf eine gute Nutzbarkeit, Verständlichkeit und Unterstützung beim Experimentieren hinweist. Die etwas geringeren Werte der hedonischen Items lassen sich durch Rückmeldungen wie „nicht so spannend“ (IO, MA) oder „Thema langweilig“ (IO) erklären. Insgesamt überwogen jedoch positive Kommentare wie „gut“ (MA), „sehr intuitiv gestaltet“ (IO), „Animationen hilfreich“ (IO) oder „unterstützend“ (MA). Diese Rückmeldungen unterstreichen, dass die AR-Lern-Apps vor allem hinsichtlich ihrer Benutzerfreundlichkeit und didaktischen Funktionalität überzeugen konnten. Die weniger ausgeprägte hedonische Bewertung verweist dagegen auf ein Verbesserungspotenzial im Bereich Motivation und emotionaler Aktivierung – etwa durch stärkere Gamification-Elemente oder interaktive Erweiterungen.

Limitation und Ausblick

Der Fragebogen erfasst weder Lernzuwachs noch wahrgenommene AR-Unterstützung; künftige Studien sollten den Einfluss auf Verständnis und experimentelle Kompetenz genauer untersuchen.

Literatur

- Akçayır, M. & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11.
- Bacca Acosta, J. L., Baldiris Navarro, S. M., Fabregat Gesa, R. & Graf, S. (2014). Augmented reality trends in education: a systematic review of research and applications. *Journal of Educational Technology and Society*, 17(4), 133-149.
- Cai, S., Liu, C., Wang, T., Liu, E. & Liang, J.-C. (2021). Effects of learning physics using Augmented Reality on students' self-efficacy and conceptions of learning. *British Journal of Educational Technology*, 52(1), 235-251.
- Eilks, I. & Ralle, B. (2002). Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung. Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. *CHEMKON* 9(1), 13–18.
- Krug, M., Czok, V., Weitzel, H., Müller, W. & Huwer, J. (2021). Gestaltungsparameter für Lehr Lernszenarien mit Augmented-Reality-Anwendungen im naturwissenschaftlichen Unterricht - ein Review. In N. Graulich, J. Huwer, & A. Banjerji (Eds.), *Digitalisation in Chemistry Education. Digitales Lehren und Lernen an Hochschule und Schule im Fach Chemie*, S. 52-58.
- Kultusministerium (2022). Bildungsplan Gymnasium Chemie. Überarbeitete Fassung vom 25.03.2022 (V2). Ministerium für Kultus Jugend und Sport Baden-Württemberg. Stuttgart.
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, S. 43–71.
- Schrepp, M., Hinderks, A. & Thomaschewski, J. (2017). Design and evaluation of a short version of the user experience questionnaire (UEQ-S). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4(6), 103-108.
- Syskowski, S., Preuß, I. & Berber, S. (2023). Projekt ARiELLE – Augmented Reality in Experimental Laboratory Learning Environments. *Frühe naturwissenschaftliche Bildung*, 70–73. <https://gdcpev.de/tagungsbaende/tagungsband-2024-band-44-2/>.
- Syskowski, S., Wilfnger, S. & Huwer, J. (2024). Impact and classification of augmented reality in science experiments in teaching - A review. *Education Sciences* 14,(7). <https://doi.org/10.3390/educsci14070760>.

Dank der Joachim Herz Stiftung für die Finanzielle Unterstützung und allen Lehrpersonen und Dozierenden für ihre Rückmeldungen und Stunden mit den Klassen.