

# Mixed Reality Demonstratoren für den Experimentalunterricht

Susanne Karsten, Daniel Jörg, Eva Hornecker

Fakultät Medien, Bauhaus-Universität Weimar

## Zusammenfassung

In diesem Paper stellen wir zentrale Ziele unseres Projekts ELIXIER vor, in dem interaktive Mixed Reality Lernumgebungen für Laborexperimente entwickelt werden sollen. Wir beschreiben die bisherigen nicht-funktionalen Mock-Ups der drei zu entwickelnden Demonstratoren, werfen Fragestellungen auf, die aus deren ersten Evaluationen resultieren und diskutieren diese sowie damit verbundene Designentscheidungen für den weiteren Entwicklungsprozess.

## 1 Einleitung

Die Durchführung von Experimenten ist ein zentraler Bestandteil in der Ausbildung von Chemikern, Biologen und Elektrotechnikern, sowohl in der universitären als auch in der beruflichen Aus- und Weiterbildung. Das didaktische Konzept des „erfahrbaren Lernens“ ist hier ein weithin akzeptiertes Prinzip des Wissenserwerbs. Theoretische Prinzipien werden durch die praktische Anwendung eines jeweiligen Test-Szenarios verdeutlicht und auf ihre Plausibilität hin geprüft (vgl. Cuendet et al., 2013).

Im Rahmen des Projekts ELIXIER zielen wir vor allem auf didaktisch-technologische Innovationen für die Durchführung von Real-Experimenten, die den aktuellen Lehr- und Lernanforderungen wie auch den technischen Möglichkeiten Rechnung tragen, die bisher marginal im Bildungssektor Einzug finden (vgl. Johnson-Glenberg et al., 2014; Tolentino et al., 2009). Hierfür sollen für drei ausgewählte Bereiche Demonstratoren entwickelt werden. Zur Sicherstellung der Lernförderlichkeit, Benutzerfreundlichkeit und der Möglichkeit der Einbettung des Mixed-Reality Systems in den Lern- und Lehralltag wurden bisher Requirement-Analysen durchgeführt sowie erste Evaluationen nicht-funktionaler Mock-Ups. In diesem Paper fokussieren wir auf die Beschreibung der bislang entwickelten Mock-Ups und werfen Fragestellungen auf, die aus deren ersten Evaluationen resultieren. Die damit in Verbindung stehenden Designentscheidungen für den weiteren Entwicklungsprozess diskutieren wir abschließend.

## 2 Experimentieren in erweiterten Real-Umgebungen

Im Projekt ELIXIER werden Demonstratoren entwickelt, die Lerner und Lehrer in allen Phasen des Experimentierens, d.h. in Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung unterstützen. Es wurden drei Disziplinen gewählt (Chemie, Elektromobilität, Neurobiologie), für die jeweils ein Demonstrator erstellt wird. Die Auswahl ergibt sich aus konkreten Ausbildungs- sowie strategischen Innovationsbedarfen der beteiligten Unternehmen.

Wir fokussieren in diesem Paper auf folgende zentrale und disziplinübergreifende Ziele der entstehenden Systeme:

1. Die Entwicklung einer **kontextbasierten tutoriellen Assistenz**, sowohl für Auszubildende und Studierende während der Durchführung von Versuchen als auch für Lehrpersonen beim Versuchsaufbau direkt in der Laborumgebung.
2. Die Schaffung **nutzerfreundlicher, kognitionsunterstützender MTI-Lösungen** im Kontext realer Experimentierumgebungen, wie z.B. Sprachsteuerung, Tracking von Gegenständen, Sensorik zum Erfassen von Experimentierzuständen, Aufprojektion von Hinweisen, Sprachausgabe, etc. sowie die Anbindung **vernetzter, intelligenter Lehrmittel und Laborausstattung** (Smart Objects).
3. Schaffung einer **webbasierten Infrastrukturlösung** (S2L) für intelligente Labore, die eine effiziente Adaptierung der Konzepte auf neue Lern- und Trainingsszenarien erlaubt.

## 3 Demonstratoren für den Experimentalunterricht

Die Entwicklung der drei Demonstratoren verläuft parallel. Es wird ein möglichst ähnlicher Aufbau der Mock-Ups und der webbasierten Infrastruktur angestrebt. Zudem werden gemeinsame Interaktionsprinzipien während der Nutzung sondiert. Der Aufbau der MR-Umgebungen soll an die jeweiligen Notwendigkeiten der Experimente angepasst sein. Die Demonstratoren für Chemie- und Neurobiologieexperimente werden jeweils an einer vertikalen magnetischen Tafel realisiert (vgl. Abb. 1 & 3) und der Demonstrator für die Elektromobilität auf einem Tisch (vgl. Abb. 5). An der oberen Kante der Tafel bzw. des Tisches befindet sich an einer Halterung ein Kurzdistanz-Beamer, der für Projektionen auf das Experimentierfeld zuständig ist sowie eine Videokamera. Diese erfasst mittels Mustererkennung, welche Interaktionen auf der Fläche stattfinden. Die vernetzte webbasierte Infrastruktur verarbeitet diese für die Vor- und Nachbereitung weiter. Die Tafel sowie der Tisch sind jeweils in unterschiedliche Interaktionsbereiche unterteilt. Vor der Nutzung eines Demonstrators loggt sich der Nutzer mit seinem individuellen Account im System ein. Je nach Anwender (Lerner-de/Lehrer) und synchronisierten Daten aus der Vorbereitung, liefert das System während der Durchführung eines Experiments die Aufbauanleitung, weiterführende Informationen sowie Fehler-Feedback auf dem Experimentierfeld (Aktionsbereich) oder über ein begleitendes Endgerät (Tablet). Generell sollen die in den drei Experimentierphasen generierten Daten in eine synchronisierte webbasierte Infrastruktur eingebettet werden.

### 3.1 Mock-Up für chemische Experimente

Der Demonstrator für chemische Experimente ist in zwei Bereiche unterteilt: Status- und Touchbereich (oberhalb) sowie Aktionsbereich (vgl. Abb. 1). Im Erstgenannten befindet sich derzeit der Nutzernamen, die Roadmap (jeweilige Experimentierphase) und der Ablaufplan sowie Interaktionsbuttons (Weiter, Hilfe). Im Aktionsbereich kann der Nutzer Geräte anbringen und erhält mittels Aufprojektion Informationen, Hilfestellungen sowie Feedback.

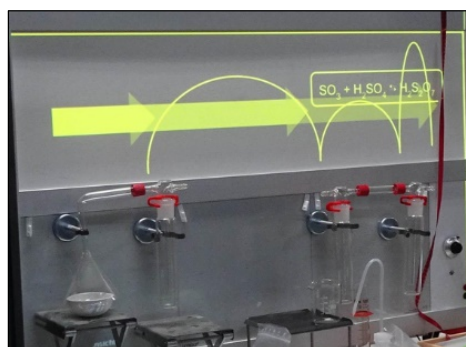
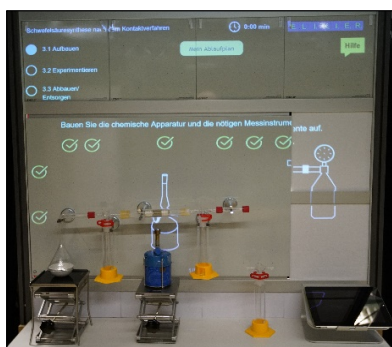


Abbildung 1: Mock-Up für chemische Experimente (links).

Abbildung 2: Visualisierung theoretischer Zusammenhänge mittels Augmentierung (rechts).

Vor Beginn eines Experiments müssen die benötigten Geräte (z.B. Reagenzgläser, Brenner, etc.) sowie Chemikalien zusammengesucht und bereitgestellt werden. Die Gerätschaften sollen sich in einer sogenannten Smart-Box befinden. Diese erkennt die herausgenommenen Gegenstände über eine noch festzulegende Marker- und Trackingtechnologie. Der Nutzer kann die Geräte mit dafür vorgesehenen magnetischen Haltevorrichtungen an der Tafel befestigen um Experiment aufzubauen. Die Kamera erkennt die relationale Positionierung der Teile. Während des Experimentierens werden im Aktionsbereich mittels Augmentierung auftretende chemische Reaktionen, ergänzende kontextsensitive Informationen und bei Bedarf vertiefende kurze Einspieler visualisiert (Abb. 2). Nach der Durchführung des Experiments unterstützt das System, wie die Geräte fachgerecht abgebaut und gereinigt sowie Chemikalien entsorgt werden müssen. Am Ende des praktischen Experiments erhält der Nutzer relevante Daten, die Inhalte nochmals vertiefen sowie ein persönliches Feedback. Während des gesamten Experimentalvorgangs soll der Lerner ein Protokoll auf dem Zusatzgerät (Tablet) führen, die er in der Nachbereitung nutzen sowie vervollständigen kann.

### 3.2 Mock-Up für neurobiologische Experimente

Die Tafel des Neurobiologie-Demonstrators ist ebenfalls in zwei Bereiche unterteilt. Im Gegensatz zum Chemie-Demonstrator werden hier keine realen Geräte oder Komponenten verwendet, sondern Bausteine (vgl. Abb. 3). Diese sollen magnetisch und in der Mitte mit einem E-Ink Display ausgestattet sein, der die jeweilige Funktion des Bausteins anzeigt (z.B. Ohr, Auge, Nervenzelle). Auf dem äußeren Rand des Bausteins befinden sich Messbuchsen,

LEDs sowie Andockstellen für weitere Bausteine (vgl. Abb. 4). Auf dem Rand sollen sich zudem Marker befinden, mittels denen das System dem jeweiligen Baustein eine ID zuweist sowie dessen Position an der Tafel erkennt. Die einzelnen Module haben eine eigene Stromversorgung und kommunizieren via Infrarot miteinander.

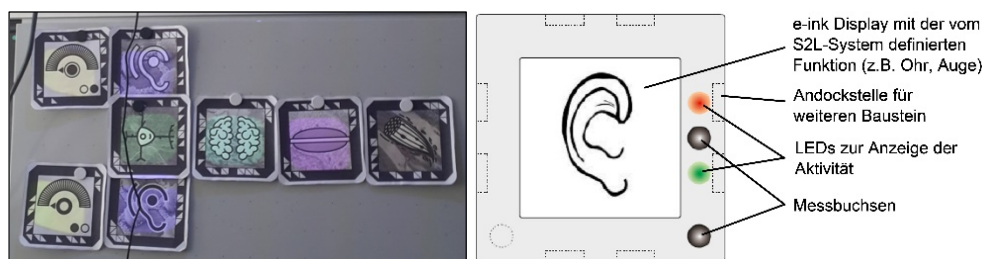


Abbildung 3: Mock-Up für neurobiologische Experimente (links) Abbildung 4: Neurobiologie-Baustein (rechts)

Mit dem Demonstrator sollen neurobiologische Experimente in Anlehnung an Real-Experimente nachvollzogen werden, wie z.B. die Bestimmung der Hörschwelle, der Sehvorgang, etc. Somit werden neuro-biologische Prozesse am Modell nachvollziehbar, die sonst in Bildungsinstitutionen nur durch Versuche am Tier sichtbar gemacht werden könnten.

Zu Beginn eines Experiments werden die benötigten Bausteine aus einer “Smart-Box” genommen. Diese weist ihnen zuvor ihre Funktion und ihre ID zu. Der Nutzer baut das Experiment mit Hilfe der Bausteine auf der Tafel auf. Durch die Positionierung der einzelnen Module nebeneinander, verbinden sich die Bausteine und simulieren einen Reizfluss, der von der Intensität abhängt, die durch ein Aktormodul eingegeben wird. Sowohl durch das blinken der LEDs als auch durch Augmentierungen über den Projektor und Visualisierungen über angeschlossene Mess-Module werden relevante Werte illustriert. Humanexperimente werden in der Form ermöglicht, dass z.B. die eigene Hörschwelle über den Anschluss von Kopfhörern ermittelt werden kann. Auf diese Weise kann die eigene Sinneswahrnehmung über das durchgeführte Experiment visualisiert werden.

### 3.3 Mock-Up für Experimente in der Elektromobilität

Der Elektromobilitäts-Demonstrator steht auf einer leicht nach vorn geneigten Tischplatte. Dies ist dem generellen Aufbau eines Elektroautos, aber vor allem der Größe und dem Gewicht von Realkomponenten geschuldet. Es gibt drei Bereiche, die untereinander angeordnet sind (vgl. Abb. 5). Der mittlere Bereich (Aktionsbereich) des Demonstrators ist leicht erhöht. Er stellt von oben gesehen die Draufsicht eines Autos schematisch dar. Neben eingefrästen Komponenten (Räder, Lenkrad) sind hier wichtige Original-komponenten eines Elektroautos (u.a. Antrieb, Hochvolt- und 12-V-Batterie, Trennstecker, etc.) fest in den Tisch eingebaut. Während des Experimentierens wird zusätzliches Experimental-Equipment genutzt (Voltmeter, Sicherheitshandschuhe und -brille). Der Bezug zu einem echten Elektro-auto sowie realistische Arbeitsbedingungen sollen somit möglichst authentisch gegeben sein. Das Gesamtsystem wird so konzipiert, dass auch bei nichtfach gerechtem Umgang mit diesem keine

Gefahr für den Nutzer besteht. Der untere Bereich des Tisches dient derzeit zur Steuerung des Interaktionsablaufs (z.B. Weiter-, Beenden-Button). Die konkreten praktischen Handgriffe des Experiments werden an den Realkomponenten vollzogen.

## 4 Fragestellungen zu Designentscheidungen



Abbildung 5: Elektromobilitäts-Mock-Up

Die drei Demonstratoren werden in einem nutzerzentrierten Entwicklungsprozess parallel erstellt sowie evaluiert. Dabei haben sich einige Fragestellungen herauskristallisiert, die generell für die Interaktion mit MR-Systemen im Experimentalunterricht relevant sind. Die wichtigsten werden im Folgenden dargestellt und kurz diskutiert.

Es zeigte sich, dass die Aufmerksamkeitssteuerung bei der Interaktion mit den Demonstratoren ein ausschlaggebender Punkt ist. Zum Teil wurde dem Nutzer nicht klar, wohin er seine Aufmerksamkeit richten soll, insbesondere dann, wenn verschiedene Teile beleuchtet oder Informationen gleichzeitig über die Projektion visualisiert werden. Somit ist eine zentrale Frage: (1) In welcher Form wird die

Steuerung der Aufmerksamkeit realisiert? Unsere bisherigen Ansätze verfolgen vorwiegend visuelle Strategien: einzelne Beschriftungen sollten nicht auf einmal, sondern nacheinander erscheinen und zusammengehörende Elemente/Informationen sollten kohärent dargestellt werden. Einzelne Bereiche auf dem Experimentierfeld sollten farblich unterschiedlich hervorgehoben werden, die Spotlight-Metapher sollte ebenso Verwendung finden wie visuelle Zoom-Effekte. Ebenfalls können unwichtige Elemente verdunkelt und neue kurz aufblinken. Daneben könnten auch akustische Signale zum Einsatz kommen

Aus Perspektive einer flexiblen Experimental-Umgebung stellt sich die Frage: (2) Wie kann eine freie Exploration realisiert werden, wenn der Experimentablauf feststeht? Hier muss darauf geachtet werden, dass die Nutzerinteraktion nicht zu stark durch die lineare Systemvorgabe des experimentellen Storyboards eingeschränkt wird. Experimentieren beinhaltet qua Definition freies Explorieren (vgl. Köster, 2006). Dieser Ansatz ist auch bei der Fragestellung zu berücksichtigen, (3) wie das Fehlerfeedback zu gestalten ist, wenn das Lernen unterstützt werden soll. Lerntheoretische Erwägungen konkurrieren hier mit Usability-Prinzipien der intuitiven Benutzerführung (vgl. DIN EN ISO 9241-110, 2006). Für den Bildungsbereich sind sicher ersteren Priorität einzuräumen. Abhängig wird die Interaktion auch davon sein, (4) welche Möglichkeiten der Nutzer hat, während des Experiments den Ablauf voranzutreiben. Wird dafür Spracherkennung implementiert? Gibt es neben interaktiven Augmentierungen auch physische Knöpfe (z.B. Dash-Buttons)? Damit einhergehend wird die lernrelevante Frage aufgeworfen: (5) Wie kann eine kontextsensitive Hilfe während des Experimentierens technisch realisiert und didaktisch sinnvoll eingesetzt werden?

Daneben stehen technische und praxisbezogenen Fragen: (6) Wo werden abgenommene Teile und Komponenten während des Experiments abgelegt und zusätzliche Geräte aufbewahrt? (7) Mit welcher Soft- und Hardware wird die kamerabasierte Erkennung realisiert? (8) Welche technischen Anforderungen hat eine Smart-box, die Statusinformationen an die web-basierte Infrastruktur liefern und gleichzeitig auch Modulen eine ID zuweisen können soll?

## 5 Ausblick

Neben der technischen Realisierung der Systemarchitektur und den einzelnen Komponenten im Experimentierprozess wird es eine große Herausforderung sein, die digital unterstützten Realexperimente so zu konzipieren, dass sie von den verschiedenen Dozenten in den Bildungsinstitutionen für sinnvoll erachtet werden. Hier gilt es die Konzepte daraufhin anzupassen, dass sie an den Arbeitsalltag der Lehrenden an Universität, Fachhochschule, Berufs- und Berufsfachschulen angepasst sind und sowohl aus lerntheoretischer als auch berufspraktischer Perspektive geeignet sind, in Bildungseinrichtungen eingesetzt zu werden.

## Danksagung

Das Projekt ELIXIER wird durch das BMBF im Förderschwerpunkt “Erfahrbares Lernen” unter Förderkennzeichen 16SV7567 und Verbundnummer V4ELE067 gefördert.

## Literaturverzeichnis

- Cuendet, S., Bonnard, Q., Do-Lenh, S. & Dillenbourg, P. (2013). *Designing augmented reality for the classroom*. In *Computers & Education*, 68, 557–569.
- DIN EN ISO 9241-110 (2006): *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung*. Beuth, Berlin.
- Köster, H. (2006). *Freies Explorieren und Experimentieren – eine Untersuchung zur selbstbestimmten Gewinnung von Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen im Sachunterricht*. Berlin: Logos.
- Johnson-Glenberg, M.C., Birchfield, D.A., Tolentino, L. & Koziupa, T. (2014). *Collaborative Embodied Learning in Mixed Reality Motion-Capture Environments: Two Science Studies*. *Journal of Educational Psychology*, 106(1), 86-104.
- Tolentino, L, Birchfield, D., Megowan-Romanowicz, C., Johnson-Glenberg, M., Kelliher, A. & Martinez, C. (2009). *Teaching and Learning in the Mixed-Reality Science Classroom*. *Journal of Science Education and Technology*, 18(6), 501-517.