

## ELIXIER: Didaktische Konzeption einer kompetenzorientierten Mixed-Reality-Experimentierumgebung

Dorothee Ermel, Jürgen Kirstein, Sebastian Haase und Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik  
dorothee.ermel@fu-berlin.de, juergen.kirstein@fu-berlin.de, sebastian.haase@fu-berlin.de,  
volkhard.nordmeier@fu-berlin.de

### Kurzfassung

Das Projekt ELIXIER (Erfahrungsbasiertes Lernen durch interaktives Experimentieren in erweiterten Realumgebungen) wird im Rahmen des Förderschwerpunkts „Erfahrbares Lernen“ durch das BMBF gefördert. Es erfolgt in Zusammenarbeit mit Projektpartnern aus Forschung, Kreativwirtschaft und Lehrmittelindustrie. Ziel ist die Demonstration und Evaluation einer intelligenten Experimentierumgebung für Praktika, die eine nahtlose Lernbegleitung (Seamless Learning) über alle Phasen des Experimentierprozesses (Orientieren - Vorbereiten - Durchführen - Nachbereiten) ermöglicht. Der Lernprozess wird durch die Echtzeit-Analyse von Handlungen und Experimentzuständen und über die intelligente Vernetzung aller Komponenten im “Seamless Smart Lab“ (S2L) unterstützt. Eine tutorielle Assistenz begleitet den Experimentierzyklus und stellt bedarfsgerecht Informationen und weiterführende Hinweise zur Verfügung.

### 1. Ausgangslage

Digitalisierung nimmt eine zunehmende Rolle in allen Lebensbereichen ein. „Sie eröffnet dabei neue Zugänge zu Bildung und [...] ist eine Chance für die Verbesserung der Qualität der schulischen Ausbildung sowie der Hochschulbildung“ (Ladel et al. 2018). Somit ist die Bildung in der digitalen Welt, wie es die Kultusministerkonferenz (2016) formuliert, ein großes Thema. Die klassische Aus- und Weiterbildung steht einem rasanten technologischen Wandel in der Gesellschaft gegenüber, und die didaktischen Potentiale der Digitalisierung bleiben auch an Hochschulen oft ungenutzt (Schmid et al. 2017). Um das Potential ‚digitalisierter‘ Lehre für Hochschulen systematisch nutzen zu können, müssen zunächst didaktische und methodische Settings und ihr sinnvoller Einsatz für verschiedene Zielgruppen und Anlässe sowie deren Wirkungen erforscht werden (Salmi et al. 2016).

In den naturwissenschaftlichen Studienfächern sowie in der beruflichen Ausbildung sind experimentelle Praktika wichtiger Bestandteil. In empirischen Untersuchungen wurde wiederholt gezeigt, dass

- in traditionellen Praktika die verfolgten Ziele häufig nicht erreicht werden (Mühlenbruch et al. 2014; Theyßen 2000),
- Wissen im Vorfeld erworben werden muss und Skripte oft als einzige Quelle eine zentrale Rolle spielen (Hucke 1999),
- konventionelle Techniken der Vorbereitung in Form eines Skriptes nur eingeschränkt helfen (Zastrow 2001).

Im Bereich der Experimentalpraktika ist hierbei eine positive Entwicklung zu beobachten. Bezogen auf naturwissenschaftliche Grundpraktika wurden be-

reits unterschiedliche Vorhaben zur Verbesserung durchgeführt.

In einer Studie von (Kreiten 2012) wird z. B. zusätzlich zu den klassischen Skripten ein multimedialer Ansatz verfolgt; ähnlich wie im Projekt *Technology-Supported Labs* (Mühlenbruch et al. 2014). Beide Vorhaben kamen zu dem Ergebnis, dass eine multimediale Unterstützung in der Praktikumsvorbereitung lernförderlich sein kann. Auch weitere Konzepte, wie die Nutzung von *Augmented Reality (AR)* beim Experimentieren, wurden in ersten Studien als potentiell lernförderlich eingestuft (Bacca et al. 2014; Radu 2014). AR kombiniert Realität und Virtualität interaktiv, die Darstellung erfolgt in Echtzeit und registriert 3D-Objekte (Azuma 1997). Entscheidend hierbei ist, dass diese Erweiterung nicht statisch und einmalig, sondern kontinuierlich und angepasst an den aktuellen Standpunkt des jeweiligen Betrachters passiert (Dörner et al. 2013).

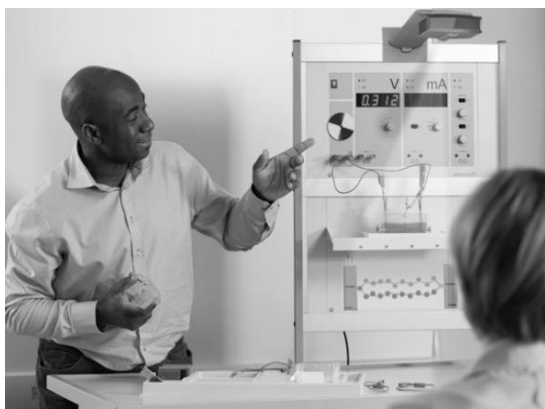
### 2. Ziele

Das Projekt ELIXIER hat somit zum Ziel, eine Unterstützung und Verbesserung experimenteller Praktika in Universitäten, Hochschulen und der beruflichen Bildung zu ermöglichen durch

- direkte Integration **multimedialer Elemente** in jeder Phase des Experimentierens und in das reale Experiment,
- automatisch generierte Interaktive Bildschirmexperimente (**IBE**, vgl. Kirstein und Nordmeier (2007)) des individuellen (realen) Experiments,
- **adaptive Unterstützung** des Experimentierprozesses durch Analyse von Handlungen und Experimentzuständen,

- intelligente Vernetzung aller Komponenten durch eine webbasierte Infrastrukturlösung (**Seamless Smart Lab**).

Das in der Abbildung 1 gezeigte ELIXIER-Zukunftsszenario soll den Nutzen einer im Sinne unseres Vorhabens erweiterten Mixed-Reality-Experimentierumgebung illustrieren: Ein didaktisch-technologisches Netzwerk aus realen Experimentiergeräten und virtuellen Komponenten unterstützt Lernende beim Experimentieren im Laborpraktikum durch eine adaptive Lernbegleitung.



**Abb.1:** Das reale Experiment im Praktikum wird simultan zum Experimentierprozess durch Aufprojektion multicodal augmentiert.

Die webbasierte Infrastruktur des "Seamless Smart Lab"-Systems (S2L) ermöglicht darüber hinaus die virtuelle Fortsetzung eigener Experimente über die zeitlichen und räumlichen Grenzen des Laborpraktikums hinaus im IBE-Format. Die im Projekt ELIXIER verfolgten Lösungsansätze haben zahlreiche didaktisch-technologische Innovationen für das Lehren und Lernen in realen wie auch in realitätsnahen (virtuellen) Laborumgebungen zum Ziel:

- Kontextbasierte tutorielle Assistenz für Lernende bei der Versuchsdurchführung als auch für Lehrende zur Vorbereitung.
- Nutzerfreundliche, kognitionsunterstützende MTI-Lösungen für reale Experimentierumgebungen, wie Sprachsteuerung, Tracking von Gegenständen, Sensorik zum Erfassen von Experimentzuständen, Aufprojektion von Hinweisen und Sprachausgabe.
- Anbindung vernetzter, intelligenter Lehrmittel und Laborausstattung (Smart Objects).
- Lernanalyse (*Learning Analytics*) über Interaktionsmuster und Sensordaten beim Experimentieren in der (erweiterten) Realumgebung.
- Webbasierte Infrastrukturlösung für intelligente Labore, zur effizienten Adaptierung des S2L-Konzepts auf neue Lern- und Trainingsszenarien.

Die im Vorhaben zu entwickelnden Demonstratoren dienen der methodischen Erforschung und Evaluati-

on mit verschiedenen Nutzergruppen (universitäre und berufliche Bildung). Machbarkeit und Mehrwert eines universell anwendbaren Lern- und Unterstützungssystems für Laborpraktika werden auf diese Weise in unterschiedlichen Nutzungskontexten untersucht und optimiert. Einen wesentlichen Forschungsschwerpunkt stellen dabei Aspekte der Usability, sowie Fragen der didaktischen Gestaltung der Lerninhalte und tutoriellen Assistenz dar.

### 3. Didaktische Konzeption

Im Teilprojekt „Didaktische Konzeption und Demonstration einer webbasierten Autoren- und Lernumgebung zur Verknüpfung realer und virtueller Erfahrung“ wurden didaktische und lerntheoretische Anforderungen untersucht und ein Konzept für eine Mixed-Reality-Experimentierumgebung entwickelt.

#### 3.1. Kombination von Theorie und Realität

Im erfahrungsbasierten Lernen bildet die praktische, konkrete Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand den Ausgangspunkt für ein aktives, reflektives Lernen, das sowohl auf praktische Fähigkeiten als auch abstraktes Verständnis zielt. Hettmannsperger (2015) betont den positiven Nutzen multipler Repräsentationsformen zum tieferen Verständnis von Experimenten und der ihnen zugrundeliegenden Konzepte. „Beim Durchführen und Verstehen von Experimenten müssen Daten von physikalischen Phänomenen mittels unterschiedlicher externer Repräsentationen (wie Text, realistische, schematische und logische Bilder oder Formeln) dargestellt werden, um sie für individuelle und kooperative Denk- und Lernprozesse verfügbar zu machen“ (ebd., S. 5). Es ist daher vorgesehen, das Realexperiment durch virtuelle theoretische Hintergrundinformationen oder Prozesse anzureichern. Die Ausgabe erfolgt in unserem System mittels einer Projektion und auditiven Elementen (Abb. 2). Es wird somit ermöglicht, Informationen, die normalerweise nicht sichtbar sind, direkt in der realen Welt darzustellen. Somit wirken die virtuellen Objekte, als würden sie zur Realumgebung gehören (Azuma 1997). Auch die Bedienung



**Abb.2:** Ein Proband wird beim Aufbau eines Chemie-experiments unterstützt. Ortsnah werden ihm Hinweise für das weitere Vorgehen gegeben.

eines Gerätes oder der Aufbau einer Versuchsanordnung wird durch AR-Unterstützung direkt in der Realität erfahrbar. Anleitungen für Benutzerhand-

lungen werden so erheblich einfacher, da sie sich unmittelbar auf die realen Objekte oder Handlungen beziehen. Sprachliche Anleitungen in der Form "Bringen sie Schalter (20) in Position (3) und lesen dann Display (12) ab.", werden überflüssig. Zudem kann durch die multimediale AR-Unterstützung gezielt die Aufmerksamkeit der Lernenden visuell oder auditiv gesteuert werden, indem Bedienelemente oder Teile des Experiments hervorgehoben werden.

### 3.2. Lernplattform, Realexperiment und Nutzen- de interagieren

In den Lernszenarien des ELIXIER-Konzepts ist das Ausbilden handlungsorientierter Kompetenzen (z. B. für den Versuchsaufbau, das Bedienen von Geräten) zentral. Mit S2L werden unter Anleitung durch das System und mit erweitertem Feedback auch praktische, handlungsorientierte Fertigkeiten trainiert, welche nur am realen Gerät erlernt werden können. Die Lernenden verbinden diese realweltlichen Erfahrungen mit der im IBE gespeicherten Version, die das Experiment realitätsnah abbildet. Die integrierte Umgebung bietet zudem multiple Repräsentationen, die mit dem Experiment dynamisch verknüpft sind und so das Problemlösen sowie den Lerntransfer unterstützen (Abb. 3).



**Abb.3:** Beispielhafte Darstellung einer Mixed-Reality-Experimentierumgebung mit Aufprojektion.

Mit dem S2L-Konzept soll eine Verbesserung der handlungsorientierten Experimentierkompetenz und des verstehenden Lernens vom Praktikumsexperiment bis zum Trainingssystem erreicht werden. Handlungen der Lernenden werden während des Versuchsablaufs in der Realität direkt rückgekoppelt. Zum Beispiel sind Fehlbedienungen, Gefahrensituationen oder das Abweichen vom ‚idealen‘ Versuchsverlauf automatisch erkennbar. Das multimediale AR-Display des S2L lenkt die Aufmerksamkeit und blendet (animierte) Hinweise und Hilfen unmittelbar am Ort des Geschehens ein. Im digitalen Lernmaterial visualisiert das Zeigen auf einen Begriff oder ein grafisches Symbol das korrespondierende Objekt in der Realität – und umgekehrt. Ergänzende Inhalte (Erläuterungen, Handlungsanleitungen, Tests) lassen sich in der Bedarfssituation dynamisch bereitstellen und erhalten so eine für die

Lernenden unmittelbare Relevanz im realen Experimentierprozess.

### 3.3. Lernanalyse und tutorielle Assistenz

Wir gehen im Rahmen der inzwischen allgemein akzeptierten konstruktivistischen Auffassung vom Lehr-Lernprozess davon aus, adaptive Mixed-Reality-Lernumgebungen anzubieten, die einen erfahrungsbasierten, selbstgesteuerten Aufbau von Wissensstrukturen effektiv unterstützen. Ausgangspunkt für Lehr-Lernprozesse sind reale Probleme in authentischen Situationen, entsprechend den Ansätzen des „Situiereten Lernens“ (Fölling-Albers et al. 2004) und der „Anchored Instruction“ (AI) (Bransford et al. 1990). Das Forschungsgebiet der Lernanalyse (Chatti et al. 2012) beschäftigt sich mit der Aggregation, Analyse und Interpretation von Lerner\*innen-Daten, mit dem Ziel, Lernfortschritte zu messen und zu verbessern. Die Echtzeit-Lernanalyse ermöglicht eine unmittelbare Rückmeldung über den Stand des individuellen Lernprozesses. Dies ist eine wesentliche Grundlage für die Personalisierung des Lernens oder die Steuerung tutorieller Assistenz. Im Vorhaben sollen auf dieser Basis neuartige Verfahren entwickelt und untersucht werden, welche Messgrößen, Interaktions- oder Handlungsmuster aus realen Laborszenarien als Indikatoren im Rahmen der Lernanalyse einbeziehen. Ausgehend von einer kontextorientierten Aufgaben- oder Problemstellung ist der Experimentierprozess durch die Phasen Planung, Durchführung und Nachbereitung gekennzeichnet. Über die enge Vernetzung von realer Erfahrung mit virtuellen Elementen der Lernumgebung lässt sich dieser Zyklus über die Präsenzphase in neuer Qualität erweitern. Es werden Anlässe geschaffen, erforderliches Wissen zu erarbeiten, und Möglichkeiten gegeben, dies bedarfsgerecht und individuell zu verfolgen. Das didaktische Konzept sieht beispielsweise vor, die theoretischen Grundlagen nicht im Lernmaterial voranzustellen, sondern erst dann bereitzustellen, wenn sich für die/den Lernenden ein Theoriebedarf aus der Notwendigkeit für die Problemlösung ergibt. Das kann z. B. bereits in der Planungsphase der Fall sein oder auch später im Experimentierprozess selbst, etwa bei Problemen bei der sachgerechten Handhabung eines Gerätes. Die Lernangebote sollen den Lernprozess begleiten, ohne fertiges Wissen vorzugeben. Sie integrieren Werkzeuge für den aktiven Kompetenzerwerb und bieten Funktionen zum Sammeln, Präsentieren und Strukturieren von Lernergebnissen.

### 4. Projektbegleitende Evaluation

In einem iterativen Prozess sollen das System und dessen Bestandteile evaluiert werden. Wir wählen dafür einen qualitativen Ansatz, der neben der Sicherstellung der Benutzerfreundlichkeit und Lernförderlichkeit auch die Einbettung des Systems in den Lern/Lehralltag und die Unterrichtssituation mit berücksichtigt. In den frühen Phasen des Projekts wurden bereits Mock-Ups der Demonstratoren sowie

der Autorenumgebung evaluiert (u. a. in Fokusgruppeninterviews mit Praktikumsleitern als Expert\*innen, sowie Usability-Studien in Form geleiteter Walk-throughs, die Lernsituationen simulieren), um Expert\*innenfeedback zur Systemfunktionalität zu erhalten. Im weiteren Verlauf werden die Prototypen der Demonstratoren heuristisch evaluiert und anhand vereinfachter Szenarien in Nutzerstudien untersucht. In der finalen Evaluation werden die Demonstratoren im Rahmen von videobasierten Studien probeweise in Experimentalsituationen eingesetzt. Mit Hilfe der Think-Aloud-Methode kann ein Einblick in die Denkprozesse der Lernenden gewonnen werden. Durch den Einsatz des S2L Prototypen im universitären Unterricht (z. B. in den Laborpraktika) werden zudem Erfahrungen dazu gewonnen, wie sich das System in den Lehralltag einfügt, wie es das Lernen verändert, und welche Maßnahmen für die optimale Integration in Lehr-Lernkontexte aus der Perspektive der Lehrenden notwendig sind. Aus den hier gewonnenen Einsichten können Empfehlungen zur Gestaltung künftiger S2L-Szenarien gewonnen werden, beispielsweise zur Positionierung und des Timings von Anweisungen im Experimentalaufbau, zur Dokumentation der Versuche im IBE.

## 5. Zusammenfassung

Das Projekt ELIXIER hat zum Ziel, ein nahtloses Lernen zu erlauben und den Wechsel zwischen verschiedenen Lernaufgaben und Lernorten zu unterstützen. Interaktive Bildschirmexperimente und die erweiterte Experimentierumgebung helfen, den Bruch zwischen theoretischer Vorbereitung und praktischen Anforderungen in physikalischen Praktika zu überwinden. Interaktive Medienbausteine ermöglichen das Experimentieren und Erkunden in Räumen und in Situationen, die in der Realität nicht zugänglich sind, und bieten eine hochgradige Modularität der interaktiven, webbasierten Inhalte.

## 6. Literaturverzeichnis

- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 (4), 355–385.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S. & Kinshuk. (2014). Augmented Reality Trend in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Educational Technology & Society* 17 (4), 133–149.
- Bransford, J. D., Sherwood, R. D., Hasselbring, T. S., Kinzer, C. K. & Williams, S. M. (1990). Anchored Instruction: Why We Need It and How Technology Can Help. *Cognition, education, and multimedia: Exploring ideas in high technology*, 115–141.
- Chatti, M. A., Dyckhoff, A. L., Schroeder, U. & Thüs, H. (2012). A Reference Model for Learning Analytics. *International Journal of Technology Enhanced Learning (IJTEL)* (4), 318–331.
- Dörner, R., Broll, W., Grimm, P. & Jung, B. (Hrsg.). (2013). *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*. Berlin: Springer-Verlag.
- Fölling-Albers, M., Hartinger, A. & Mörtl-Hafizovic, D. (2004). Situiertes Lernen in der Lehrerbildung. *Zeitschrift für Pädagogik* 50 (5), 727–747.
- Hettmannsperger, R. (2015). *Lernen mit multiplen Repräsentationen aus Experimenten. Ein Beitrag zum Verstehen physikalischer Konzepte*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Hucke, L. (1999). *Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und Computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums*. Dissertation, Universität Dortmund. Dortmund.
- Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2007). Multimedia representation of experiments in physics. *European Journal of Physics* 28 (3), S115-S126.
- Kreiten, M. (2012). *Chancen und Potenziale webbasierter Aufgaben im physikalischen Praktikum*. Dissertation, Universität zu Köln. Köln.
- Kultusministerkonferenz (Hrsg.). (2016). *Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz*. Berlin: KMK Berlin.
- Ladel, S., Knopf, J. & Weinberger, A. (Hrsg.). (2018). *Digitalisierung und Bildung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Mühlenbruch, T., Rehfeldt, D. & Nordmeier, V. (2014). TSL: Interventionsgestaltung im Nebenfachpraktikum.
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education. A meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing* 18 (6), 1533–1543.
- Salmi, H., Thuneberg, H. & Vainikainen, M.-P. (2016). Making the invisible observable by Augmented Reality in informal science education context. *International Journal of Science Education, Part B* 7 (3), 253–268.
- Schmid, U., Goertz, L., Behrens, J., Michel, L. P., Radomski, S. & Thom, S. (2017). *Monitor Digitale Bildung. Die Hochschulen im digitalen Zeitalter*. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.
- Theyßen, H. (2000). *Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion*. Berlin: Logos Verlag.
- Zastrow, M. U. (2001). *Interaktive Experimentieranleitungen. Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im physikalischen Praktikum* (Studien zum Physiklernen, Bd. 18). Berlin: Logos-Verl. (Zugl.: Berlin, Humboldt-Universität, Diss., 2001).