

## ELIXIER: Demonstration einer kompetenzorientierten Mixed-Reality-Experimentierumgebung

Jürgen Kirstein, Dorothee Ermel, Sebastian Haase und Volkhard Nordmeier

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

### Kurzfassung

Das Projekt "Erfahrungsbasiertes Lernen durch interaktives Experimentieren in erweiterten Realumgebungen (ELIXIER)" wird im Rahmen des Förderschwerpunkts "Erfahrbares Lernen" durch das BMBF gefördert. Ziel ist die Demonstration und Evaluierung einer intelligenten Experimentierumgebung für Praktika, die eine "nahtlose" Lernbegleitung über alle Phasen des Experimentierprozesses (Vorbereiten - Durchführen - Nachbereiten) ermöglicht. Auf Grundlage der didaktischen Konzeption einer Autoren- und Lernumgebung zur Verknüpfung realer und virtueller Erfahrungen wurden erste Lernszenarios ausgestaltet, in denen es möglich ist, Wissen und Fertigkeiten effizient und praxisnah zu erwerben.

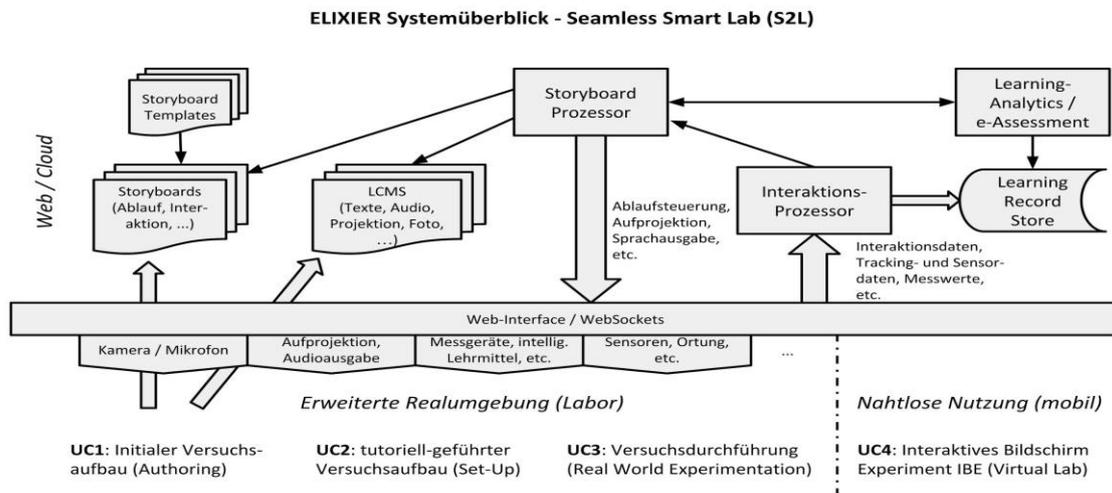
### 1. Das "Seamless Smart Lab"

Zentrales Element der Lernprozessunterstützung im Seamless Smart Lab (S2L) ist die direkte Rückkopplung von Handlungen während des Versuchsablaufs: Fehlbedienungen, Gefahrensituationen oder das Abweichen vom idealen Versuchsverlauf werden automatisch erkannt. Das multimodale 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 den Lernenden unmittelbare Relevanz im realen Experimentierprozess.

**Anleitung wird in der Realität erfahrbar.** Die Bedienung eines Gerätes oder der Aufbau einer

Versuchsanordnung wird durch Augmented-Reality-Unterstützung direkt in der Realität erfahrbar. Die Anleitungsschritte sind dabei mit den Benutzerhandlungen rückgekoppelt. Anleitungstexte werden so erheblich einfacher, da sie sich unmittelbar auf die realen Objekte oder Handlungen beziehen. Heute noch übliche sprachliche Anleitungen in der Form "Bringen sie Schalter (20) in Position (3) und lesen dann Display (12) ab.", werden überflüssig. Zudem kann durch die AR-Unterstützung gezielt die Aufmerksamkeit der Lernenden gesteuert werden, indem Bedienelemente oder Teile des Experiments hervorgehoben werden.

**Berührungslose Interaktion.** In einigen Experimentalsituationen kann eine berührungslose Interaktion mit der digitalen Umgebung nützlich sein. Damit wären experimentelle Handlung mit beiden Händen durchführbar, während gleichzeitig Informationen abgerufen oder sogar eingegeben werden.



**Abb.1:** Das S2L-System integriert intelligente Laborausstattung mit Medientechnik und Lernmaterialien zu einer webbasierten Gesamtlösung.

Realisieren kann man diese berührungslose Interaktion u.a. durch Sprachsteuerung. ELIXIER setzt Elemente der kognitiven Theorie multimedialen Lernens (Mayer 2009) und darauf basierende Prinzipien für instruktionale Maßnahmen durch die Kombination von Hard- und Software in völlig neuer Weise um: Kontiguität (visuelle Hinweise und Feedback zur Gerätebedienung oder zur Anleitung des Experiments werden unmittelbar am Ort der Handlung gezeigt), Segmentierung (die hochgradige Modularisierung der Lerneinheiten erlaubt eine Individualisierung der Assistenzfunktion), Modalität (Sprachausgabe von Erklärungen und Bedienungshinweisen mit synchronen visuellen Hinweisen auf z.B. Lage und Handhabung von Bedienelementen).

**Webbasierte Infrastruktur.** Wesentliche Säule der technischen Umsetzung ist die S2L-Infrastruktur (vgl. Abb.1), die auf Grundlage der didaktisch-technischen Anforderungen konzipiert und implementiert wird. Als durchgängiges Lernkonzept für das Laborpraktikum realisiert das S2L neben der augmentierten Präsenzumgebung auch eine vom Endgerät unabhängige Nutzbarkeit (PC, Laptop, Tablet, interaktives Whiteboard) und verbindet so verschiedene (praxisnahe) Lernsituationen. Damit lässt sich die Relevanz curricularer Lerninhalte erhöhen (Ebner et al. 2010). S2L überwindet durch die universelle Nutzbarkeit und die in die Versuchsumgebung eingebettete Technologie typische Nutzungsbrüche im Kontext des Laborpraktikums: zwischen verschiedenen Lernzeiten und Lernorten, realem Experiment und digitalem Lernmaterial, Versuchsgeräten und Anleitungen sowie zwischen verschiedenen Lernaufgaben und -aktivitäten.

Das webservice-basierte S2L-Backend realisiert dabei einerseits die kontextgesteuerte Auslieferung der Inhalte zur Augmentierung und Anleitung. Andererseits werden alle im realen Versuchskontext produzierten Interaktions-, Sensor- oder Messdaten erfasst, analysiert und zur weiteren Steuerung des Ablaufs in das System zurückgekoppelt. In einem sogenannten "Learning Record Store" werden zusätzlich alle zur individuellen Analyse des Lernfortschritts benötigten Daten temporär gespeichert. Ein wesentlicher Beitrag zur Flexibilität der Experimente wird durch den Einsatz drahtloser, zu einem Netzwerk verknüpfter Sensorik geleistet.

**Lernanalyse/E-Assessment.** Die Lernanalyse (Chatti et al. 2012) beschäftigt sich mit der Aggregation, Analyse und Interpretation von Lerner-Daten, mit dem Ziel Lernfortschritte zu messen, Problembereiche aufzudecken und zu verbessern. Echtzeit-Lernanalyse ermöglicht zudem eine unmittelbare Rückmeldung über den Stand der individuellen Zielerreichung während des Lernprozesses – eine wesentliche Grundlage für Personalisierung von Lernwegen oder die Steuerung tutorieller Assistenz. Personalisierte E-Assessment Systeme (Saul & Wuttke 2013) erlauben die Lernanalyse auch in interaktiven simulierten Szenarien. Im Vorhaben

ELIXIER untersuchen wir, welche Messgrößen, Interaktions- oder Bewegungsmuster sich als Indikatoren für die Lernanalyse einbeziehen lassen.

**Automatisches Generieren der IBE-Repräsentation.** Im realen Experimentaufbau werden die verwendeten Gerätemodule und Komponenten erfasst und lokalisiert. Während der Durchführung erfasst das System laufend Zustandsdaten des Experiments sowie alle Benutzerhandlungen. S2L hält von allen verfügbaren Experimentkomponenten modulare IBE-Repräsentationen bereit, aus denen dann ein individuelles IBE generiert werden kann. Damit lässt sich das Realexperiment entweder zeitbasiert reproduzieren oder interaktiv, zur realitätsnahen Wiederholung der experimentellen Handlungen, einsetzen.

## 2. Erfahrungsbasiertes Lernen

Unser Konzept für erfahrungsbasiertes Lernen orientiert sich am Modell des Handlungszyklus, das in der allgemeinen naturwissenschaftlich-technischen Bildung dem Experimentieren eine Struktur gibt. Ausgehend von einer kontextorientierten Aufgaben- oder Problemstellung ist der Handlungszyklus durch die Phasen Planung, Durchführung und Reflexion gekennzeichnet (Kircher et al. 2015). Über die enge Vernetzung von realer Erfahrung mit virtuellen Elementen der Lernumgebung lässt sich dieser Zyklus über die Präsenzphase in neuer Qualität erweitern. Er bildet einen „roten Faden“, der den Lernenden Orientierung gibt und gleichzeitig Anlässe schafft, in Unter- oder Teilzyklen für den Problemlöseprozess erforderliches Wissen zu erarbeiten. So sieht unser didaktisches Konzept beispielsweise vor, die theoretischen Grundlagen nicht im Lernmaterial voranzustellen, sondern erst dann bereitzustellen, wenn sich für den Lernenden ein Theoriebedarf aus der Notwendigkeit für die Problemlösung ergibt. Das kann beispielsweise bereits in der Planungsphase der Fall sein oder auch später im Experimentierprozess selbst, etwa bei Problemen bei der sachgerechten Handhabung eines Gerätes.

Die berufliche Bildung greift das didaktische Modell des Handlungszyklus im Rahmen der Arbeitsprozessorientierung auf (Howe & Knutzen 2007). Der fortschreitende technologische und ökonomische Wandel wirft mehr denn je die Frage auf, mit welchen didaktischen Konzepten sich berufliche Bildung adäquat und effektiv gestalten lässt. Diese Frage besitzt eine besondere Brisanz mit Blick auf die Tatsache, dass umfassende berufliche Handlungs- und Gestaltungskompetenzen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Aus dem Modell des Handlungszyklus abgeleitete arbeitsprozessorientierte Lehr-Lernkonzepte können durch die enge Verbindung von Lernen und Arbeiten die Entwicklung dieser Kompetenzen in besonderer Weise fördern (Fischer 2003). Auch hier bildet der Handlungszyklus von der Auftragsannahme, über die Planung, Durchführung bis zur abschließenden Reflexions-

und Übergabephase einen „roten Faden“ für die Gestaltung der S2L-Lernumgebung.

In den fachlichen Lernszenarien unseres Konzepts erfahrungsbasierten Lernens ist dabei 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 motorisch-kinästhetisch praktische Fertigkeiten trainiert, welche nur am realen Gerät erlernt werden können. Die Lernenden verbinden diese realweltlichen Erfahrungen weiter mit der im IBE gespeicherten Version, die das Experiment realitätsnah abbildet und daher die Erinnerung auch im Sinne der Embodied Cognition reaktiviert. Die integrierte Umgebung bietet zudem multicodale Repräsentationen (Weidenmann 1997), die mit dem Experiment dynamisch verknüpft sind und so die das Problemlösen sowie den Lerntransfer unterstützen.

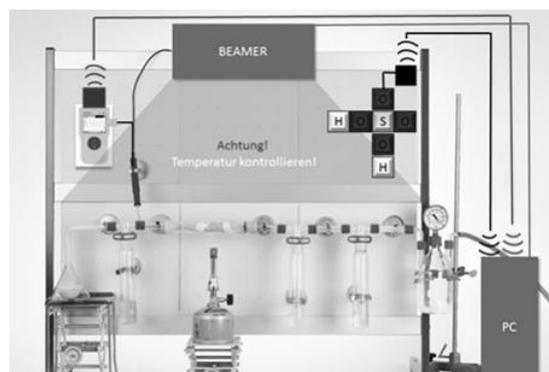
Mit dem beantragten Konzept soll eine Verbesserung der handlungsorientierten Experimentierkompetenz und des verstehenden Lernens vom Praktikumsexperiment bis zum Trainingssystem erreicht werden. Durch die Vernetzung des digitalen Lernmaterials mit den Komponenten des Experimentaufbaus und einer Augmentierung durch das S2L-System realisiert ELIXIER neue Formen realweltlicher Erfahrung wie auch der Anschauung. Die im Experiment erfassten Echtzeit- Messdaten dienen etwa zur Steuerung von aufprojizierten Animationen, mit denen sich nicht direkt sinnlich erfahrbare Vorgänge als unmittelbares Feedback der Folgen von Handlungen des Lernenden direkt im Experiment über fachspezifische Symbolsysteme veranschaulichen lassen. Beispielsweise sind das elektrische Leitungsvorgänge, Materieströme, Felder oder auch Details der technischen Funktion eines Gerätes, die von außen nicht wahrnehmbar sind. Interaktive Repräsentationen der individuellen experimentellen Erfahrung werden so auch zum integralen Bestandteil personalisierter Lernmaterialien. Die Vision: das digitale Portfolio als „Sammelmappe“ für experimentelle Erfahrung, die dem Studierenden über die akademische bzw. berufliche Ausbildung hinaus zur Verfügung stehen und mit anderen geteilt werden können. Damit wird ELIXIER zum Begleiter auf einem lebenslangen Bildungsweg und ermöglicht auch noch in der Berufspraxis anschauliche Rückgriffe auf grundlegende Ergebnisse erfahrungsbasierten Lernens mit dem Experiment im Praktikum oder Training. Auch die praktische Realisierung kumulativer Lernkonzepte erweitert ELIXIER damit entscheidend.

### 3. Die Demonstratoren

Die Innovationen des S2L-Systems sollen in drei verschiedenen naturwissenschaftlichen Experimenten in die Praxis umgesetzt und evaluiert werden. Die nachfolgend skizzierten Demonstratoren defi-

nieren jeweils spezifische didaktische sowie technische Anforderungen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen an Funktionsumfang und Schnittstellen der prototypischen S2L-Infrastruktur, sowie an Präsentationsformen und Inhalte.

**Chemie** In vielen Bildungseinrichtungen mangelt es an Zeit und Experimentiererfahrung der Lehrenden. Mit dem Demonstrator für chemische Experimente wird durch eine enge Führung und Unterstützung die Vorbereitungszeit minimiert und die Erfolgswahrscheinlichkeit des Experimentes auch bei ungeübten Experimentatoren erhöht. Demonstriert wird das Experiment als Bestandteil einer nahtlosen Lernumgebung aus intelligenten Experimentiermodulen, Objekten der Laboreinrichtung und interaktiven Online-Lernmaterialien, die individuelle experimentelle Erfahrung über die Laborumgebung hinaus trägt. Die Geräte des Experimentaufbaus sind magnetisch auf einer Tafel fixiert, wobei das S2L-System Position und Verbindungen von Apparaturen und Geräten, ebenso wie Messdaten, in Echtzeit erfasst. Darauf basierende Daten werden über ein Projektionssystem direkt auf der Experimentiertafel



**Abb. 2:** Beispielhafte Darstellung einer Mixed-Reality-Experimentierumgebung (Chemie).

dargestellt (Abb. 2). Inhalte des Lernmaterials oder auch Gerätezustände passen sich situativ dem vom System erkannten oder dem vom Lernenden angeforderten Bedarf im Experimentierzyklus individuell an. Das System bietet damit unmittelbares und elaboriertes Feedback als Ergänzung experimenteller Erfahrung. Alle Ergebnisse des Experiments und alle weiteren relevanten Daten der Lernumgebung werden cloudbasiert gespeichert und sind damit jederzeit und überall verfügbar. Mobile Endgeräte sind in das webbasierte System transparent eingebunden. Diese Form der individualisierten digitalen Lernmaterialien ermöglicht ein vertiefendes Studium auch außerhalb der Experimentumgebung.

Die Orientierung, sowie die Vor- und Nachbereitung des Experiments erfolgen multimedial am Computer und nehmen unmittelbar Einfluss auf die Hinweise und Gestaltung der Versuchsdurchführung. So kann sich ein/eine Lernende/r individuell Schwerpunkte und Ziele setzen, den Handlungsablauf durch geeignete Hinweise selbstständig planen und interaktiv

den Versuchsaufbau am Computer vorbereiten. Begleitet wird dies von geeigneten Hilfestellungen oder weiterführenden Informationen. Während der Versuchsdurchführung werden Lerninhalte und Hinweise mit einem Beamer projiziert. Dies kann z.B. der individuell geplante Versuchsaufbau sein. Die Inhalte können sich situativ an den Experimentzustand anpassen, indem Sensordaten aufgenommen, Objekte getrackt oder Handlungen analysiert werden. So werden im Laufe der Versuchsdurchführung Hintergrundprozesse der chemischen Reaktionen sichtbar gemacht, simultan zum Versuchsfortschritt ändern sich die angezeigten Molekülbewegungen, die Reaktionsgleichung wird an der passenden Stelle angegeben oder Warnhinweise werden projiziert.

**Elektromobilität** Grundlage ist ein auf einer großflächigen Tafel in der Draufsicht schematisch dargestelltes Elektrofahrzeug. Die im Zusammenhang mit dem Elektroantrieb relevanten Komponenten lassen sich an den entsprechenden Fahrzeugpositionen platzieren. Den Bezug zum Realfahrzeug ermöglichen dabei passive Originalkomponenten. An den Punkten, wo der Einsatz von Originalkomponenten zu einem „Block-Box“-Effekt führen würde oder sich aus Aspekten der elektrischen Sicherheit verbietet, werden didaktisch aufbereitete Komponenten eingesetzt. Über Aufprojektion werden ergänzende Informationen, Erläuterungen oder Arbeitsanweisungen direkt am betreffenden Bauteil angezeigt, die im Gegensatz zu traditionellen Lehrunterlagen dynamisch an die aktuellen Anforderungen anpassbar sind, unmittelbare Rückmeldungen geben und interaktive Aufgaben- und Testformate in die Lernumgebung integrieren. Zusätzlich wird der Teil des öffentlichen Versorgungsnetzes auf der Tafel dargestellt, der zur Ladeinfrastruktur gehört, um diesen realitätsnah mit dem virtuellen Elektrofahrzeug verbinden zu können. Das S2L System stellt so die sonst nicht sichtbaren Energieströme nachvollziehbar dar.

**Neurobiologische Experimente** Der Demonstrator zum Thema Neurobiologie soll Experiment und Simulation verbinden. Im Aufbau wird die physiologische Messung am eigenen Körper mit dem modellhaften Aufbauen und Simulationen physiologischer Vorgänge, die der Messung zugrunde liegen, verknüpft. Das reale Experiment wird mit humanphysiologischen Sensoren und zugehörigen Peripherie-Geräten durchgeführt. So wird bei der Messung der Hörschwelle – durch das S2L-System gesteuert – Frequenz und Lautstärke eines Tons variiert. Die Lernenden geben ihr Feedback über die Hörbarkeit der Töne (Messergebnis) zurück an das System. Die Gerätemodule des Demonstrators werden auf der vertikalen CPS-Magnettafel mit zusätzlich benötigten Informationen über das Experiment verbunden. Messdaten werden unmittelbar in Echtzeit auf die Tafel projiziert. Die Simulation physiologischer

Vorgänge erfolgt mit Hilfe intelligenter Neuro-Bausteine auf der Magnettafel. Die Lernenden bauen hier im ersten Schritt aus den Bausteinen neuronale Verknüpfungen auf, u.a. mit den Neuro-Bausteinen Sinneszelle, Nervenzelle mit Dendriten und Axon oder Effektorzelle. Einmal aufgebaut, kann mit den Neuro-Bausteinen die Reizweiterleitung in der neuronalen Verschaltung simuliert werden, z.B. das Erkennen von Tönen über Hörsinneszellen. Das S2L-System stellt systemische, bzw. makroskopische Effektoren der Neuro-Bausteine dar, z.B. das Gehirn, und liefert damit einen vertieften Bezug zur Erlebniswelt des Lernenden. Vorgänge an Sinneszellen und Neuronen werden so anschaulich gemacht und die Übertragung dieser Vorgänge auf die makroskopische Erlebniswelt der Lernenden erleichtert. Durch die direkte Integration sowohl der humanbiologischen Sensoren für die Messung von Körperfunktionen als auch der intelligenten Neuro-Bausteine in die S2L-Umgebung erfolgt eine kontinuierliche Begleitung des Lernenden im gesamten Handlungszyklus des Experiments. Handlungsanweisungen und Zusatzinformationen werden zu passenden Zeitpunkten ein- und wieder ausgeblendet. Das gesamte Experiment mit Dokumentation kann im weiteren Verlauf der Lerneinheit auch auf mobilen Endgeräten verfolgt und bearbeitet werden.

#### 4. Literaturverzeichnis

- 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.
- Ebner, M.; Kolbitsch, J.; Stickel, C. (2010). iPhone/iPad Human Interface Design. In: G. Leitner, M. Hitz & A. Holzinger (Hg.), *A Human-Computer Interaction in Work & Learning, Life & Leisure*, Berlin: Springer, 489-492.
- Fischer, M. (2003). Grundprobleme didaktischen Handelns und die arbeitsorientierte Wende in der Berufsbildung. In: *bwp@H.4*. Online verfügbar: [http://www.bwpat.de/ausgabe4/fischer\\_bwpat4.pdf](http://www.bwpat.de/ausgabe4/fischer_bwpat4.pdf)
- Howe, F.; Knutzen, S. (2007). *Die Kompetenzwerkstatt*. Ein berufswissenschaftliches E-Learning Konzept. 1. Auflage. Göttingen: Cuvillier.
- Kircher, E.; Girwidz, R.; Häußler, P. (Hg.) (2015): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Mayer, R.E. (2009). *Multimedia learning*. 2.ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press
- Saul, C.; Wuttke, H.-D. (2013). Assessment 3.0 meets Engineering Sciences. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL2013)*. Kazan
- Weidenmann, B. (1997). "Multimedia": Mehrere Medien, mehrere Codes, mehrere Sinneskanäle? *Unterrichtswissenschaft*, 25 (3), 197-206.