

Seamless Smart Labs

Jürgen Kirstein¹, Eva Hornecker³, Holger Grossmann², Volkhard Nordmeier¹

¹Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik, Arnimallee 14, 14195 Berlin

²Fraunhofer Institut für digitale Medientechnologie, Technology-enhanced Learning and Training - TeLT, Ehrenbergstr. 31, 98693 Ilmenau

³Bauhaus Universität Weimar, Fak. Medien - HCI, Bauhausstraße 11, D-99423

kirstein@physik.fu-berlin.de, eva.hornecker@uni-weimar.de, holger.grossmann@idmt.fraunhofer.de, nordmeier@physik.fu-berlin.de

Kurzfassung

Das Internet der Dinge wird in den kommenden Jahren Teil der Lebenswirklichkeit. Für realitätsnahe Bildungsanwendungen eröffnen „Smart Objects & Services“ grundlegend neue Möglichkeiten von Interaktion wie zum kontextbasierten Wissenserwerb. In die Realwelt integrierte digitale Lernangebote vermitteln bzw. trainieren anwendbares Wissen und Können dort, wo es benötigt wird. Mit unserem Vorhaben "Seamless Smart Labs (S2L)" zielen wir auf Experimentierumgebungen wie Laborpraktika, die zum festen Bestandteil jeder praxisnahen Hochschulausbildung und ingenieurtechnischen Berufspraxis gehören. Durch sie werden Hypothesen und Verfahren in der Praxis überprüf- und erfahrbare. Sie trainieren grundlegende praktische Fertigkeiten, die in allen naturwissenschaftlichen, technischen oder medizinischen Fachdisziplinen essentiell sind. Das hohe Innovationstempo erfordert insbesondere in technologieorientierten und wissensintensiven Bereichen effiziente Formen lebenslanger Weiterbildung. Das steht im Widerspruch zu den erheblichen, mit der Anschaffung praxisorientierter Lehrmittel und Trainingssysteme verbundenen Aufwänden. Gesucht werden Lösungen, die i) effizient und flexibel auf neue Weiterbildungskontexte übertragbar sind, ii) das reale Experimentieren tutoriell unterstützen und iii) die aufwändige (und daher seltene) praktische Erfahrung durch praxisnahe interaktive Angebote im Digitalen möglichst nahtlos ergänzen. Dieses Verbundvorhaben von Forschung und Wirtschaft ist im Rahmen des Förderprogramms "Erfahrbares Lernen" beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) beantragt [1].

1. Ziele und Umsetzung des Vorhabens

Der Aus- und Weiterbildungssektor steht aktuell einem rasanten technologischen Wandel gegenüber. Die mobile, allgegenwärtig verfügbare Mediennutzung, die weltweite Vernetzung von Wissensressourcen und Diensten und nicht zuletzt die neuen Formen der Mensch-Technik-Interaktion (MTI) prägen bei den Lernenden Nutzungsgewohnheiten und Erwartungen, die auf einen eher konservativen Bildungssektor treffen. Dieser Veränderungsprozess führt bei Bildungsanbietern wie Lehrmittelherstellern zu einem erheblichen Innovationsdruck, insbesondere im internationalen Wettbewerb.

Das in Abbildung 1 dargestellte Zukunftsszenario soll am Beispiel einer möglichen Umsetzungsvariante den Nutzen einer im Sinne des Vorhabens erweiterten Mixed-Reality-Experimentierumgebung illustrieren. Lernende werden beim Experimentieren im Laborpraktikum über ein innovatives didaktisch-technologisches Netzwerk aus realen Experimentiergeräten und virtuellen Komponenten durch die adaptive Begleitung individueller Handlungen unterstützt. Die webbasierte Infrastruktur des S2L-Systems ermöglicht darüber hinaus die virtuelle

Fortsetzung eigener Experimente über die zeitlichen und räumlichen Grenzen des Praktikums hinaus in Form des interaktiven Bildschirmexperiments (IBE)



Abb. 1: Das reale Experiment im Praktikum wird simultan zum Experimentierprozess per Aufprojektion multicodal augmentiert. Neben der kontextbasierten tutoriellen Assistenz (Anleitung, Lenken der Aufmerksamkeit) gehören dazu auch parametergesteuerte Animationen, hier der Transport von Ionen in einem Elektrolyten bei verschiedenen Stromstärken. Quelle: LD Didactic, Montage AG Nordmeier.

und leistet damit einen Beitrag zum lebenslangen Lernen akademisch ausgebildeter Expertinnen und Experten (vgl. Abb. 2).

Die im Vorhaben 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 sowohl für Lernende während der Durchführung von Versuchen als auch für Lehrpersonal zur Vorbereitung eines Versuchsaufbaus direkt in der Laborumgebung.
- Schaffung nutzerfreundlicher, kognitionsunterstützender MTI-Lösungen im Kontext realer Experimentierumgebungen, wie Sprachsteuerung, Tracking von Gegenständen, Sensorik zum Erfassen von Experimentenzuständen, Aufprojektion von Hinweisen oder Sprachausgabe.
- Anbindung vernetzter, intelligenter Lehrmittel und Laborausstattung (Smart Objects).
- Verfahren zur Lernerfolgskontrolle durch Lernanalyse anhand von Interaktionsmustern und fusionierten Sensordaten beim Experimentieren in der (erweiterten) Realumgebung.
- Schaffung einer webbasierten Infrastrukturlösung (S2L) für intelligente Labore, die eine effiziente Adaptierung der Konzepte auf neue Lern- und Trainingszenarien erlaubt.
- Teilautomatisierte Erstellung von virtuellen, interaktiven Versionen realer Experimente (IBE) als Teil des lebenslangen, instutionsübergreifenden Wissens- bzw. Erfahrungsportfolios (tet.folio) zur „nahtlosen“ (Nach-)Nutzung.



Abb. 2: Das im Praktikum individuell realisierte Experiment ist für die Lernenden im Format eines IBE im tet.folio auch mobil verfügbar.

Demonstratoren sollen diese Innovationen in die Praxis umsetzen. Sie dienen der methodischen Erforschung und systematischen Evaluierung mit Nutzergruppen. Machbarkeit und Mehrwert eines universell anwendbaren Lernsystems für Laborpraktika

werden auf diese Weise in unterschiedlichen Nutzungskontexten untersucht und optimiert. Augmentierte Experimentiersysteme, intelligente Analyseinstrumente sowie das zugehörige Lernmaterial bilden die inhaltliche Säule der S2L-Integration. Einen wesentlichen Forschungsschwerpunkt stellen dabei Usability-Aspekte real-virtueller Mensch-Maschine-Schnittstellen, augmentierter Realität und tangibler Interfaces sowie Fragen der didaktischen Gestaltung der Lerninhalte und tutoriellen Assistenz im Kontext des Experimentierens dar. Das Thema Messwerterfassung / Sensorik wirft ebenfalls didaktische Fragestellungen, beispielsweise bezüglich Reproduzierbarkeit vs. Genauigkeit von Messergebnissen, auf, die es zu untersuchen gilt.

2. Zum didaktisch-technologischen Konzept

Im erfahrungsbasierten Lernen bildet die praktische, konkrete Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand den Ausgangspunkt für ein aktives, reflektives Lernen das sowohl auf praktische Fähigkeiten wie abstraktes Verständnis zielt. Das Vorhaben fördert so ein wahrhaft ubiquitäres (d.h. realweltliches und sensorbasiertes) Lernen [2]. Wir gehen im Rahmen der inzwischen allgemein akzeptierten konstruktivistischen Auffassung vom Lehr-Lernprozess davon aus, 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 „Situierens Lernens“ [3] und der „anchored instruction“ [4].

Unser didaktisches Konzept für erfahrungsbasierten 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. 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.

Auch aktuelle Konzepte der beruflichen Bildung greifen das didaktische Modell des Handlungszyklus im Rahmen der Arbeitsprozessorientierung wieder

auf [5]. Der fortschreitende technologische und ökonomische Wandel wirft jedoch 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 [6]. 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 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-kinaesthetisch 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 multicode Repräsentationen [7], die mit dem Experiment dynamisch verknüpft sind und so die das Problemlösen sowie den Lerntransfer unterstützen. Mit dem S2L-Konzept soll eine Verbesserung der handlungsorientierten Experimentierkompetenz und des verstehenden Lernens vom Praktikumsexperiment bis zum Trainingssystem erreicht werden. Die unmittelbare Verknüpfung von Handlung und Mixed-Reality-Erfahrung bietet erweiterte Zugänge zu Inhalten hinter dem Experiment.

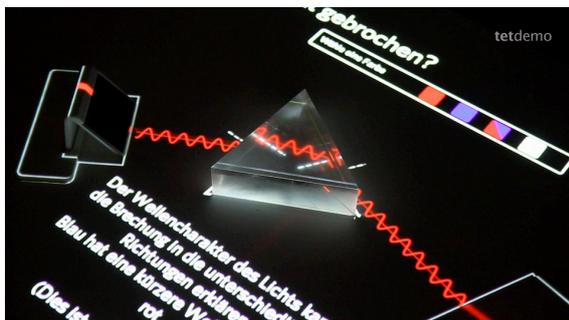


Abb. 3: S2L greift auf Erfahrungen mit dem Konzept des "tet.table" zurück, in dem Mixed-Reality-Experimentiersysteme für Ausstellungen bereits im Rahmen des Projekts "Technology Enhanced Textbook" erfolgreich realisiert wurden.

Durch die Vernetzung des digitalen Lernmaterials mit den Komponenten des Experimentaufbaus und einer Augmentierung realisiert das S2L-System neue

Formen der tutoriellen Unterstützung 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.

Den modernen Anforderungen einer lernerzentrierten Didaktik begegnet das Vorhaben u.a. durch die konsequente Umsetzung moderat-konstruktivistischer Prinzipien: Das (individuell angeleitete) Experiment bleibt für den Studierenden nicht (wie heute noch) nur eine singuläre Erfahrung im Praktikum, sondern lässt sich künftig über die Präsenzphase hinaus vielfältig mit vorhandenem Wissen oder praxisnahen Kontexten vernetzen und kann so zum Erwerb von Selbstlernkompetenz beitragen. Die durch das S2L-System im individuellen Experimentierprozess erfassten Handlungs- und Messdaten erlauben die Gestaltung formativer Assessment-Prozesse auf Basis von teilautomatisch generierten IBE als weiterem Element des didaktischen Konzepts, der ein aktives und exploratives Auseinandersetzen mit dem Lerngegenstand fördert. So lassen sich komplexe Situationen in den Handlungszyklus einbauen, die dem Lernenden Problemlösungskompetenzen abverlangen und so unmittelbares Feedback über die individuelle Zielerreichung geben. Die Einbeziehung von interaktiven Inhalten (IBE) unterstützt den handlungsorientierten Erkenntnisprozess unmittelbar.

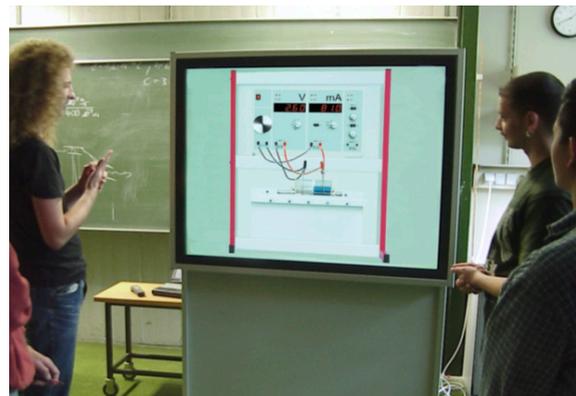


Abb. 4: Als IBE-Objekt im tet.folio lässt sich das Praktikumsexperiment flexibel in verschiedensten Lehr-Lernarrangements einsetzen. Wie hier zum gemeinschaftlichen Lernen (Präsentation, Reflexion) an einem Touchscreen.

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 das Praktikumsexperiment 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 das S2L-System damit entscheidend.

Das Projekt berücksichtigt auch Bedürfnisse des Lehrpersonals, z.B. die direkte Unterstützung bei der sachgerechten Vorbereitung von Experimenten sowie der adäquaten Einbettung des S2L-Systems in den Lehr/Lernkontext und unterstützt die Weiterbildung der Lehrenden, z.B. bei der Integration neuer Experimente.

3. Bausteine einer S2L-Umgebung

Lernplattform, Realexperiment und Nutzer interagieren Handlungen des Lernenden werden während des Versuchsablaufs in der Realität direkt rückgekoppelt. Zum Beispiel sind Fehlbedienungen, Gefahrensituationen oder das Abweichen vom idealen Versuchsverlauf automatisch erkennbar. Das multimodale 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 den Lernenden unmittelbare Relevanz im realen Experimentierprozess.

Anleitung wird in der Realität erfahrbar Die Bedienung eines Gerätes oder der Aufbau einer Versuchsanordnung wird durch AR-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. Realisieren kann man diese berührungslose Interaktion u.a. durch Sprachsteuerung. S2L setzt Elemente der kognitiven Theorie multimedialen Lernens [Ma09] und darauf basierende Prinzipien für instruktionale Maßnahmen durch die Kombination von Hard- und Software auf neue 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 Bedienhinweisen mit synchronen visuellen Hinweisen auf z.B. Lage und Handhabung von Bedienelementen).

Webbasierte Infrastruktur Wesentliche Säule der technischen Umsetzung der Pilotszenarien ist die S2L-Infrastruktur, die in den frühen Projektphasen auf Grundlage der didaktisch-technischen Anforderungen konzipiert und implementiert werden soll. 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 curriculärer Lerninhalte erhöhen [8]. 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.

Lernanalyse / E-Assessment Das Forschungsgebiet der Lernanalyse [9] beschäftigt sich mit der Aggregation, Analyse und Interpretation von Lernerdaten, 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 [10] erlauben Lernanalyse auch in interaktiven simulierten Szenarien, in denen ein Lernender Wissen kreativ anwendet. Im Vorhaben sollen auf dieser Basis neuartige Verfahren entwickelt und untersucht werden, welche Messgrößen, Interaktions- oder Bewegungsmuster aus realen Laborszenarien als Indikatoren im Rahmen der Lernanalyse einbeziehen.

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.

4. Projektbegleitende Evaluation

Wir wählen für die Evaluation einen qualitativen Ansatz, der neben der Sicherstellung der Lernförderlichkeit und Benutzerfreundlichkeit auch die Einbettung des Systems in den Lern/Lehralltag und die Unterrichtssituation mit berücksichtigt. In den frühen Phasen des Projekts werden Mock-Ups der Demonstratoren sowie der Autorenumgebung evaluiert (u.a. in Fokusgruppeninterviews mit Praktikumsleitern als Experten, sowie Usabilitystudien in Form geleiteter Walk-throughs, welche Lernsituationen simulieren), um Expertenfeedback zur Systemfunktionalität zu erhalten, sowie den Interaktionsablauf und das Interfacedesign zu prüfen. Im weiteren Verlauf werden erste 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. Zudem können die Videos weiter analysiert werden, wobei wir uns an das Vorgehen der Video-Interaktionsanalyse anlehnen, bei der das Zusammenspiel zwischen verbalen Äußerungen und manuellen Handlungen sowie der Realumgebung untersucht wird. Zusätzlich werden qualitative Interviews zur subjektiven User Experience geführt. Dabei werden komplementär Methoden der qualitativen Inhaltsanalyse [11] sowie der Video-Interaktionsanalyse [12] zur Auswertung eingesetzt, um Aufschluss über die Kognitiverung des Handlungsprozesses sowie die handlungssteuernde Rolle der haptisch-manuellen Interaktion mit der Umwelt (hier dem System) im Sinne der Distributed Cognition zu erhalten. Bereits in der Frühphase des Projekts finden Akzeptanzstudien statt, und alle späteren Studien binden Nutzer zentral ein (in Form von Fokusgruppen, Benutzerstudien, experimentellem Lehreinsatz). Durch den Einsatz des S2L Prototypen im universitären Unterricht (z.B. in den an der FUB laufenden Praktika) 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-

und Lernkontexte aus der Perspektive der Lehrenden notwendig sind (Methoden: Interviews, Beobachtung, Tagebuch-Studien). Aus den hier gewonnenen Einsichten können Empfehlungen zur Gestaltung zukünftiger S2L-Szenarien (zu anderen Experimentalaufbauten und -gebieten) gewonnen werden, beispielsweise zur Positionierung und des Timings von Anweisungen im Experimentalaufbau, zur Dokumentation der Versuche im IBE etc.

5. Zusammenfassung

Mit S2L werden wesentliche Elemente des MSL Ansatzes (Mobile-assisted Seamless Learning [13]) erstmals für das universitäre Laborpraktikum prototypisch umgesetzt und erforscht. MSL Systeme erlauben ein nahtloses, allgegenwärtiges Lernen und unterstützen den Wechsel zwischen verschiedenen Lernaufgaben und Lernorten. Interaktive Bildschirmexperimente (IBE) [14] helfen, den Bruch zwischen theoretischer Vorbereitung und praktischen Anforderungen in physikalischen Praktika zu überwinden [15]. Sie haben das Potential, einen ähnlich guten Lernerfolg zu bewirken wie Realexperimente [16]. Die geplante Entwicklung der S2L-Infrastruktur setzt auf dem tet.folio-Konzept [17] auf. Das Technology Enhanced Textbook (TET) als mobiles, interaktives Lehrbuch verknüpft bewährte Elemente des Lehrbuchs mit neuartigen Bezügen zur Lebenswelt: Interaktive Medienbausteine ermöglichen das Experimentieren und Erkunden in Räumen und in Situationen, die in der Realität nicht zugänglich sind, und bietet eine hochgradige Modularität der interaktiven, web-basierten Inhalte. Nach wie vor bieten computergestützte Lernsysteme jedoch vorwiegend Simulationsumgebungen, welche nicht mit den für die Ausbildung wichtigen realen Experimentalaufbauten gekoppelt sind. Virtuelle Labore ermöglichen es den Lernenden, Experimente in der Simulation durchzuführen und sind daher ubiquitär verfügbar im Sinne mobilen Lernens. Auch bieten sie weder Zugang zu den realen Phänomenen, noch trainieren sie den Umgang mit komplexen Laboraufbauten sowie manuell-kinästhetische Fertigkeiten. Mit S2L schließen wir diese Lücke im Sinne eines wahrhaft ubiquitären (d.h. realweltlichen und sensorbasierten) Lernens.

6. Literatur

- [1] Informationen zur Fördermaßnahme "Erfahrbares Lernen" des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Online verfügbar unter: <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung.php?B=972> (zuletzt geprüft am 04.11.2015).
- [2] Rogers, Y., Price, S., Randell, C., Stanton Fraser, D., Weal, M. & Fitzpatrick, G. (2005) Ubilearning integrates indoor and outdoor experiences. *Commun. ACM* 48, 1, pp. 55-59.
- [3] Gruber, H. & Renkl, A. (2000): Die Kluft zwischen Wissen und Handeln: Das Problem des

- trägen Wissens. In G. H. Neuweg, Hrsg., Wissen–Können–Reflektion (S. 155-174). Wien: Studien-Verlag.
- [4] Bransford, J.D. et al. (1990): Anchored instruction: Why we need it and how technology can help. In D. Nix & R. Sprio (Eds), *Cognition, education and multimedia*. Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates.
- [5] Howe, Falk; Knutzen, Sönke (2007): Die Kompetenzwerkst@tt. Ein berufswissenschaftliches E-Learning Konzept. 1. Auflage. Göttingen: Cuvillier.
- [6] Fischer, M. (2003): Grundprobleme didaktischen Handelns und die arbeitsorientierte Wende in der Berufsbildung. In: bwp@, H.4. Online verfügbar unter http://www.bwpat.de/ausgabe4/fischer_bwpat4.pdf (zuletzt geprüft am 09.09.2015).
- [7] Weidenmann, B. (1997). „Multimedia“: Mehrere Medien, mehrere Codes, mehrere Sinneskanäle? *Unterrichtswissenschaft*, 25 (3), 197-206.
- [8] Ebner, M., Kolbitsch, J., & Stickel, C. (2010). iPhone / iPad Human Interface Design. In: G. Leitner, M. Hitz & A. Holzinger (Hrsg.), *A Human-Computer Interaction in Work & Learning, Life & Leisure*, Berlin: Springer, 489-492.
- [9] 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(5/6), S. 318–331.
- [10] Saul, C., & Wuttke, H.-D. (2013). Assessment 3.0 meets Engineering Sciences. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL 2013)*. Kazan.
- [11] Mayring, P. (2010): *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. 11., aktual., überarb. Aufl. Weinheim: Beltz.
- [12] Jordan, B., & Henderson, A. (1995) *Interaction Analysis: Foundation and Practice*. *The Journal of the Learning Sciences*, 4, 39-103
- [13] Wong, L.H. & Looi, C.K. (2012). Enculturing Self-Directed Seamless Learners: Towards a Facilitated Seamless Learning Process Framework Mediated by Mobile Technology.” *WMUTE 2012: Seventh IEEE International Conference on Wireless, Mobile and Ubiquitous Technology in Education*.
- [14] Kirstein, J., & Nordmeier, V. (2007): Multimedia representation of experiments in physics. In: *IOP, Eur. J. Phys.* 28 (2007), 115-126.
- [15] Zastrow, M. (2001): Interaktive Experimentieranleitungen – Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im Physikalischen Praktikum. In: H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen*, Bd. 18, Berlin: Logos.
- [16] Bransford, J.D. et al. (1990): Anchored instruction: Why we need it and how technology can help. In D. Nix & R. Sprio (Eds), *Cognition, education and multimedia*. Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates.
- [17] Neuhaus, W., Kirstein, J., & Nordmeier, V. (2012). Didaktische Funktionen des Lehrbuchs der Zukunft. In: *Phydid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 2012*. Berlin: Freie Universität Berlin - AG Nordmeier.