#labor
#spezial
#fachgegenstand

Andreas Pester, Michael E. Auer

Online-Labore

Formen, Einsatz in der Lehre, Beispiele und Trends

Online-Labore sind über das Internet zugängliche virtuelle Labore oder Remote-Labore. Sie können in Lehre und Forschung eingesetzt werden. Ihr Einsatzgebiet reicht schwerpunktmäßig von den Ingenieurwissenschaften bis zu den Naturwissenschaften. Die Didaktik für den Einsatz von Online-Laboren in der Lehre basiert auf der handlungsorientierten Lerntheorie. Bevorzugte didaktische Methoden sind forschungsgeleitetes kollaboratives und selbstgeleitetes Lernen.

CC BY-SA L3T | http://l3t.eu
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/

L3T Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien
http://l3t.eu
M. Ebner und S. Schön (Hrsg.)

Version 2013

CC BY-SA L3T | http://l3t.eu
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/

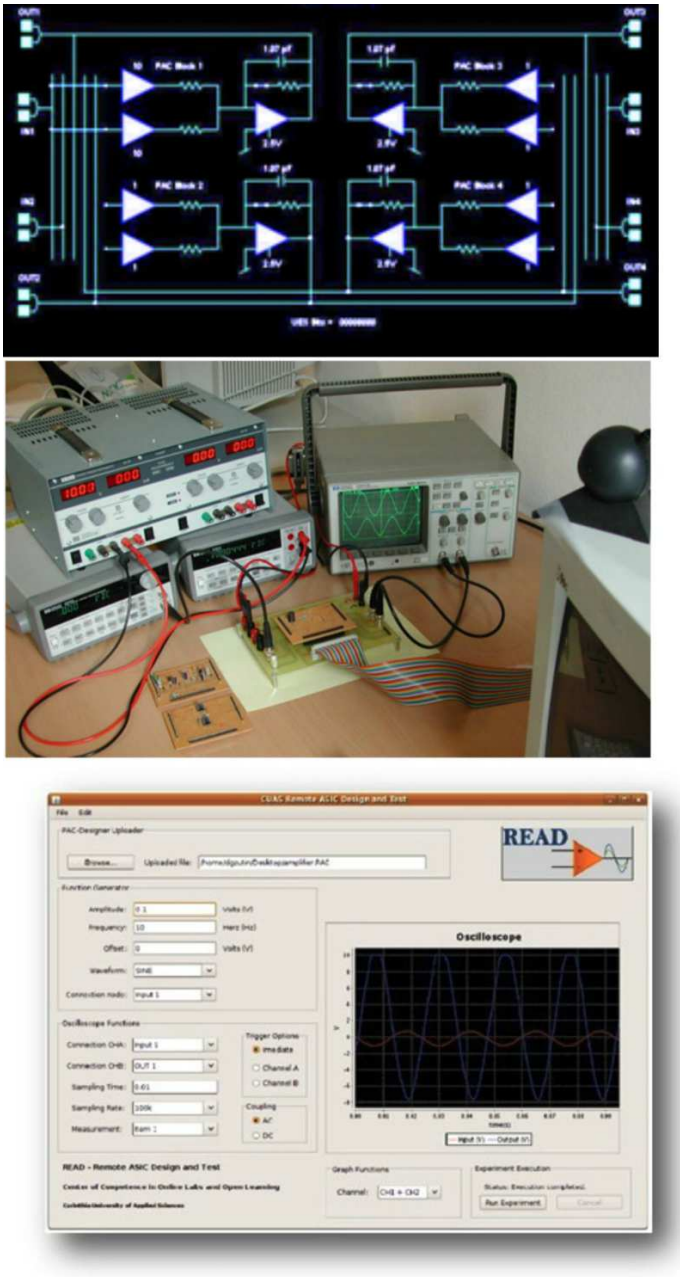
1. Einführung

Online-Labore sind eine der innovativen Entwicklungslinien für Internet basierte Umgebungen in vielen Bereichen der Gesellschaft. In den zurückliegenden Jahren wurden erhebliche Fortschritte bei der Nutzung solcher Labore gemacht, speziell im tertiären und in den letzten fünf Jahren auch im sekundären Bildungssektor. Dies wurde durch die technische Weiterentwicklung des Internets (Bandbreite, mobiles Netz) ermöglicht. Vorreiter sind die Ingenieur- und Naturwissenschaften. Online-Labore haben aus folgenden Gründen große Bedeutung:

- wachsende Komplexität von Laborexperimenten,
- zunehmende Spezialisierung und Verteuerung von Ausrüstungen, Softwaretools und Simulatoren,
- Erfordernisse der Globalisierung und der zunehmenden Arbeitsteilung.

Aktives Lernen und Arbeiten mit Online-Laboren ist vor allem beim technologiegestützten Lernen und Arbeiten wichtig. Am Arbeitsplatz können weit entfernte Labore ohne zu reisen genutzt werden; Ausbildung, lebenslanges Lernen und Arbeit werden flexibilisiert.

Abb. 1: Remote-Mikroelektronik-Entwurfs- und Messplatz an der FH Kärnten



CC BY-SA L3T | http://l3t.eu
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/N05/9556775764/

2. Was sind Online-Labore?

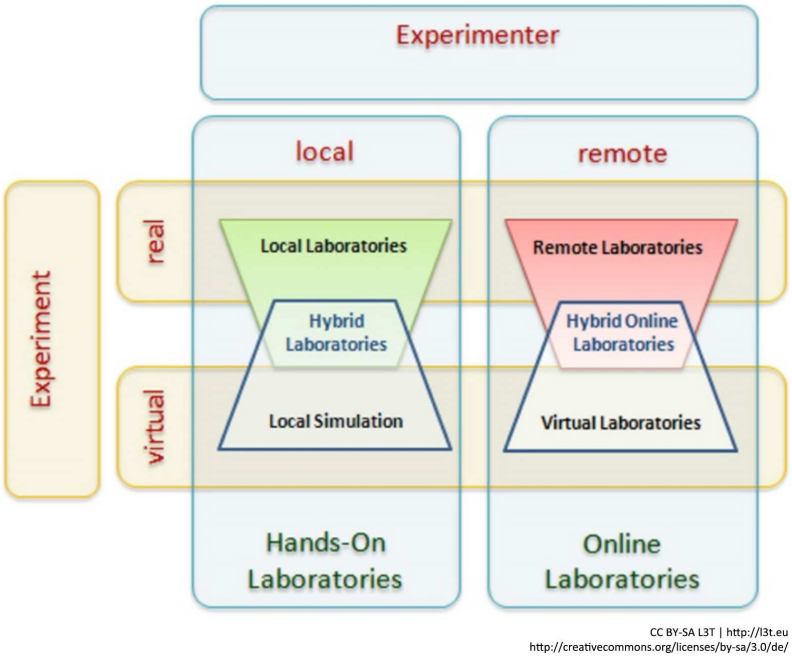
Ein kompletter Entwurfszyklus mikroelektronischer Schaltkreise (Design, Simulation, Hardware-Realisierung oder Messung) erfordert beispielsweise erhebliche systemtechnische und finanzielle Aufwendungen und ist daher nur von einigen wenigen Hochschulen für die Lehre realisierbar. Hier kann ein Online-Labor Abhilfe schaffen und den Studierenden und Lehrenden die Möglichkeit bieten, Laboruntersuchungen im Web durchzuführen.

> **!** Online-Labore sind wissenschaftliche Einrichtungen, mit denen mit Hilfe von Web- und Informationstechnologien Laboruntersuchungen durchgeführt werden können.

An der Fachhochschule Kärnten ist ein solcher kompletter Zyklus mikroelektronischer Schaltkreise als Online-Labor realisiert und frei verfügbar. Die Nutzer/innen benötigen nur einen PC, ein Tablet oder ein Smartphone mit Webbrowser. In der Abbildung 1 sind das Simulationstool (oben), der Messaufbau mit Instrumenten (Mitte) und das Fenster für die Anzeige der Messergebnisse (unten) zu sehen.

Abbildung 2 zeigt die grundlegende Einteilung **unterschiedlicher Formen von Laboren** (Garbi Zuti et al., 2009). Betrachtet man jeweils den Standort eines Laborexperiments und den Aufenthaltsort der Benutzer/innen, dann ergeben sich die insgesamt vier gezeigten Labortypen.

Abb. 2: Klassifizierung von Laboren



CC BY-SA L3T | http://l3t.eu
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/

Remote und Virtuelle Labore werden als Online-Labore zusammengefasst. Zunehmend wichtiger werden Mischformen (Hybrid-Labore), in denen Simulation und anschließende praktische Erprobung integriert sind (siehe einführendes Beispiel oben).

3. Stand der Technik

Seit ca. 1995 wird an verschiedenen Universitäten (und auch in der Industrie) an der Entwicklung von Online-Laboren gearbeitet (Hong et al., 1999). Dabei entstanden viele Einzellösungen, die oft nicht miteinander kompatibel sind. Die meisten Lösungen sind im tertiären Bildungsbereich entwickelt worden und kommen aus dem Ingenieurbereich, da dort der Einsatz von realen Laboren in der Ausbildung am verbreitetesten ist. Insbesondere für die Lehre in der Elektronik (Schaltungsaufbau und -messung) und Mechatronik (Regelung von Robotern) sowie in der Signalverarbeitung und Regelungstechnik sind Online-Experimente entwickelt worden. Auch in den Naturwissenschaften wird diese Form der Laborausbildung genutzt. Besonders hervorzuheben sind hier Experimente in der Physik (die Nutzung eines Elektronenstrahlmikroskops über das Internet) aber auch in der Biologie (Gen-Engineering) und Astronomie.

Die verwendeten Geräte sind sehr teuer und können so einem breiteren Kreis von Nutzerinnen und Nutzern zugänglich gemacht werden. Ein anderes Einsatzgebiet ist die Einrichtung von Sensorsystemen für die Fernüberwachung im Umweltmonitoring, von Gefahrenumgebungen aller Art usw.

Technisch gesehen erfolgen die Steuerung eines Experiments und die Datenabfrage über die Nutzung von entsprechender Soft- und Hardware (zum Beispiel LabVIEW, MATLAB/Simulink und speziellen Bussystemen) oder mittels Datenkarten/Signalverarbeitungssystemen aus eigener bzw. industrieller Entwicklung. Viele Geräte haben heutzutage eine eigene Schnittstelle zum Internet-Protokoll TCP/IP oder man schließt sie mittels eines sogenannten Mikro-Web-Servers (Mikroelektronikschaltkreis) an das Internet an. Die Steuerung kann über eine graphische Benutzungsoberfläche in einem üblichen Webbrowser oder mit interaktivem Touchscreen erfolgen.

Viele Online-Labore sind in spezielle Software-Architekturen eingebettet, über die das Labor-Management und das Nutzer/innen-Management zentral oder dezentralisiert erfolgt.

Erörtern Sie Vor- und Nachteile von Online-Experimenten in Ihrem Handlungsfeld. Stimmen Sie Ihre Position mit Ihren Kommilitoninnen und Kommilitonen ab!

4. Online-Labore in der Lehre

Eine Laborausbildung in den Ingenieurdisziplinen, aber auch in den Naturwissenschaften, dient der praktischen Ausbildung im Umgang mit den fundamentalen Ressourcen der Menschheit: Energie, Material und Information. Dabei sollen einerseits Theorien und Hypothesen überprüft, andererseits diese drei Ressourcen zu neuen technologischen Lösungen modifiziert und nutzbar gemacht werden. Das **allgemeine Ziel der Laborausbildung** ist der praktische Umgang mit Kräften und Materialien der Natur. Dieses Ziel hat sich über die Jahre nicht geändert, der **Anteil der Laborausbildung** in der Gesamtlehre schon: In einer Untersuchung über den Anteil von Artikeln über Laborausbildung im „Journal for Engineering Education“ von 1993 bis 1997 kam man auf eine Rate von 6,5 Prozent der publizierten Artikel, von 1998 bis 2002 sank diese Rate sogar auf 5,2 Prozent (berechnet nach dem Stichwort Labor; siehe Wankat, 2004). Die Anzahl der Publikationen über Online-Labore wuchs seit 2008 um 60%, es gibt eine kleine stabile Gruppe von Forschenden und Lehrenden zu diesem Thema (Bochicchio & Longo, 2013).

Ein Grund für den geschwundenen Anteil einer gediegenen Laborausbildung ist ein **fehlender Konsens zu den Lernzielen und -ergebnissen** einer Laborerfahrung in der akademischen Bildung. Die Lernziele reichen dabei von der Beobachtung von Naturphänomenen (zum Beispiel der Lichtbrechung) über die Messung von physikalischen Größen, die Regelung von Prozessen und Vorgängen (zum Beispiel Schwingungen) bis hin zum Entwurf (zum Beispiel von Schaltungen). Die Lernziele umfassen sowohl kognitive Aspekte (das Verstehen von komplexen Zusammenhängen in Natur und Technik), Kompetenzen (zum Beispiel die Bewertung der gewonnenen Ergebnisse) als auch experimentelle Fähigkeiten (zum Beispiel das richtige Messen). Man unterscheidet drei Labortypen: das Entwicklungslabor, das Forschungslabor und das Ausbildungslabor zu Lehrzwecken. Wissenschaftler/innen und Ingenieurinnen und Ingenieure gehen aus zwei wesentlichen Gründen ins Labor: einerseits, um notwendige Daten für ihre Entwicklungen und Forschungen zu sammeln (um ein Produkt zu entwickeln oder eine Hypothese zu widerlegen); andererseits, um zu überprüfen, ob sich ein bestimmtes Entwicklungsprodukt in der erwarteten Weise verhält. Studierende dagegen gehen im Normalfall in ein Ausbildungslabor, um etwas Praktisches zu lernen, was schon wissenschaftlich nachgewiesen ist. Dieses „etwas“ ist in jedem konkreten Einzelfall sehr genau als Lernobjekt mit entsprechenden Lernzielen zu bestimmen, um den erwarteten Kenntnis- und Befähigungszuwachs zu erzielen.

Argumente für Online-Labore in der Lehre

Die Notwendigkeit einer Laborausbildung wird inzwischen allgemein anerkannt, jedoch fehlen im tertiären Bildungssektor noch immer klare **Lernziele**. Als wesentlich werden auf der einen Seite ein besseres Verständnis für wissenschaftliche Konzepte, eine Motivationssteigerung für das Studium, der Erwerb praktischer Fähigkeiten und die Entwicklung von Problemlösungsfähigkeiten hervorgehoben (Hofstein & Lunetta, 2004). Auf der anderen Seite ist eine Tendenz des Ersatzes von realen Experimenten mit Simulationen zu erkennen, vor allem aus Kapazität-, Zeit- und Kostengründen. Es wird auch argumentiert, dass das Experimentieren in komplexen Versuchsaufbauten für den Lernenden schwer nachvollziehbar sei und die Simulation die Modellbildung gegebenenfalls besser unterstützt. Das stimmt oft, soweit das Experiment dem besseren Verständnis eines theoretischen Zusammenhangs dient, es reicht aber nicht aus, wenn zum Beispiel der Entwurf von technologischen Lösungen erprobt werden soll (die Simulation einer Bewegungsregelung verhält sich oft ganz anders als der Test eines Reglers am realen Objekt).

Im sekundären Bildungssektor wird die Nutzung unter anderem damit begründet, dass sie sich besonders gut für ein forschungsgeleitetes Lernen eignet. Damit soll die Motivation beim aktiven Lernen in MINT-Fächern erhöht werden.

Welche Argumente sprechen für, welche gegen Laborarbeit in experimentlastigen Studiengängen? Welche Argumente sprechen für und gegen Online-Labore?

Einflussfaktoren für die Entwicklung von Online-Laboren in der Lehre

Zwei wesentliche Tendenzen haben die Laborausbildung beeinflusst: die Verschmelzung von Laborgeräten mit Computern und die Einführung verschiedenster Lernmanagementsysteme mit unterschiedlichen Technologien. Der Computer eröffnet einerseits neue Möglichkeiten im Labor, die Kombination von Simulation und realem Experiment, die automatisierte Datenerfassung und die Fernkontrolle von Instrumenten sowie eine ultraschnelle Datenanalyse und -visualisierung. Das Lernen mit Technologien in experimentellen Wissenschaften andererseits hat im Bereich des Grundstudiums die Diskussion um Ziele der Laborausbildung neu stimuliert, vor allem um den Sinn des Einsatzes von Online-Laboren. Studierende haben jederzeit und praktisch überall mit Internetanschluss freien oder durch Anmeldungs- und Kalendersysteme geregelten Zugang zu solchen Laboren. Engpässe bei Laborplätzen und -zeiten können so gemildert werden.

Didaktische Settings von Online-Laboren

Online-Labore sind aber kein Ersatz für die üblichen Laborexperimente in der Lehre. Sie verfolgen spezielle Lehrziele und man benötigt für ihren Einsatz auch **spezielle pädagogische Szenarien**. Der Lerngewinn der Arbeit mit Online-Laboren wird unter anderem im Training an Fernexperimenten (wichtig sowohl in der Industrie als auch in einigen Bereichen der Forschung), in der kollaborativen Gruppenarbeit (insbesondere in der internationalen Zusammenarbeit) und im Austausch über gute praktische Erfahrungen gesehen.

In der Praxis: Beispiele für gute Online-Labore für die Lehre

- **iLAB des MIT** (Massachusetts Institute of Technology) in Boston, das als Vorläufer eines weltweiten Netzwerkes von miteinander verbundenen Laborinstrumenten und Lehrmaterialien entwickelt wurde (http://icampus.mit.edu/ilabs/).
- **REL – Remote Electronic Lab der FH Kärnten**, das über einen iLab Service Broker freien Zugriff auf eine Vielzahl von elektronischen Laboren (zum Beispiel Bauelementeparametermessung, Operationsverstärker, Mikroprozessorprogrammierung, CPLD Entwurf, ASIC Entwurf, Bildverarbeitung) an der FH Kärnten und weltweit ermöglicht (http://ilabs.cti.ac.at).
- **ePragmatic** – eine Plattform für die berufliche Weiterbildung im Bereich Mechatronik und alternative Technologien mit Online- Experimenten (entwickelt im Rahmen eines EU-Projektes, www.merlab.eu/index.php/en/oddaljeni-laboratorij).
- **VISIR (Virtual Instrumentation in Reality)** – ein derzeit an mehreren Universitäten und Fachhochschulen in Europa und Indien installiertes Online-Labor-Grid, das offene Technologien in der Zusammenarbeit zwischen den Teilnehmerinnen und Teilnehmern des Projektes austauscht. Ursprünglich wurde das Labor am Blekinge Institute of Technology (Schweden) entwickelt.
- **LabShare** – eine von der australischen Regierung unterstützte Initiative verschiedenster Universitäten zur Entwicklung eines nationalen Netzwerkes von Online-Laboren mit der University of Technology Sydney als Konsortiumsleitung (http://www.labshare.edu.au/).
- **Lab2go** – ein semantisches Online-Labor-Repository, entwickelt im Rahmen des FP7 Projektes OntoWiki an der FH Kärnten. Die Plattform ist sowohl für Nutzer/innen als auch für Laboranbieter/innen frei zugänglich.
- **OLAREX** – offene Lernumgebungen mit Remote-Experimenten in MINT-Fächern im Sekundärbereich (http://www.olarex.eu).

Theoretisch basieren die didaktischen Ansätze für Online-Labore auf der handlungsorientierten Lern-Theorie bzw. der **Aktivitätstheorie** (Rogers & Freiberg, 1994). Praktisch werden experimentelle Fähigkeiten, aber auch Fähigkeiten der Teamarbeit in virtuellen Räumen und bei der Kommunikation über verschiedenste Kanäle des Internets trainiert (Müller & Erbe, 2007). Prinzipiell kommen in Online-Laboren zwei pädagogische Szenarien zur Anwendung: kollaboratives Lernen, wenn das Experiment in Gruppenarbeit durchgeführt wird, und selbstgesteuertes Lernen, wenn die Laborexperimente in Einzelarbeit und ohne oder mit nur sehr wenig Unterstützung durch eine Instrukteurin oder einen Instrukteur durchgeführt werden (Geyken et al., 1998). Man kann sagen, dass das erste Szenario für die akademische beziehungsweise schulische Lernumgebung typisch ist. Insbesondere, wenn in Kleingruppen gearbeitet wird, ist das zweite Szenario eher für Lernumgebungen im Training und der Weiterbildung typisch, in denen die Lernenden voll im Berufsleben stehen und ihre Lernzeiten sowie -methoden sehr individuell sind. Beispiele für das erste Szenario sind Praxisberichte aus der universitären Ausbildung, für das zweite Szenario Berichte über industrielle Trainings am Arbeitsplatz (zum Beispiel eine Weiterbildung zu den Grundlagen der Mechatronik; Billet, 2004; Rojko, 2009).

5. Gute Online-Labore

Insgesamt existieren derzeit mehrere hundert Online-Labore (mit stark schwankender mittlerer Lebensdauer). Auch die Anzahl der erfassten Fachgebiete ist relativ hoch. Die Frage, was die Qualität eines Online-Labors ausmacht, ist bisher nicht eindeutig beantwortet. Unstrittig sind aber folgende Kriterien:

- Universalität (Erreichbarkeit, Mehrsprachigkeit, Offenheit des Systems),
- Technologie (Sicherheit, Portierbarkeit, Kontrolle),
- Management (IT-Unterstützung, Nutzer/innen-Management zwischen verschiedenen Lernmanagement- und Lernorganisationssystemen) und
- Didaktik (Unterstützung unterschiedlicher Lernszenarien, Kollaboration, Kommunikation).

In einer Umfrage, die von 2008 bis 2010 unter Lehrenden und Studierenden verschiedenster Hochschulen in Europa durchgeführt wurde, konnte festgestellt werden, dass für die Nutzung von Online-Laboren von beiden Gruppen die Nutzbarkeit mit verschiedensten Betriebssystemen als wichtigstes Kriterium angesehen wird. Für Studierende folgen: Nutzbarkeit mit allen Webbrowsern, Verzicht auf zusätzliche Plug-Ins. Für die Lehrenden sind nahtlose Einbindung der Online-Labore in die Hardwareumgebung und Sicherheit auf Platz zwei und drei. Fasst man die fünf Kriterien – Plattformportabilität, Webbrowser, Sicherheit, Installation und nahtlose Einbindung – in einer Gruppe zusammen, dann gibt es zwischen Lehrenden und Studierenden nur in der Reihenfolge der Gewichtung Unterschiede (Garcia-Zubia et al., 2010).

Ausgehend davon kann man eine Reihe von Online-Laboren für die Lehre als **Beispiele** „guter Praxis“ anführen (siehe Kasten „In der Praxis“).

Dies ist jedoch nur eine kleine Auswahl von Initiativen und Netzwerken im Bereich der Hochschulbildung mit englisch- und deutschsprachigem Hintergrund. Daneben gibt es auch einige Projekte im **sekundären Bildungssektor** wie Internet School Experimental System (iSES http://ises.info) und im Bereich der **Fernuniversitäten** wie die Open University UK bzw. die Universidad Nacional de Educación a Distancia in Spanien, die Online-Labore in der Fernlehre einsetzen.

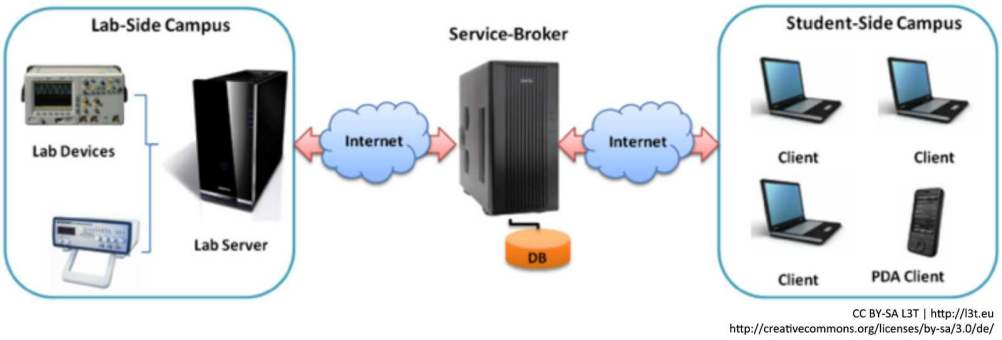
6. Förderorganisationen

In den letzten Jahren hat sich eine weltweite Gemeinschaft von Entwickelnden und Anwendenden von Online-Labor-Lösungen herausgebildet, die sich jährlich auf Konferenzen, Workshops und Sommerschulen trifft. Eine Trägerin dieser globalen Vernetzung ist die „**International Association of Online Engineering**“ (IAOE, www.online-engineering.org).

Im Juni 2010 wurde in Villach von Vertreterinnen und Vertretern des MIT, der FH Kärnten, der University of Queensland und der University of Technology Sydney das „**Global Online Laboratory Consortium**“ (GOLC) gegründet (www.online-lab.org). Ziel dieses Konsortiums ist es, die Entwicklung und den Austausch von Laboren und Experimenten über einen Internetzugang zu fördern und Forschung in diesem Bereich zu intensivieren und weltweit zu koordinieren.

Werden an Ihrer Universität Online-Labore in der Lehre eingesetzt? Recherchieren Sie und stellen Sie Ihre Ergebnisse Ihren Kolleginnen und Kollegen vor!

Abb. 3: Laborverbund mittels iLab Service Broker



CC BY-SA L3T | http://l3t.eu
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/

7. Entwicklungstrends

Um Online-Labore zu vernetzen, Kosten zu sparen und effektiver zusammenzuarbeiten, werden immer mehr Online-Labore mit Hilfe von spezieller **Middle Ware** (anwendungsneutrale Programme, die zwischen Online-Experimenten mit unterschiedlicher Technologie vermitteln) zu Labornetzwerken oder -grids zusammengefasst.

Eine verbreitete Lösung ist der am MIT entwickelte und frei verfügbare iLab Service Broker. Das grundsätzliche Szenario ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Anzahl der an einem Service-Broker angeschlossenen Laborversuche sowie die Zahl der simultan Nutzenden sind nur von der Leistungsfähigkeit der Service-Broker-Hardware abhängig. Mehrere Service-Broker können zu Clustern zusammengefügt werden, wie iLab Europe (www.ilab-europe.net/) oder iLab Africa.

Mobilität ist ein zweiter Trend. Im Bereich der Online-Labore werden zunehmend mobile Endgeräte genutzt. Mobil kann aber auch die Datenerfassung sein, etwa in der Luftfahrt oder Automobiltechnik (zum Beispiel Echtzeituntersuchungen im Bereich der Elektromobilität). Mobile Zugänge zu experimentellen Umgebungen werden für Langzeitversuche (24-Stunden- und Wochenendüberwachung) sowie bei Feldversuchen eingesetzt.

Unter **Mash-Up**, einem dritten Trend, versteht man die geeignete Sammlung und Kombination verschiedener öffentlicher, aber auch privater Daten, Inhalte, Anwendungen und Dienste aus verschiedenen Quellen, um so neue Dienste bereitzustellen. Bezogen auf Online-Labore bedeutet das zum Beispiel die geeignete virtuelle Zusammenfassung von Experimenten unterschiedlicher Anbietender (Hochschulen) zu einem Labor, welches dann den Nutzerinnen und Nutzern als geschlossene Lösung dargeboten wird. Ein Beispiel ist die virtuelle Zusammenfassung von Online-Experimenten verschiedener Hochschulen im Integrated Laboratory Network (ILN) im Nordwesten der USA und Kanadas (www.wwu.edu/iln/). Für Nutzer/innen entsteht bei der Arbeit aber nicht der Eindruck, in mehreren Laboren zu arbeiten, sondern nur in einem.

Eine weitere, sich enorm schnell entwickelnde Anwendung von Remote-Technologien ist das **Remote Sensing**, die intelligente Nutzung von Ferndaten für bestimmte Nutzerziele, zum Beispiel lokalisierte Vorhersagen für Unwetterauswirkungen an einem bestimmten Ort. William Gail (Microsoft) erwartet die entscheidenden Fortschritte auf diesem Gebiet von neuartigen Kombinationen von Sensoren mit intelligenter Wissensverarbeitung (Gail, 2007). Sensoren werden in Grids (virtuelle Netzwerke) organisiert sein (Schmid, 2007). Weitere Stichworte sind Datamining und Datafusion.

Perspektivische Anwendungen sind in der Medizin, im Gen-Engineering, beim Umwelt-Engineering, bei der Wettervorhersage und in der Automatisierungstechnik zu erwarten. In diesem Zusammenhang ist auch der Begriff **Cloud Instrumentation** zu nennen. Man versteht darunter die selbstorganisierende Zusammenwirkung verschiedener Messeinrichtungen zur Datenaggregation.

8. Zusammenfassung

Online-Labore sind über das Internet zugängliche virtuelle Labore oder Remote-Labore. Ihr Einsatzgebiet reicht schwerpunktmäßig von den Ingenieurwissenschaften bis zu den Naturwissenschaften. Die Didaktik für den Einsatz von Online-Laboren in der Lehre basiert auf der handlungsorientierten Lerntheorie. Bevorzugte didaktische Methoden sind forschungsgeleitetes kollaboratives und selbstgeleitetes Lernen. Technisch gesehen erfolgen die Steuerung eines Experiments und die Datenabfrage über die Nutzung von entsprechender Soft- und Hardware oder mittels Datenkarten/Signalverarbeitungssystemen aus eigener bzw. industrieller Entwicklung. Die Steuerung kann über eine graphische Benutzungsoberfläche in einem üblichen Webbrowser oder mit interaktivem Touchscreen erfolgen.

Zwei wesentliche Tendenzen haben die Laborausbildung beeinflusst: die Verschmelzung von Laborgeräten mit Computern und die Einführung verschiedenster Lernmanagementsysteme mit unterschiedlichen Technologien. Der Computer eröffnet neue Möglichkeiten im Labor Simulation und reales Experiment zu kombinieren. Mit Online-Laboren haben Studierende jederzeit und praktisch überall mit Internetanschluss freien oder durch Anmeldungs- und Kalendersysteme geregelten Zugang zu solchen Laboren.

In Online-Laboren kommen zwei pädagogische Szenarien zur Anwendung: kollaboratives Lernen, wenn das Experiment in Gruppenarbeit durchgeführt wird, und selbstgesteuertes Lernen, wenn die Laborexperimente in Einzelarbeit und ohne oder mit nur sehr wenig Unterstützung durch eine Instrukteurin oder einen Instrukteur durchgeführt werden. Man kann sagen, dass das erste Szenario für die akademische bzw. schulische Lernumgebung typisch ist. Das zweite Szenario ist eher für Lernumgebungen im Training und der Weiterbildung typisch, in denen die Lernenden voll im Berufsleben stehen und ihre Lernzeiten sowie -methoden sehr individuell sind.

Literatur

- Azad, A. K. M.; Auer, M. E. & Howard, J. (2012). Internet Accessible Remote Laboratories: Scalable E-Learning Tools for Engineering and Science Disciplines, HersheyHershey, PA : Engineering Science Reference: IGI Global.
- Billett, S. (2004). Workplace participatory practices: Conceptualizing workplaces as learning environments. In: Journal of Workplace Learning, 16(6), 312-324.
- Bochicchio, M. A. & Longo, A. (2013). Profiling the Online Laboratories Research Community and its Core. Proceedings REV Conference 2013, Sydney: IEEE Conference Publications, 1-5.
- Danilo Garbi Zutin, Michael E. Auer, A. Y. Al-Zoubi: Design and Verification of Application Specific Integrated Circuits in a Network of Online Labs. S. 25-29.
- Danilo, G. Z. (2009) Networking Online Labs within the ISA Framework. In: International Journal of Online Engineering. 5/4. S. 20-23.
- Danilo, G. Z., Auer, M. E., Al-Zoubi, A. Y. (2009) Design and Verification of Application Specific Integrated Circuits in a Network of Online Labs. In: International Journal of Online Engineering. 5/3. S. 25-29.
- Gail, W. B. (2007). Remote Sensing in the coming decade: the vision and the reality. In: Journal of Applied Remote Sensing, 1, 012505.
- García-Zubía, J.; Alves, G. R. (Hrsg.) (2011). Using Remote Labs in Education. Deusto: University of Deusto (Eigenverlag).
- García-Zubía, J.; Pester, A.; Orduña, P.; Irurzun, J.; González, J. M.; Angulo, I.; Hernández, U. & Rodriguez, L. (2010). One Lesson from TARET: what is expected from a remote lab?. Proceedings REV Conference 2010. Stockholm: Kassel.
- Geyken, A.; Mandl, H. & Reiter, W. (1998). Selbstgesteuertes Lernen mit Tele-Tutoring. In: R. Schwarzer (Hrsg.), MultiMedia und TeleLearning. Lernen mit Cyberspace. Frankfurt am Main/New York: Springer, 181-196.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. In: Science Education, 8(1), 28-54.
- Hong Shen; Zheng Xu; Dalager, B.; Kristiansen, V.; Strom, O.; Shur, M. S.; Fjeldly, T. A.; Jian-Qiang Lu & Ytterdal, T. (1999). Conducting Laboratory Experiments over the Internet. In: IEEE Transaction on Education, 42(3), 180-185.
- Müller, D. & Erbe, H.-H. (2007). Collaborative Remote Laboratories in Engineering Education: Challenges and Visions. In: Gomes, L. & García-Zubía J. (Hrsg.). Advances in remote laboratories and e-learning experiences, Bilbao: University of Deusto (Eigenverlag), 35-59.
- Rogers, C. R. & Freiberg, H. J. (1994). Freedom to Learn. Columbus/OH: Merill Macmillian.
- Rojko, A.; Hercog, D. & Rozman, D. (2009). E-Training in Mechatronics for Professionals: Implementation and Experience. In: International Journal of Advanced Corporate learning, 2(2), 25-33.
- Schmid, C. (2007). Grid technologies for Virtual Laboratories in Engineering Education. Proceedings REV Conference 2007. Porto: Kassel Press.
- Wankat, P. C. (2004). Analysis of the First Ten Years of the Journal of Engineering Education. In: Journal of Engineering Education, 93(1), 13-21.