

Andreas Pester und 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 der Lehre und Forschung eingesetzt werden. Ihr Einsatzgebiet reicht von den Ingenieurwissenschaften bis zu den Naturwissenschaften. Die Didaktik für den Einsatz von Online-Laboren in der Lehre basiert auf der handlungsorientierten Lerntheorie und der Aktivitätstheorie. Bevorzugte didaktische Methoden sind kollaboratives Lernen und selbstgeleitetes Lernen. Das gesamte Gebiet ist noch stark in Entwicklung begriffen, die in einem sehr international orientierten Umfeld erfolgt.



Das Online-Labor  
der Fachhochschule Kärnten

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

#labor  
#spezial  
#fachgegenstand

Version vom 14. Mai 2011



**Jetzt Pate werden!**

Für dieses Kapitel wird noch ein Pate gesucht,  
mehr Informationen unter: <http://l3t.eu/patenschaft>

## 1. Einführung

Online-Labore sind eine der zukünftigen Entwicklungslinien fortschrittlicher Internet basierter Umgebungen in vielen Bereichen der Gesellschaft, nicht nur in den Ingenieurwissenschaften. In den zurückliegenden Jahren wurden erhebliche Fortschritte bei der Entwicklung solcher Labors gemacht, speziell im tertiären Bildungssektor, auf den wir uns hier hauptsächlich konzentrieren. Diese Entwicklung wurde durch die technische Weiterentwicklung des Internet (Bandbreite, mobiles Netz) wesentlich beeinflusst. Dabei sind die Vorreiter 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,
- ▶ Notwendigkeit des Einsatzes von teuren Ausrüstungen, Softwaretools (zum Beispiel Simulatoren) auch in der Lehre und
- ▶ Erfordernisse der Globalisierung und der zunehmenden Arbeitsteilung.

Aktives Lernen und Arbeiten mit Online-Laboren ist speziell wichtig beim technologiegestützten Lernen und Arbeiten. Am Arbeitsplatz können weit entfernte Labors ohne zu Reisen genutzt werden. Diese Flexibilität ist wichtig in der Ausbildung, beim lebenslangen Lernen und für Telearbeit.

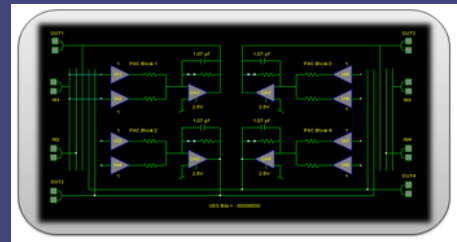
## 2. Was sind Online-Labore?

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. Der Nutzer benötigt nur einen PC mit Webbrowser. In

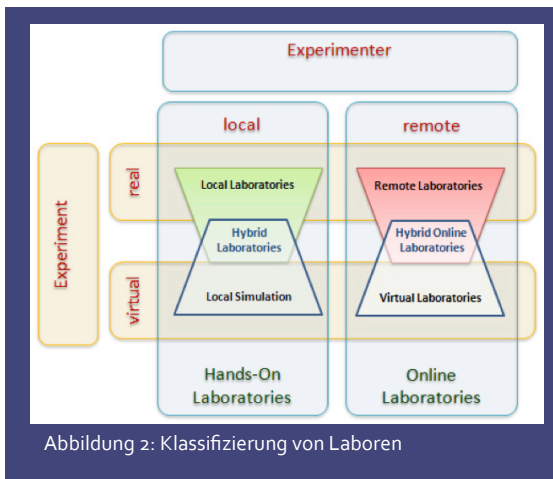
Abbildung 1: Remote-Mikroelektronik-Entwurfs- und Messplatz an der FH Kärnten



der Abbildung 1 sind das Simulationstool (oben), der Messaufbau mit Instrumenten (Mitte) und das Fenster für die Anzeige der Messergebnisse (unten) gezeigt.

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 insgesamt vier Labortypen:

- ▶ das traditionelle Labor (Hands-on-Lab),
- ▶ lokale Simulationen, die zum Beispiel auf dem eigenen PC installiert sind,
- ▶ Remote-Labore, bei denen über das Internet reale Laboraufbauten an einem völlig anderen Ort genutzt werden und
- ▶ virtuelle Labore; hier sind Simulatoren oder andere Software auf Servern installiert.



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

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

### 3. Gegenwärtiger Stand der Technik

Seit etwa 15 Jahren wird an verschiedenen Universitäten (und auch in der Industrie) an der Entwicklung von Online-Laboren gearbeitet (Hong et al., 1999). Eine Vielzahl von Einzellösungen ist dabei entstanden, die oft miteinander nicht kompatibel sind. Die meisten Lösungen sind im tertiären Bildungsbereich entwickelt worden und kommen aus dem Ingenieurbereich, da dort der Einsatz von Laboren in der Ausbildung am verbreitetsten 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. Aber auch in den Naturwissenschaften wird diese Form der Laborausbildung genutzt. Besonders hervorzuheben sind hier Experimente in der Physik, zum Beispiel die Nutzung eines Elektronenstrahlmikroskops über das Internet. Das Gerät ist sehr teuer und kann so einem breiteren Kreis von Nutzerinnen und Nutzern zugänglich gemacht werden. Insgesamt kann man feststellen, dass die Anzahl der Online-Experimente in Bereichen, in denen es keine bewegten Teile gibt oder die wenig Wartungsaufwand vor Ort machen gegenüber den anderen mit bewegten Teilen oder höherem Wartungsaufwand überwiegt. Dies ist unter anderem ein Grund dafür, warum es weniger Online-Labore in den Bereichen der Chemie oder des Maschinenbaus gibt.

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 heute auch schon eine eigene Schnittstelle zum Internet-Protokoll TCP/IP oder man schließt sie mittels eines sogenannten Mikro-Web-Servers (kleiner als eine Streichholzschachtel) an das Internet an. Die Steuerung kann über eine graphische Benutzeroberfläche in einem üblichen Webbrowser oder mit interaktivem Touchscreen erfolgen. Derzeit sehr im Trend sind Online-Labore, die über einen Avatar (virtuelle Figur) in einer computerbasierten 3-D-Umgebung (zum Beispiel Second Life oder Sun Wonderland) gesteuert werden. Daneben gibt es natürlich auch viele Eigenentwicklungen, die nur in Kleinserien gefertigt werden.

### 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 of 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; s. Wankat, 2004).

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,

der Regelung von Prozessen und Vorgängen (zum Beispiel Schwingungen) bis 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 bekannt 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).



Welche Argumente sprechen für, welche gegen Laborarbeit in experimentellen 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 digitalen Computern und die Einführung verschiedenster Lernmanagementsysteme mit unterschiedlichen Technologien. Der Computer eröffnet 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 vor allem im Bereich des Grundstudiums die Diskussion um Ziele der Laborausbildung neu stimuliert, insbesondere 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 in 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 für ihren Einsatz benötigt man 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 im internationalen Kontext) und im Austausch über gute praktische Erfahrungen gesehen. Die kognitive Aktivierung von Lernenden kann (teilweise auch mit weniger Aufwand) über Simulation oder multimediale Lernobjekte wie beispielsweise die an der FU Berlin entwickelten interaktiven Bildschirmexperimente erfolgen. Letztere sind Flash-Animationen mit realen Bilderfolgen über den Experimentverlauf, die von Hochgeschwindigkeitskameras aufgenommen wurden und die man interaktiv steuern kann, es handelt sich dabei jedoch nicht um eine Simulation. Der Erwerb von Kompetenzen und Fähigkeiten wie zum Beispiel zum Entwurf von elektronischen Schaltungen werden damit nicht abgedeckt.

Theoretisch basieren die didaktischen Ansätze für Online-Labore auf der handlungsorientierten Lerntheorie bzw. der **Aktivitätstheorie** (Revans, 1982; Rogers & Freiberg, 1994). Praktisch werden experimentelle Fähigkeiten aber auch Fähigkeiten der Teamarbeit in virtuellen Räumen und 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 mehr in Einzelarbeit und ohne oder mit nur sehr wenig Unterstützung durch einen Instrukteur durchgeführt werden (Geyken et al., 1998). Ohne unzulässig zu Verallgemeinern kann man sagen, dass das erste Szenario mehr für die akademische bzw. schulische Lernumgebung typisch ist. Insbesondere, wenn in Kleingruppen gearbeitet wird, ist das zweite Szenario eher für Lernumgebungen im Training und der Weiterbildung typisch, wo die Lernenden voll im Berufsleben stehen und ihre Lernzeiten, -methoden sowie -zeiten sehr individuell sind. Beispiele für das erste Szenario sind Praxisberichte aus der universitären Ausbildung zum Beispiel in europäischen, amerikanischen und australischen Hochschulen, 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 bzw. tausend Online-Labore, deren mittlere Lebensdauer am Internet aber sehr schwankt. Auch die Anzahl der erfassten Fachgebiete ist relativ hoch. Deswegen ist

jede Auswahl an praktischen Beispielen für „gute“ Online-Labore mit einem gewissen Grad an Subjektivität verbunden und orientiert sich unter anderem auch an der fachlichen Herkunft der Autoren/-innen. Die Frage, was die Güte eines Online-Labors ausmacht, ist bisher nicht eindeutig beantwortet, aber es ist jedoch klar, dass folgende Kriterien eine große Rolle dabei spielen:

- ▶ Universalität (Erreichbarkeit, Mehrsprachigkeit, Offenheit des Systems),
- ▶ Technologie (Sicherheit, Portierbarkeit zwischen verschiedenen Hard- und Softwareträgersystemen, 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 gemacht 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 die Nutzbarkeit unter allen Webbrowsern und dass man auf der Nutzerseite keine zusätzlichen Plug-Ins oder

### 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 verbundener Laborinstrumente und Lehrmaterialien entwickelt wurde (<http://icampus.mit.edu/ilabs/>)

**REL - Remote Electronic Lab der FH Kärnten**, das über einen iLab Service Broker freien Zugriff zu einer Vielzahl von elektronischen Labors (z.B. Bauelementeparametermessung, Operationsverstärker, Mikroprozessorprogrammierung, CPLD Entwurf, ASIC Entwurf, Bildverarbeitung) an der FH Kärnten und weltweit ermöglicht. (<http://ilabs.cti.ac.at>)

**MerLab**, eine Plattform für die berufliche Weiterbildung im Bereich Mechatronik einschließlich von mehreren Regelungsexperimenten an mechatronischen Vorrichtungen (entwickelt und betrieben vorrangig vom Institut für Robotik der Universität Maribor zusammen mit anderen Partnern) (<http://www.merlab.eu/index.php/en/oddaljeni-laboratorij>)

**WebLab Deusto** – ein offenes verteiltes Remote Laboratorium der Universität Deusto in Bilbao (Spanien) in den Be-

reichen Elektronik, Robotik und Digitaler Entwurf von Systemen (<https://www.weblab.deusto.es/joomla/weblab-deusto.html>)

**VISIR (Virtual Instrumentation in Reality)** – ein derzeit an mehreren Universitäten und FH's in Europa und Indien installiertes Online-Labor-Grid, das offene Technologien in 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 Konsortiumsführer. (<http://www.labshare.edu.au/>)

**LiLa (Library of Labs)** – eine Initiative von acht europäischen Universitäten und mehreren Unternehmen zur Entwicklung einer Online-Labor-Bibliothek, koordiniert von der Universität Stuttgart (<http://www.lila-project.org/>)

Flash Player installieren muss. Für die Lehrenden sind nahtlose Einbindung der Online-Labore in die Hardwareumgebung und Sicherheit die nachfolgenden Kriterien. Fasst man die fünf Kriterien - Plattform-Portabilität, 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 (Ises.info) und im Bereich der **Fernuniversitäten** wie die Open University UK, die Universidad Nacional de Educación a Distancia in Spanien, die Online-Labore in der Fernlehre einsetzen. Außerdem ist zu beachten, dass in diesem Überblick Entwicklungen im asiatischen, lateinamerikanischen und russischsprachigen Bildungsraum nicht berücksichtigt wurden, obwohl bekannt ist, dass dort auch sehr intensive Arbeiten laufen. Hier sind es aber Sprachprobleme, die einen Erfahrungsaustausch und die gegenseitige Nutzung der Erfahrungen, aber auch konkreter Labore im internationalen Maßstab erschweren.

## 6. Förderorganisationen

In den letzten zehn Jahren hat sich eine weltweite Gemeinschaft von Entwicklern und Anwendern von Online-Labor-Lösungen herausgebildet, die sich jährlich auf Konferenzen, Workshops und Sommerschulen trifft. Ein Träger dieser globalen Vernetzung ist die „**International Association of Online Engineering**“ (IAOE, Online-Engineering.org), die auch

jährlich Konferenzen in diesem Fachgebiet und seit mehreren Jahren regelmäßig eine Sommerschule organisiert.

Im Juni 2010 wurde in Villach von Vertretern des MIT, der FH Kärnten, der University of Queensland und der University of Technology Sydney das „**Global Online Laboratory Consortium**“ (GOLC) gegründet (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.

## 7. Entwicklungstrends



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

Um die gegenseitige Nutzung von existierenden und neuen Online-Laboren zu ermöglichen, Kosten zu sparen und auch organisatorisch effektiver zusammenzuarbeiten, werden immer mehr Online-Labore mit Hilfe von speziellen **Middle Ware** (anwendungsneutrale Programme, die zwischen remote Experimenten unterschiedlicher Technologie vermitteln) zu einem Laborverbund zusammengefasst.

Eine aktuelle und 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 simultanen Nutzer sind nur von der Leistungsfähigkeit der Service-Broker-Hardware abhängig. Mehrere Service Broker können zu Clustern zusammengefügt werden.

**Mobilität** ist ein zweiter wichtiger Trend der gegenwärtigen IT-Entwicklung. Im Bereich der Online-Labore werden daher zunehmend mobile Endgeräte,

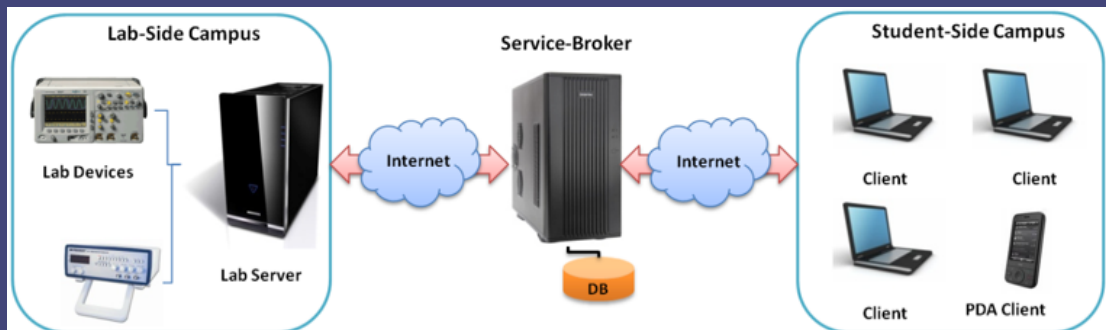


Abbildung 3: Laborverbund mittels iLab Service Broker

wie PDA, Netbooks oder Smart Phones genutzt. Andererseits sind durch die drahtlose Datenübertragung auch mobile Labore, etwa in der Luftfahrt oder Automobiltechnik (zum Beispiel Echtzeituntersuchungen im Bereich der Elektromobilität) möglich. Mobile Zugänge zu experimentellen Umgebungen werden auch 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, Dienste aus verschiedenen Quellen, um so neue Dienste bereitzustellen. Bezogen auf Online-Labore bedeutet das zum Beispiel die geeignete virtuelle Zusammenfassung von Experimenten unterschiedlicher Anbieter (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.edu/iln/](http://www.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 von Microsoft erwartet die entscheidenden Fortschritte auf diesem Gebiet nicht zuerst von der Weiterentwicklung der Sensoren selbst, sondern von neuartigen Kombinationen von Sensoren mit der Art der Informationsauswertung und Wissensverarbeitung (Gail, 2007). Sensoren werden in Grids (virtuelle Netzwerke im Gegensatz zur klassischen Client-Server-Architektur) organisiert sein unter Anwendung modernster Netzwerk Technologien (Schmid, 2007).

Perspektivische Anwendungen sind insbesondere 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 Instrumen-**

**tation** zu nennen. Man versteht darunter die selbstorganisierende Zusammenwirkung verschiedener Messeinrichtungen zur Datenaggregation.

#### Literatur

- ▶ Billett, S. (2004). Workplace participatory practices: Conceptualizing workplaces as learning environments. In: *Journal of Workplace Learning*, 16 (6), 312-324.
- ▶ Gail, W. B. (2007). Remote Sensing in the coming decade: the vision and the reality. In: *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 1, 012505.
- ▶ Garbi Zutin, D.; Auer, M. E. & Pester, A. (2009). Online Laboratories. In: *Online Engineering*, New York: Nova Science Publishers.
- ▶ García-Zubía, J.; Pester, A.; Orduña, P.; Irurzun, J.; González, J.M.; Angulo, I.; Hernández U. & Rodríguez, L. (2010). One Lesson from TARET: what is expected from a remote lab?. REV Conference 2010, Stockholm.
- ▶ 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.
- ▶ 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.
- ▶ Hofstein, A. & Lunetta, V.N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. In: *Science Education*, 8 (1), 28-54.
- ▶ Müller, D. & Erbe, H. (2007). Collaborative Remote Laboratories in Engineering Education: Challenges and Visions. In: *Advances in remote laboratories and e-learning experiences*, Deusto: University of Deusto.
- ▶ Revans, R. (1982). *Origins and Growth of Action Learning*, Sweden. Wallisellen: Bratt-Institut für Neues Lernen.
- ▶ Rogers, C.R. & Freiberg, H. J. (1994). *Freedom to Learn*. Columbus/OH: Merrill 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. REV Conference 2007, Porto.
- ▶ 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.