

## **Library of Labs (LiLa): Ein Europäisches Projekt zur Vernetzung von Experimenten**

### **Zusammenfassung**

LiLa – kurz für Library of Labs – ist ein von der EU im Rahmen des eContent-plus-Programmes gefördertes Projekt zur Vernetzung von fernsteuerbaren Experimenten und virtuellen Laboren. Ziel des Projektes ist der Aufbau einer europäischen Infrastruktur zur gegenseitigen Nutzung von Experimentalaufbauten und Simulationssoftware zur Verbesserung der Lehre im Grund- bzw. Bachelorstudium der ingenieur- und naturwissenschaftlichen Studienfächer. In diesem Artikel besprechen wir die Architektur des Projektes, geben einige Beispiele für typische Komponenten und beleuchten die Hintergründe und unsere Motivation.

### **1 Einleitung**

Neben Vorlesungen bilden praktische Übungen im Labor einen Eckpfeiler in der Lehre der Ingenieur- und Naturwissenschaften. Hier vertiefen Studierende im praktischen Umgang mit der Materie die in der Vorlesung besprochenen Inhalte und erlernen das Experimentieren am realen Objekt. Neben Experiment und Theorie werden heutzutage im zunehmenden Maße auch Simulationen relevant. Bei steigenden Kosten zur Durchführung von Experimenten in hochkomplexen System in der Forschung und Entwicklung bekommen sie einen wachsenden Stellenwert und ersetzen eine Vielzahl der sonst notwendigen Experimente – nicht nur zur Kostenreduktion, sondern auch um Experimente durchzuführen, die sich aufgrund von physikalischen Rahmenbedingungen im realen Experiment nur schwierig oder gar nicht ausführen lassen.

Der Kostendruck hat aber auch zur Folge, dass Universitäten bei der gegebenen Ausstattung ihren Studenten nur eine eingeschränkte Laborkapazität bzw. eine begrenzte Auswahl an Experimenten anbieten können. Aus diesem Grunde wurden und werden an diversen Universitäten ferngesteuerte Experimente und virtuelle Labore eingesetzt: Ersteres sind reale Experimente, die jedoch fernab vom Experimentator oder Studierenden einmal in der Universität aufgebaut über das Internet gesteuert und beobachtet werden können – Studierende können diese also unabhängig von der Öffnungszeiten der Laborräume und der Verfügbarkeit von Personal rund um die Uhr nutzen. Letzteres sind flexible Softwareumgebungen zur Durchführung von einer Vielzahl von Simulationen, die auf dem heimi-

schen Rechner oder auf einem über das Internet angebotenen Server in der Universität laufen.

Bislang waren derartige Lösungen auf einzelne Institutionen beschränkt, und ihre Ausstattung bestimmte die Verfügbarkeit und den Korpus der Experimente. Da diese per Konstruktion über das Internet, und damit unabhängig vom Standort der Universität verfügbar sind, liegt der Gedanke nahe, die Anbieter solcher modernen E-Learning-Lösungen zu einem Verbund zusammenzuschließen und den Studierenden wechselseitig den Zugriff auf die jeweiligen Aufbauten – Experimente und Simulationen – zu ermöglichen. Genau dies ist die Aufgabe des „Library of Labs“-Projektes, eines von der EU geförderten Programmes zum Aufbau einer über Europa verteilten „Bibliothek“ von Laboren, Experimenten und Lehrmaterialien. Die Förderperiode startete hierbei am 15. Mai 2009 bei einer Projektlaufzeit von zwei Jahren.

Die Ziele dieses Projektes gehen über den reinen Aufbau der hierfür nötigen Software hinaus: LiLa soll Laborressourcen nicht nur durch gegenseitige Nutzung besser auslasten und Studenten Zugang zu einer größeren Anzahl von Experimenten bieten, sondern auch interaktive Lernmodelle über Bibliotheken lokalisierbar und über ein Buchungssystem reservierbar machen. Ein begleitendes Tutoriensystem soll ermöglichen, diese Inhalte mit „traditionellen Medien“ zu Kursen zu verknüpfen, und letztlich – als ein weiteres Projektziel – derartige Kurse in Universitäten curricular zu verankern. Ferner müssen, um den Austausch von Ressourcen über Universitäten hinweg zu ermöglichen, auch die rechtlichen Rahmenbedingungen geklärt und geeignete Vertragsentwürfe entwickelt werden. Schließlich möchten wir LiLa über die Grenzen der gründenden Mitglieder hinaus ausdehnen und eine Verstärkung der Projektergebnisse erzielen.

Dieser Artikel ist wie folgt strukturiert: Zunächst werden wir kurz einige vergleichbare Projekte vorstellen. Danach stellen wir die Gesamtarchitektur des Projektes vor und geben einige Beispiele für bereits bestehende Komponenten. Eine Zusammenfassung schließt diesen Artikel ab.

## **2 Vergleichbare Arbeiten**

Ein dem LiLa ähnliches Projekt wird momentan in den USA vom MIT vorangetrieben: Im von Microsoft geförderten iLab-Projekt<sup>1</sup> (vgl. Harvard et al., 2008) werden Experimente ähnlich wie in LiLa durch Computer fernsteuerbar, die dann ihrerseits das jeweilige Experiment mittels Web-Services in einem globalen Netzwerk anbieten und den Mitgliedern des iLabs-Projektes verfügbar machen. Eines der LiLa-Mitglieder, die Universität Cambridge, ist bereits im iLabs-Ver-

---

1 „iLabs: Internet access to real labs – anywhere, anytime“, verfügbar unter <http://icampus.mit.edu/iLabs/>.

bund, und auf lange Sicht streben wir eine Zusammenarbeit mit iLabs an. Ganz ähnlich wie iLabs ist LiLa nicht auf einen spezifischen Fachbereich fokussiert, sondern adressiert Bachelorstudenten in allen technischen Studienrichtungen. Ebenso sieht unsere Softwarearchitektur einen einmaligen Anmeldevorgang („single sign on“) vor, der bei LiLa jedoch in die Sun Wonderland-Architektur – siehe unten – integriert wird. Anders als iLabs, dessen Infrastruktur auf Microsoft .NET basiert, werden wir so weit wie möglich auf Open-Source-Produkte zurückgreifen.

Das VISIR-Projekt des Blekinge Institute of Technology in Schweden startete 2007 mit VISIR (vgl. Gustavsson et al., 2007) ein ähnliches Projekt, jedoch ohne Unterstützung durch die Europäische Gemeinschaft. Auch hier geht es um den Austausch von Laborkapazitäten durch ferngesteuerte Experimente, und ebenso wie in LiLa und vielen weiteren ferngesteuerten Experimenten (vgl. Jeschke et al., 2005; Basher & Isa, 2006) wird die LabView-Software<sup>2</sup> von National Instruments eingesetzt.

## 2.1 Abgrenzung, Konzepte

Insgesamt gibt es einige deutliche Unterschiede zwischen diesen Projekten und den Projektzielen von LiLa – wir streben mehr an als eine europäische Dependence von iLabs. Eine der Komponenten von LiLa ist die Einbettung der Experimente und Simulationen in eine virtuelle Welt, die gleichzeitig als Kooperationsumgebung für Studierende und Forschende dient; insbesondere steht im LiLa-Projekt die Kooperation zwischen Studierenden sehr viel mehr im Vordergrund als bei vergleichbaren Projekten. Wir sehen die Kooperation zwischen Studierenden als eine der zentralen nicht-technischen Lerninhalte von Praktika und Laborexperimenten.

Ebenso betrachten wir „klassische“ Lehrmaterialien wie Textdokumente und Übungsaufgaben als einen integralen Bestandteil unserer Gesamtarchitektur, die innerhalb dieser virtuellen Welt genauso wie Experimente repräsentiert sein wollen. Es genügt unserer Meinung nach nicht, Studenten ein Experiment unreflektiert durchführen zu lassen, sondern Lernerfolge müssen ebenso wie in realen Laboren kontrolliert und verifiziert werden.

## 3 Die LiLa Software-Architektur

Die zu entwickelnde Gesamtarchitektur lässt sich in vier Schichten oder Ebenen strukturieren, siehe Abbildung 1. Die unterste Ebene wird aus Inhalten gebildet,

---

2 Labview von National Instruments, verfügbar unter <http://www.ni.com/labview/>.

wobei die Inhaltselemente jedoch nicht nur aus statischen Dokumenten bestehen, sondern sich auch aus ferngesteuerten Experimenten und virtuellen Laboren zusammensetzen. Beispiele für derartige Inhalte werden im nächsten Kapitel vorgestellt.

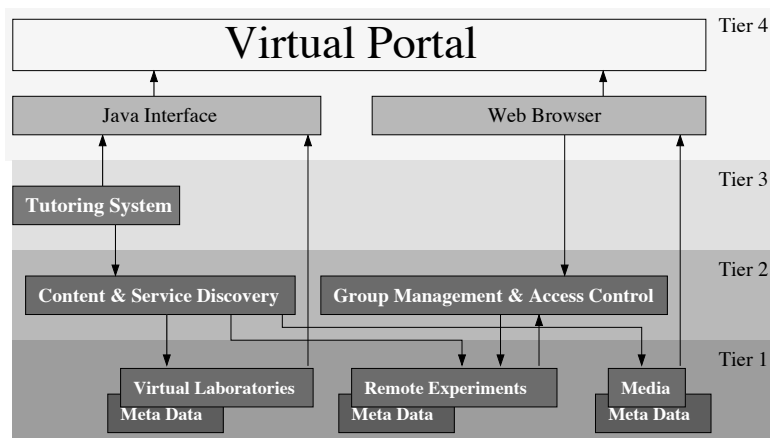


Abb. 1: Softwarearchitektur des LiLa-Projektes

Alle Inhaltsbausteine sollen im Rahmen dieses Projektes durch geeignete Metadaten ausgezeichnet werden, um sie auffindbar und verfügbar zu machen – ähnlich der in Bibliotheken verwendeten DDC-Notation<sup>3</sup>. Natürlich ist nicht zu erwarten, dass ein für traditionelle Medien entwickeltes Notationssystem für derart interaktive Inhalte problemlos geeignet ist; aus diesem Grunde besteht eine Teilaufgabe des Projektes in der Entwicklung bzw. dem Ausbau eines bestehenden Systems für unsere Zwecke. Klares Ziel ist hierbei die Verschlagwortung und die Aufnahme der interaktiven Inhalte des LiLa-Netzwerkes in Bibliothekskataloge.

Die zweite Schicht dient der Verfügbarkeit der Inhalte: Einerseits müssen Inhalte, also sowohl Experimente, Simulationen als auch statische Dokumente innerhalb des europaweiten LiLa-Netzwerkes gefunden werden können. Studierende und Forscher sollen also befähigt werden, anhand Ihrer Bedürfnisse geeignete Inhalte bei Partnerinstitutionen zu finden, ähnlich wie man anhand eines Schlagwortkataloges ein Buch innerhalb einer Bibliothek aufspürt. Andererseits sind fernsteuerbare Experimente anders als Simulationssoftware eine nur begrenzt verfügbare Ressource, die zwischen Nutzern geteilt werden muss und für die je nach Benutzerrolle auch verschiedene Zugriffsberechtigungen notwendig sind. Aus diesem Grunde besteht die zweite Komponente dieser mittleren

3 Dewey Dezimalklassifikation, das verbreitetste Universalklassifikationsschema für wiss. Literatur.

Schicht aus einem Buchungssystem, über welches zeitlich begrenzte Zugänge zu Experimenten reserviert und Benutzerberechtigungen kontrolliert werden können.

Aufgabe der dritten Schicht ist das Zusammenfügen von Experimenten und Dokumenten der Inhaltsebene zu interaktiven Kursen, bzw. die Begleitung von Experimenten durch ein Tutorssystem, welches Studierende anhand eines adaptiven Kurssystems durch ein – reales oder virtuelles – Experiment führt. Ein entsprechender Prototyp für ein derartiges System wurde im Rahmen früherer Projekte an der TU-Berlin entwickelt und wird momentan an der Universität Stuttgart zur vollen Reife entwickelt. Weitere Details zu Marvin, seinem Lerner- und Kursmodell finden sich in Kapitel 3 und in Jeschke et al. (2006).

Die Benutzeroberfläche als vierte Schicht wird schließlich von der virtuellen Welt Wonderland von Sun Microsystems gebildet. Dieses ursprünglich zur Kooperation von an Heimarbeitsplätzen arbeitenden Mitarbeitern entwickelte System dient hier der Integration von Experimenten in eine als Gesamtheit erscheinende virtuelle Welt. Hierbei werden virtuelle Experimente durch entsprechende Visualisierungen eingebettet und die sonst über das Internet verfügbaren Bedien- und Messinstrumente ferngesteuerter Experimente durch entsprechende virtuelle Gegenstücke den Avataren der Studenten zugänglich gemacht. Bedingt durch den recht engen Entwicklungsplan werden wir uns jedoch in einer ersten Ausbauphase mit einer flachen, d.h. zweidimensionalen Visualisierung durch eine einfache Projektion der gewöhnlichen Benutzeroberflächen der Experimente begnügen. Alternativ ist in der Frühphase des Projektes darüber hinaus eine einheitliche Web-Oberfläche für die Experimente geplant, wobei der Zugang zu LiLa dann durch einen gewöhnlichen Browser erfolgt.

## **4 Beispiele und bestehende Komponenten**

Ein Projekt der hier vorliegenden Größenordnung kann nicht von Grund auf neu aufgebaut werden. Daher haben wir uns zum Ziel gesetzt, so weit wie möglich auf bereits vorhandene Komponenten zurückzugreifen, um die Projektziele durch Verknüpfung dieser Komponenten zu erreichen. Dies ist ebenso eine Voraussetzung für die Förderung durch das eContent*plus*-Programm der EU.

### **4.1 Ferngesteuerte Experimente**

Die erste Säule unserer Inhalte wird durch fernsteuerbare Experimente gebildet: Über einen gewöhnlichen PC werden hier Mess- und Stellwerte über das Internet zugreifbar, wobei hier – typischerweise – die LabView-Software von National Instruments zum Einsatz kommt. Derartige Experimente sind bereits bei unseren Projektpartnern, der TU-Berlin, der Universität Cambridge und der Universität Basel im Einsatz.

Als ein Beispiel soll ein Experiment zum Gebiet der Thermodynamik an der TU-Berlin dienen: Hier kann über einen Motor die Position eines Kolbens in einem durchsichtigen Glaszylinder verstellt und damit das dem im Zylinder befindlichen Gas zur Verfügung stehende Volumen geregelt werden. Über ein elektrisch steuerbares Ventil kann Luft aus dem Zylinder abgelassen oder eingefüllt werden und über ein Heizelement die Temperatur des Gases beeinflusst werden. Ein Drucksensor vermisst den Innendruck, und ein Temperatursensor die Gastemperatur. Alle Aktoren werden elektronisch über LabView gesteuert; ebenso werden Messwerte der Sensoren hierüber ausgewertet. Über das LabView Web-FrontEnd wird das Experiment gesteuert und eine zusätzliche Web-Cam erlaubt die Beobachtung des Verlaufes, siehe Abbildung 2.



Abb. 2: Ein ferngesteuertes Experiment über phänomenologische Thermodynamik. Links: Ein Kolben (oben) komprimiert in einem Glaszylinder Luft. Die Temperatur des Gases kann durch ein Heizelement kontrolliert werden (unten). Der Druck und die Position des Kolbens werden vermessen. Rechts: Das entsprechende LabView-Interface des Experimentes.

In einem typischen Experiment lässt der Student zunächst Gas in den Zylinder einströmen, verschließt dann das Ventil und verringert dann durch den Kolben das Volumen des Gases. Hierbei erhöht sich zunächst der Druck. Durch Einschalten des Heizelementes kann nun die Temperatur erhöht werden. Wird nun das Volumen wieder erhöht, so sinkt der Druck wiederum ab, kehrt aber nicht zum exakt gleichen Wert wie zu Beginn des Zyklus zurück. Dies geschieht erst, wenn sich das Gas wieder auf die Umgebungstemperatur abkühlt. Durch Auftragen von Druck über Volumen entsteht eine geschlossene Kurve, das sogenannte pV-Diagramm.

Experimente dieser Art sind Teil des physikalischen Grundstudiums und werden von Studierenden aller Ingenieursstudiengänge und der physikalischen Fakultät durchgeführt; an der TU-Berlin sind dies pro Semester oft mehr als

1000 Studierende, die in mehreren Zügen an der Vorlesung Experimentalphysik teilnehmen.

## 4.2 Virtuelle Labore

Anders als ferngesteuerte Experimente laufen virtuelle Labore gänzlich im Computer ab; die Motivation, weswegen man hier oft keine alleinstehenden Programme, sondern auf Servern ablaufende Software einsetzt, liegt darin, dass bei letzterer Architektur mehrere Studierende gleichzeitig auf dasselbe Experiment zurückgreifen und somit kooperieren. Ein Beispiel für ein virtuelles Labor ist das an der Universität Stuttgart beheimatete virtuelle Labor VideoEasel, welches Experimente im Themengebiet der Vielteilchenphysik ermöglicht (vgl. Jeschke et al., 2007). Weitere virtuelle Labore finden sich bei Projektpartnern in Basel, Cambridge und an der Universität Linköping in Schweden.

Ein dem oberen realen Experiment entsprechendes virtuelles Gegenstück lässt sich etwa in VideoEasel verwirklichen, siehe Abbildung 3: Hierbei simuliert das Labor ein stark vereinfachtes ideales Gas, ein sogenanntes Gittergas (vgl. Hardy et al., 1973; 1976). In einem typischen Experiment zeichnet nun ein Student innerhalb der Laboroberfläche einen elliptischen Gascontainer, und füllt in ein räumlich begrenztes Gebiet dieses Containers Gas ein. Ferner wird ein Messinstrument angeschlossen, welches die Entropie der Gaskonfiguration vermisst – diese physikalische Größe beschreibt die Unordnung des Systems. Wird nun die Simulation gestartet, so verteilt sich das anfänglich räumlich eingegrenzte Gasvolumen unter Erhöhung der Entropie – folgend dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik – gleichmäßig im Container.

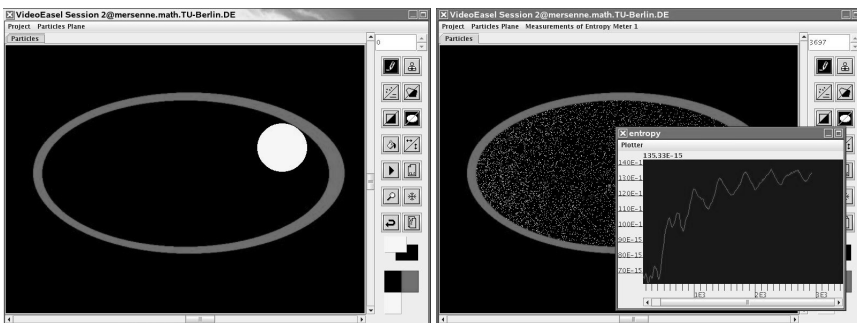


Abb. 3: Ein virtuelles Experiment zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Links der Anfangszustand mit dem Gas in einer Ecke des Containers. Rechts der Endzustand mit dem dort eingeblendeten Verlauf der Entropie über die Zeit.

### 4.3 Tutorprogramme, Lernermodelle und intelligente Assistenten

Die Durchführung solcher komplexeren Experimente erfordert üblicherweise die Begleitung durch einen erfahrenen Kommilitonen oder Assistenten. Um nun Studierenden zu ermöglichen, auch außerhalb der üblichen Arbeitszeiten ohne die Hilfe erfahrener Tutoren zu experimentieren, werden Simulationen und ferngesteuerten Experimenten elektronische Kurssysteme beiseite gestellt; diese Kurse können von Studierenden durch Aktivieren eines Bedienelementes, etwa eines Menüeintrages in einem klassischen Benutzerinterface oder durch einen (virtuellen) Knopf in Wonderland angefordert werden, und bauen daraufhin in einem separaten Fenster ein weiteres Benutzerinterface auf. Ein derartiges Kurssystem ist beispielsweise das ursprünglich für VideoEasel entwickelte Marvin-System (vgl. Jeschke et al., 2006).

Ein Kurs innerhalb dieses Systems setzt sich aus einzelnen Lerneinheiten zusammen, die lediglich die gegenseitige Abhängigkeiten voneinander codieren, siehe Abbildung 4: Jede Lerneinheit formuliert ihre Voraussetzungen sowie ihren Lerninhalt, und es ist Aufgabe des Kurssystems, einen geeigneten Lernpfad – definiert als die Abfolge der Lerneinheiten beim Bearbeiten eines Kurses – zu finden. Zur Beurteilung des Lernerfolges beim Bearbeiten einer Lerneinheit kann das Kurssystem nun über einen Plugin-Mechanismus die Aktionen des Lernenden im entsprechenden Experiment überwachen und geeignet reagieren. Technisch werden hierfür zur Laufzeit Java-Klassen in das Tutorssystem geladen, die über die vom jeweiligen Labor bereitgestellten Ressourcen den Zustand des Experimentes und seiner Bedienelemente abfragen.

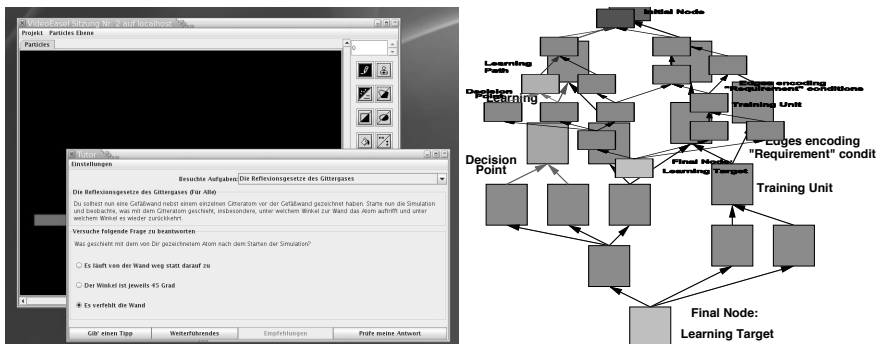


Abb. 4: Links: Screen-Shot des Virtuellen Labors mit dem Tutorprogramm im Vordergrund, hier ein Experiment zum Reflexionsgesetz. Rechts: Pfadmodell eines Kurses mit Lerneinheiten, dort grün: ein Entscheidungspunkt. Die Pfeilrichtung codiert die Abhängigkeiten der Einheiten voneinander, von unten nach oben, die Bearbeitungsrichtung eines Kurses erfolgt entgegen der Pfeilrichtung.



Da nun eventuell mehrere Lernpfade zum Ziel führen, kann das Marvin-System über die reine Begleitung des Kurses hinaus eine Statistik über den Lernerfolg der diversen Pfade erstellen und hieraus empfehlenswerte Lernstrategien ableiten und dem Lernenden vorschlagen (siehe hierzu Jeschke et al., 2006).

#### 4.4 Kooperation in virtuellen Welten

Die Oberfläche aller hier vorgestellten Experimente bleibt bislang zwangsläufig abstrakt und entspricht nur in geringem Maße den Eindrücken, die ein reales Labor bieten kann – insbesondere kann man sich in der Realität mit Kommilitonen oder Kollegen austauschen und mit ihnen in einem Experiment kooperieren bzw. sich von ihnen unterstützen lassen. Dieses didaktisch wichtige Element von Laborpraktika wird leider bei vergleichbaren Projekten häufig vernachlässigt; bedingt durch die immer komplexer werdende Materie werden heutzutage allerdings Projekte in der Arbeitswelt des Wissenschaftlers oder Ingenieurs nur noch selten von einzelnen Personen betreut, Teamarbeit ist hier der Regelfall. Zu ganz ähnlichen Zwecken wurde von Sun Microsystems ursprünglich das Project Wonderland<sup>4</sup> (vgl. Corban, 2008) ins Leben gerufen, welches im Rahmen von LiLa als Oberfläche und Zugang zu den Experimenten dienen wird.



Abb. 5: Screen-Shot aus Wonderland: Avatare vor der Projektion eines in Wonderland eingebetteten Web-Browsers (Quelle: Sun Microsystems).

4 Siehe <https://lg3d-wonderland.dev.java.net/>.

Ein typischer Blick in Wonderland bietet Abbildung 5: Mitarbeiter können sich über Avatare innerhalb der virtuellen Welt bewegen und mittels Headsets miteinander unterhalten. Über simulierte Projektionsflächen können Präsentationen abgespielt oder auch beliebige Desktop-Programme in die virtuelle Welt eingebettet werden.

Für LiLa werden entsprechend virtuelle Gegenstücke von realen Experimenten erstellt, wobei wir in der ersten Projektphase zunächst auf die bereits mögliche zweidimensionale Einbettung der existierenden Programmoberflächen, wie in Abbildung 5 gezeigt, zurückgreifen werden. Um die Interaktion von Benutzern mit Objekten in der virtuellen Welt, also etwa Experimenten, zu ermöglichen, stellt Wonderland ein eigenes Event-System bereit: Jedes Objekt kann hierfür durch eine Java-Klasse ergänzt werden, deren Methoden bei Bedienung durch den Benutzer aufgerufen werden. Diese Interface-Klasse dient dann zur Weiterleitung der Aktion an das jeweilige Experiment, etwa durch Übermittlung der Interaktion über ein Netzwerk an einen LabView-Server vor Ort, der letztendlich das eigentliche Experiment steuert.

## **5 Zusammenfassung**

Obwohl LiLa ein ehrgeiziges Projekt zur Erstellung einer Infrastruktur von ferngesteuerten Experimenten und virtuellen Laboren ist, möchten wir an dieser Stelle klarstellen, dass wir keinesfalls traditionelle Labore aus der Ingenieurs- und Wissenschaftsausbildung verbannen möchten. Der Wert eines Laborexperimentes liegt nicht nur im wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn, sondern auch im Erlernen des praktischen Umgangs mit den Gerätschaften und im sozialen Umgang mit Kommilitonen und Tutoren. Obwohl wir versuchen, diese Strukturen so weit wie möglich virtuell nachzubilden, bleibt zwangsläufig eine computerbasierte Umgebung unvollständig. Wir hoffen, im Rahmen von LiLa aus den durch Finanzknappheit gezeichneten Rahmenbedingungen eine Tugend zu machen und so durch eine Föderation aus vielen Partnern dem akademischen Nachwuchs den Zugang auch zu neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen zu ermöglichen – eine Aufgabe, die eine einzige Institution allein heutzutage nicht bewerkstelligen könnte.

## **Literatur**

- Basher, H.A. & Isa, S.A. (2006). On-campus and Online Virtual Laboratory Experiments with LabVIEW, *Proc. of IEEE SoutheastCon*, pp. 325–330.
- Corban, M. (2008). Intuitiver gemeinsam forschen und lernen, *Industrieanzeiger*, 52, Leinfelden-Echterdingen

- Gustavsson, I., Zackrisson, J., Håkansson, L., Claesson, L. & Lagö, T. (2007). The VISIR project – an Open Source Software Initiative for Distributed Online Laboratories, *Proc. of Annual Int. Conf. on Remote Engineering and Virtual Instrumentation*.
- Hardy, J., Pomeau, Y. & de Payssis, O. (1973). Time evolution of two-dimensional model system I: invariant states and time correlation functions, *Journal of Mathematics Physics*, 14, 1746-1759.
- Hardy, J., Pomeau, Y. & de Payssis, O. (1976). Molecular dynamics of a classical lattice gas: Transport properties and time correlation functions, *Physical Review A*, 13, 1949–1961.
- Harward, V.J., del Alamo J.A., Lerman, S.R, Bailey, P.H, Carpenter, J., DeLong, K., Felknor, C., Hardison, J., Harrison, B., Jabbour, I., Long, P.D., Tingting, M., Naamani, L., Northridge, J., Schulz, M., Talavera, D., Varadharajan, C., Shaomin, W., Yehia, K., Zbib, R. & Zych, D. (2008). The iLab Shared Architecture: A Web Services Infrastructure to Build Communities of Internet Accessible Laboratories, *Proc. of IEEE*, 96 (6), 931–950.
- Jeschke, M., Jeschke, S., Pfeiffer, O., Reinhard, R. & Richter, Th. (2006). *Intelligent Training Courses in Virtual Laboratories*, Proc. of ED-Media 2006 (Orlando). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), Norfolk, VA, USA, pp. 2069–2074.
- Jeschke, S., Richter, Th., Scheel, H. & Thomsen, Ch. (2007). *On Remote and Virtual Experiments in eLearning in Statistical Mechanics and Thermodynamics*, Pervasive Computing and Communications Workshops, 2007 (PerCom'07). Fifth Annual IEEE International Conference on. IEEE Computer Society, pp. 153–158.
- Jeschke, S., Richter, Th., Scheel, H., Seiler, R. & Thomsen, Ch. (2005). *Das Experiment und die eLTR-Technologien: Magnetismus in Virtuellen Laboren und Remote-Experimenten*, Lecture Notes in Informatics (LNI). Bonner Köllen Verlag.

Nicolas Apostolopoulos, Harriet Hoffmann,  
Veronika Mansmann, Andreas Schwill (Hrsg.)

# E-Learning 2009

## Lernen im digitalen Zeitalter



Waxmann 2009  
Münster / New York / München / Berlin

## **Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

## **Medien in der Wissenschaft; Band 51**

Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft e.V.

ISBN 978-3-8309-2199-8

ISSN 1434-3436

© Waxmann Verlag GmbH, 2009

Postfach 8603, 48046 Münster

[www.waxmann.com](http://www.waxmann.com)

[info@waxmann.com](mailto:info@waxmann.com)

Umschlaggestaltung: Pleßmann Kommunikationsdesign, Ascheberg

Titelfoto: Juanjo Tugores – Fotolia.com

Satz: Stoddart Satz- und Layoutservice, Münster

Druck: Hubert & Co., Göttingen

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier,  
säurefrei gemäß ISO 9706

Alle Rechte vorbehalten

Printed in Germany