

## **Virtuelle Labore für das E-Learning**

### **Zusammenfassung**

Im Informatik-Institut OFFIS werden schon seit mehreren Jahren Forschungs- und Entwicklungsstrategien für die verstärkte Nutzung von eLearning-Technologien zur praktischen Labor Ausbildung in der Gentechnik entwickelt. Beim Medida-Prix 2002 wurden diese Konzepte mit dem Publikumspreis belohnt. Der vorliegende Artikel beschreibt den aktuellen Stand der Entwicklung zum Zeitpunkt der Bewerbung, die bisherigen und geplanten Weiterentwicklungen und geht rückblickend auf die Wirkung des Publikumspreises ein.

## **1 Entwicklung virtueller Labore**

### **1.1 Motivation und Problemstellung**

Laborpraktika sind ein wesentlicher Bestandteil in der Ausbildung und dem Studium naturwissenschaftlicher Berufe. Solche Praktika stellen jedoch hohe Ansprüche: Lehrende müssen für große Zahlen von Auszubildenden und Studierenden akzeptable Arbeitsumgebungen schaffen, Lernende müssen oft über längere, zusammenhängende Zeiträume im Labor präsent sein. Eine effektive Vorbereitung auf Praktika durch Bücher und Bedienungsanleitungen der Laborgeräte ist nicht möglich und führt in der Praxis zu teuren und frustrierenden Fehlschlägen.

Eine Unterstützung der Auszubildenden und Studierenden zur Vorbereitung auf solche Laborpraktika ist daher dringend notwendig. Klassische rechnergestützte Lehr- und Lernsysteme ermöglichen im Wesentlichen nur das Erlernen von Faktenwissen, für die Vorbereitung auf die praktische Arbeit im Labor reicht das nicht. Handlungswissen wird benötigt. Mit virtuellen Laboren werden daher vor allem Handlungsabläufe trainiert. Unter einem virtuellen Labor verstehen wir die Abbildung eines realen Labors auf einen Rechner, das aus zwei inhaltlich stark miteinander verbundenen Teilen besteht: Der hoch interaktive virtuelle

Laborraum ermöglicht exploratives Lernen und dient zum Erwerb des Handlungswissens. Durch die realitätsnahe Darstellung können die erlernten Abläufe später leicht auf die Realität übertragen werden. Der virtuelle Seminarraum dagegen dient dem Erwerb des zusätzlich notwendigen Faktenwissens und ist im Sinne eines klassischen LLS realisiert. Durch eine starke Verknüpfung von virtuellem Labor- und Seminarraum wird die Brücke zwischen Theorie und Praxis geschlagen.

Die Bestandteile eines virtuellen Laborraums entsprechen denen eines realen Labors: virtuelle Arbeitsplätze, Laborgeräte, Behälter und Substanzen. Der Lernende kann sich frei im virtuellen Labor bewegen und Experimente nach dem Prinzip Versuch & Irrtum durchführen. Der virtuelle Laborraum bietet ein hohes Maß an Freiheiten in der interaktiven Bedienung. Auch komplexe naturwissenschaftliche Techniken können so detailgenau nachvollzogen werden. Ein Anleitungsfenster informiert den Lernenden über die durchzuführenden Arbeitsschritte. Abbildung 1 zeigt einen virtuellen Arbeitsplatz.

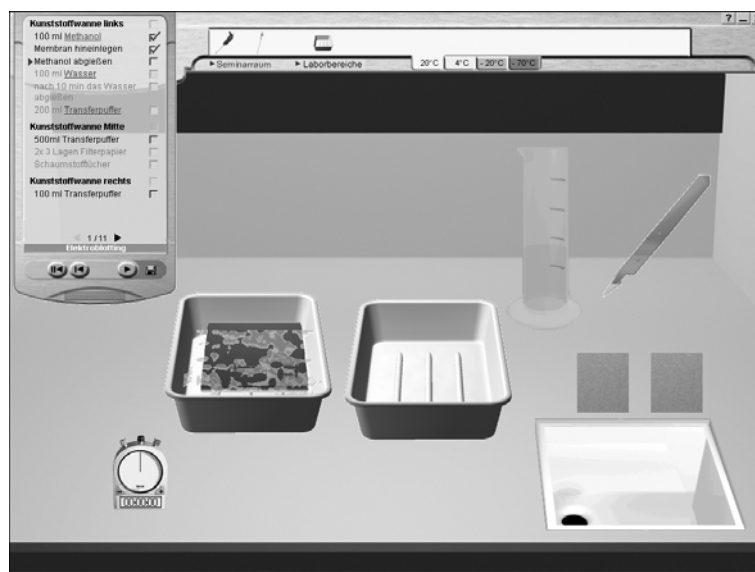


Abbildung 1: Virtuelles Experimentieren in GenLab

Im virtuellen Seminarraum befinden sich u. a. ein Computerarbeitsplatz, eine Leinwand und eine Bibliothek (s. Abbildung 2): Am virtuellen Computer lassen sich z. B. Versuchsergebnisse auswerten, auf der Leinwand werden Animationen zur Veranschaulichung der theoretischen Grundlagen präsentiert und in der Bibliothek befinden sich virtuelle Aktenordner mit textuellen und grafischen Informationen zu den verwendeten chemischen Substanzen, Zubehör, Laborgeräten und den theoretischen Grundlagen.



Abbildung 2: Virtueller Seminarraum

Ein Praktikum in einer hochgradig interaktiven, virtuellen, multimedialen Rechnerumgebung erlaubt den Studierenden bereits vor dem eigentlichen Praktikum unabhängig von Zeit und Raum wertvolle Erfahrungen im Umgang mit Geräten und Reagenzien zu gewinnen und den Ablauf der Versuche zu erlernen, ohne materielle Ressourcen zu verbrauchen. Das Hintergrundwissen ist durch die starke Verknüpfung von Laborkomponente und Seminarraum ständig zugänglich. Im virtuellen Labor können auch Versuche durchgeführt werden, die in der Praxis zu gefährlich sind oder aus Zeit- und Kostengründen nicht im

realen Labor durchgeführt werden können. Die Durchführung realer Praktika kann so insgesamt effizienter gestaltet werden. Studierende können sich besser und gezielter auf ihre realen Aufgaben vorbereiten und die Zahl der Fehlversuche im realen Laborexperiment wird reduziert: Das spart Zeit und Materialkosten.

Leider ist die Entwicklung eines virtuellen Labors ausgesprochen aufwendig und teuer. Ein Hauptproblem bei der Entwicklung virtueller Labore ist die Heterogenität des Entwicklungsteams: Informatiker sind für den technischen Entwurf und die Implementierung zuständig, Fachexperten wie Biologen, Chemiker, und Gentechniker bringen ihr Wissen über die Inhalte, die Laborausstattung und -nutzung sowie die teilweise sehr komplexen Experimentabläufe ein, (Fach-)Didaktiker sind verantwortlich für die Aufbereitung und Nutzung der Inhalte, Medien-Spezialisten sorgen für eine ansprechende Nachbildung der Labore im virtuellen Raum und erstellen Animationen zur Visualisierung der naturwissenschaftlichen Prinzipien und Vorgänge. Um den komplexen Entwicklungsprozess virtueller Labore zu vereinfachen und zu verbessern wurde am Oldenburger Forschungsinstitut OFFIS ein allgemeiner Lösungsansatz entwickelt, der eine effiziente und kostengünstigere Entwicklung virtueller Labore, unterstützt.

Doch nicht nur die Entwicklung von virtuellen Laboren soll mit Werkzeugen vereinfacht werden: Die gesamte Prozesskette bis hin zum Einsatz in einem konkreten Kurs einer Hochschule muss betrachtet werden. Jede Hochschule führt ihre Kurse und Praktika unterschiedlich durch. Eine wichtige Rolle für die Akzeptanz der Software und damit für die erfolgreiche Integration in ein Curriculum spielt daher die individuelle Konfiguration und Adaptierbarkeit an die individuellen Bedürfnisse. Auch hierfür werden grafische Werkzeuge benötigt, die vom Dozenten in einfacher Weise genutzt werden können.

## **1.2 Darstellung der Ergebnisse**

### **1.2.1 Entwicklungsstand zum Zeitpunkt des Medida Prix**

Um den komplexen Entwicklungsprozess virtueller Labore zu vereinfachen und zu verbessern wurden im Projekt *VirtLab* allgemeine software-technische Methoden und Werkzeuge zur effizienten und kostengünstigeren Entwicklung virtueller Labore entwickelt und ein allgemeiner Lösungsansatz erarbeitet (siehe Abbildung 3). Auf der untersten Schicht, der Entwicklungsumgebung für virtu-

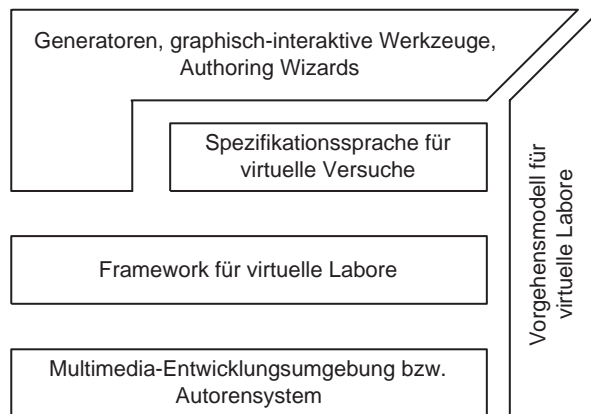


Abbildung 3: Schichtenmodell von Virtlab

elle Labore, kommt das Autorensystem Macromedia Director zum Einsatz. Dieses wird von den Medienspezialisten und Informatikern verwendet. Das darüber liegende domänenunabhängige Framework stellt eine abstrakte Sicht auf die technische Realisierung des Systems dar und bietet dem Informatiker spezielle Funktionen zur Programmierung eines virtuellen Labors. Auf der Ebene der Spezifikationssprache wird von der eigentlichen Implementierung der virtuellen Versuche weiter abstrahiert. Mit ihr können sowohl Versuchsaufbau als auch Versuchsablauf formal festgelegt werden. Das Vorgehensmodell und die zugehörige Entwicklungsmethodik für virtuelle Labore beschreibt das Zusammenspiel des Entwicklerteams. Um die Entwicklungshilfen der unteren Schichten auch für Nicht-Programmierer verfügbar zu machen, kommen in der obersten Schicht neben Standardwerkzeugen für die Multimedia-Entwicklung auch spezielle grafisch-interaktive Entwicklungswerkzeuge für virtuelle Labore zum Einsatz, mit denen z. B. Experimente in das virtuelle Labor eingefügt und angepasst werden können. Zentrales Werkzeug zum Zeitpunkt der Bewerbung beim Medida-Prix 2002 war das Werkzeug zur Versuchsdefinition, mit dem Lehrende bzw. Domänen-Experten selber neue Versuche erstellen und bestehende bearbeiten können. Diese werden in der Spezifikationssprache für virtuelle Versuche abgespeichert und können z. B. über das Internet an die Studierenden verteilt werden.

### **1.2.2 Aktueller Entwicklungsstand**

Nach dem Gewinn des Publikumspreises beim Medida-Prix 2002 wurden die Werkzeuge und Konzepte an vielen Stellen erweitert. Insbesondere an den Anpassungsmöglichkeiten eines fertigen virtuellen Labors an einen spezifischen Kurs wurde gearbeitet. So lassen sich nun individuelle Dokumente (z. B. Vorlesungsskripte, Literaturhinweise, etc.) in speziellen Dozentenordnern integrieren. Auf dem Computer können vom Lehrenden selbst erstellte Wissenstests platziert werden. Diese dienen zum einen zur Selbstkontrolle für den Studierenden. Zum anderen können die gegebenen Antworten auch über das Internet an einen Server geschickt werden. Über Webseiten kann sich der Lehrende dann ein Bild vom aktuellen Leistungsstand seiner Schüler machen. Auch Statistiken über alle Lernenden sind möglich. Ebenfalls auf dem Computer kann der Dozent eine Webseite mit weiterführenden Informationen und Internetlinks hinterlegen. Die Leinwand im Seminarraum kann so konfiguriert werden, dass nun beliebige Animationen, Videos und Vorträge gezeigt werden können. In den virtuellen Versuchen können von Lehrenden Substanzen ausgetauscht werden. Weiterhin wurden die virtuellen Labore um eine einfache Kursverwaltung erweitert. Dozenten können damit eigene Kurskonfigurationen ablegen. Beim Starten des Labors wählt der Studierende einen Kurs aus und meldet sich mit seiner Matrikelnummer an, so dass die kursspezifischen Elemente geladen werden können. Da die Konfigurationen in XML-Dateien gespeichert werden, lassen sich diese auch über das Internet austauschen. Diese XML-Dateien braucht der Dozent nicht selber zu schreiben, sondern kann mittels einer grafischen Oberfläche seine Konfigurationen vornehmen (s. Abbildung 4). Seit dem Medida-Prix 2002 haben sich also die Möglichkeiten für den Dozenten, ihr virtuelles Labor an einen speziellen Einsatz und Lehrplan anzupassen, erheblich verbessert.

Neben den geschilderten Weiterentwicklungen der Werkzeuge wurden unsere Konzepte für das virtuelle Genlabor erfolgreich auf andere Gebiete übertragen (s. Abbildung 5). Im Mai 2003 erstellte OFFIS in Zusammenarbeit mit der Universität Kiel einen Prototypen eines virtuellen Labors „Physik für Biologen“. Die einzuübenden Handlungsabläufe sind in der Physik oft anders als in der Gentechnik, denn das richtige Verkabeln von Geräten, das Ablesen, Eintragen und Analysieren von Messwerten stehen hier im Vordergrund. Nur wenig später wurde in Zusammenarbeit mit dem Umweltforschungszentrum in Leipzig ein virtuelles Labor für die Umweltwissenschaften entwickelt. Die Zielgruppe für die e-Learning Software sind Schüler: Hintergrund ist das im April 2004



Abbildung 4: Konfigurationswerkzeuge für den Dozenten

eröffnete *Kubus*. *Kubus* ist ein reales Labor für Schüler und Schülerinnen. Hier können die Lernenden abseits vom Schulalltag einige grundlegende Versuche zu den Umweltwissenschaften (z. B. Reinigung des Grundwassers) in ein oder zwei Labortagen durchführen. Durch die Bereitstellung des virtuellen Labors können sich Schüler bereits vor ihrer Laborarbeit ausgiebig auf die Themen vorbereiten, um so die kostbare Zeit im Labor für die praktische Arbeit nutzen zu können.

Ein wichtiges Ereignis in der Zeit nach dem Medida-Prix 2002 stellt die Vermarktung der *GenLab* CD-ROM dar. Im Juni 2003 wurde unser erstes virtuelles Labor in einer eigenständigen Produktion vom Spektrum Akademischer Verlag auf den Markt gebracht. Die Akzeptanz war sehr groß. Schon nach wenigen Monaten war die erste Auflage vergriffen, so dass bereits im Dezember 2003 nachproduziert wurde.

Ende 2003 konnte dann auch das *ViPGen*-Projekt erfolgreich abgeschlossen werden. Zum Projektergebnis zählen eine deutsche und englische Version des *ViPGen*-Systems, sowie diverse Werkzeuge zur Erstellung und Konfiguration für

den Einsatz in der Hochschule. Der ViPGen-Einsatz wurde bereits von einigen Instituten (u. a. der Universität Frankfurt und Halle) zugesagt.

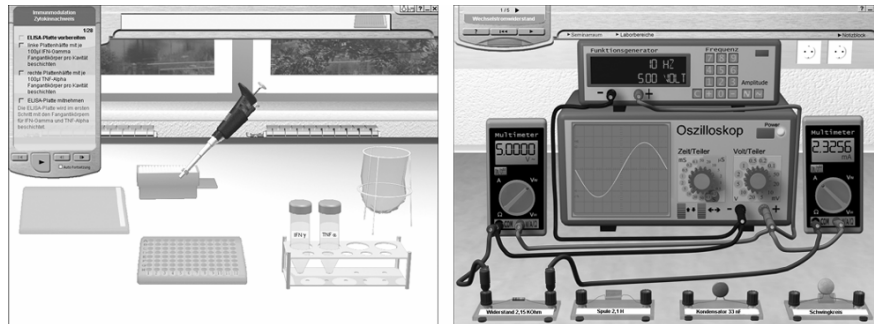


Abbildung 5: Virtuelle Labore für die Umweltwissenschaften (links) und Physik (rechts)

### 1.3 Projektlandschaft

Die Konzepte und Werkzeuge zur Erstellung und Wartung virtueller Labore wurden im Rahmen des Projektes *VirtLab* entwickelt. *Virtlab* wurde von der DFG im Schwerpunktprogramm V3D2 in der Zeit vom 01.09.2000 bis 31.08.2002 gefördert. Die Projektergebnisse konnten bereits in dem parallel durchgeführten Projekt „Virtuelles Praktikum Gentechnik“ (*ViPGen*) eingesetzt und getestet werden. Mit Hilfe von *ViPGen* werden die theoretischen und insbesondere die praktischen Grundlagen der Gentechnologie sowie darüber hinausgehende experimentelle Strategien zur Forschung in der Gentechnik vermittelt. *ViPGen* wurde innerhalb des Förderprogramms „Neue Medien in der Bildung“ vom BMBF von 01.04.2001 bis 30.09.2003 unterstützt. An der Entwicklung waren mehrere Institutionen beteiligt: das Institut für Mikrobiologie (Universität Düsseldorf), Abteilungen Allgemeine Genetik und Genetik der Tiere (Universität Tübingen), Spektrum Akademischer Verlag (Heidelberg), Abteilung Informationssysteme (Universität Oldenburg) und OFFIS (Oldenburg). *ViPGen* basiert auf die Vorarbeiten der Projektpartner: „Virtuelles Gentechnisches Praktikum“ (*GenLab*) und „MultimediaModule der Gentechnik“ (MMMG). Die entwickelten Werkzeuge aus *Virtlab* sowie das „Endprodukt“ *ViPGen* wurden



während der Projektlaufzeit an vier weiteren Universitäten eingesetzt und evaluiert.

## 2 Entwicklungsperspektiven

In Zukunft sollen *ViPGen* und *GenLab* nicht nur in Deutschland verfügbar sein, sondern auch international vermarktet werden. Aus diesem Grunde wurden bereits beide Systeme ins Englische übersetzt und vertont. Zurzeit wird ein Partner zur Vermarktung in den USA gesucht. Mit der Erweiterung des Marktes auf englischsprachige Länder können die virtuellen Labore eine ungleich höhere Verbreitung erlangen.

Unser Hauptanliegen im Themenfeld „Virtuelle Labore“ ist auch weiterhin die Entwicklung von Werkzeugen zur Erstellung virtueller Labore aus Sicht der Informatik. Zurzeit befindet sich im OFFIS eine Dissertation in der Endphase, in der die in diesem Beitrag beschriebenen Konzepte aus Sicht der Softwaretechnik im Detail beschrieben werden.

Weiterhin wird ein datengetriebenes Assistenzsystem für virtuelle Labore entwickelt. Dies ermöglicht es, den Lernenden adaptiv und individuell bei der Arbeit im virtuellen Labor zu unterstützen und zu motivieren (s. Abbildung 6). Dazu werden die Leistungen des Anwenders anhand bestimmter Kriterien gemessen, mit ehemaligen Leistungsdaten und derer anderer Lernender verglichen und anschließend bewertet. Die Bewertung führt zu einer automatischen und individuellen tutoriellen Hilfe.

Ein weiteres aktuelles Forschungsvorhaben ist die Verschmelzung von virtuellen Laboren und Learning Management Systemen (LMS). Auf diese Weise können die virtuellen Labore, die bisher als CD-ROM distribuiert werden, auch online verfügbar gemacht werden. Zudem finden LMS auf der einen Seite immer weiteren Einzug in die Hochschulen und bieten viele Funktionen, die in Verbindung mit virtuellen Laboren genutzt werden können (z. B. Nutzerverwaltung, Authentifizierungen, Einstellen von individuellen Lerneinheiten, Foren, Chatfunktion etc.) Auf der anderen Seite bieten virtuelle Labore eine sehr intuitive und einfache Benutzungsschnittstelle für den Zugang zu verschiedener Medien, können neben Faktenwissen auch Handlungsabläufe vermitteln und trainieren.

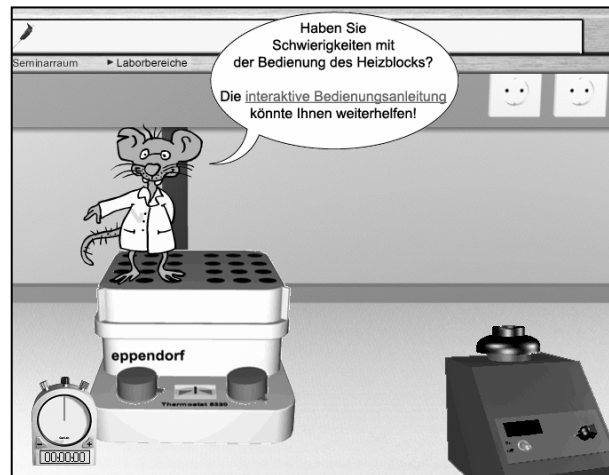


Abbildung 6: Adaptive Assistenz im virtuellen Labor

### 3 Die Medida Prix Auszeichnung im Rückblick

Die Teilnahme am Medida-Prix 2002 und der Gewinn des Publikumspreises hat unsere Arbeit in vielfältiger Weise positiv beeinflusst. Der Zuspruch der Besucher der GMW-Jahrestagung war bereits im Rahmen der Ausstellung aller Finalteilnehmer im Tagungszentrum spürbar und führte zu vielen interessanten Kontakten und Gesprächen an unserem Stand. Die spätere Auszeichnung durch dieses Fachpublikum kann nicht hoch genug bewertet werden.

Ein wichtiger Effekt des Publikumspreises war sicherlich die Steigerung des Bekanntheitsgrades unserer Arbeit. So folgten dem Publikumspreis zahlreiche Einladungen zur Vorstellung unserer Arbeiten auf weiteren Veranstaltungen rund um das Thema eLearning, u. a. zur Learntec und CeBit 2003. Auch die damals noch offenen Verhandlungen mit Spektrum Akademischer Verlag über eine Vermarktung unserer *GenLab*-CD-ROM wurden durch die Auszeichnung günstig beeinflusst. Das Medida-Prix-Finale hat uns weiterhin unmittelbar geholfen, neue Partner zu finden. In unserer Final-Präsentation hatten wir explizit auf unser Interesse an Kooperationen hingewiesen. Unser Ziel dabei: der

Transfer unseres Konzepts auf andere Naturwissenschaften. Direkt aus einem Kontakt beim Medida-Prix entstand dann auch die Idee für das bereits genannte virtuelle Labor „Physik für Biologen“. Für uns war die nachfolgende Zusammenarbeit mit der Universität Kiel zugleich der erste ernsthafte Test, ob unsere Methode zu Entwicklung virtueller Labore auch außerhalb der Gentechnologie erfolgreich angewendet werden konnte. Ohne die dabei gesammelten Erfahrungen und die erzielten Fortschritte wären spätere Weiterentwicklungen wie das virtuelle Umweltschutzlabor nicht denkbar gewesen.

Weniger dem Publikumspreis sondern vielmehr den Gesprächen mit der Medida-Prix-Jury und den später vom Organisationsbüro erhaltenen Rückmeldungen verdanken wir schließlich einen weiteren Fortschritt. Nicht das was als gut, sondern das was als kritisch beurteilt wurde war dabei von Wert und eine besondere Motivation, unsere Arbeiten weiter zu verbessern. Insbesondere der weitere Ausbau und die Vereinfachung unserer Dozenten-Werkzeuge zur Individualisierung und Wartung der virtuellen Labore wurden durch unsere Teilnahme am Wettbewerb angeregt.