Virtuelle Labore für den naturwissenschaftlichen (Schul-)Unterricht

Ansgar Scherp, Marco Schlattmann
Multimedia und Internet-Informationssysteme
Kuratorium OFFIS e.V.
Escherweg 2, D-26121 Oldenburg/Germany
email: {Scherp}{Schlattmann}@OFFIS.DE

1 Einleitung

Wesentlicher Bestandteil naturwissenschaftlicher Fächer wie Biologie, Chemie und Physik sind die durchzuführenden Versuche. Diese werden in der Regel vom Lehrer vorgeführt und von den Schülern beobachtet. Die Schüler können dabei Vorschläge zur weiteren Versuchsdurchführung geben. Der praktische Umgang mit der Laborausstattung und das aktive Erlernen von Handlungsabläufen bleibt den Schülern dadurch jedoch verwehrt. Nur in bestimmten Fällen können die Versuche auch von den Schülern selbst durchgeführt werden. Ursache dafür ist die oft schlechte Ausstattung der Schulen in den naturwissenschaftlichen Fächern. So ist die Laborausstattung oft veraltet und defekt, oder die laufenden Materialkosten sind zu hoch. Auch können zahlreiche Versuche aus Zeit- oder Gefahrengründen nicht von den Schülern selbst durchgeführt werden. Als Lösung dieser Problematik wird in diesem Beitrag der Einsatz von virtuellen Laboren im naturwissenschaftlichen (Schul-)Unterricht vorgestellt.
Dazu wird im nächsten Abschnitt zunächst der Begriff des virtuellen Labors geklärt. Danach wird in Abschnitt 3 das virtuelle Gentechnik-Labor *ViPGen* vorgestellt. In Abschnitt 4 wird der Nutzen für den naturwissenschaftlichen (Schul-)Unterricht durch den Einsatz von virtuellen Laboren erläutert. Im darauf folgenden Abschnitt 5 wird auf die Probleme bei der Entwicklung von virtuellen Laboren eingegangen und es werden spezielle Methoden und Werkzeuge vorgestellt, die den Entwicklungsprozess quantitativ und qualitativ verbessern. Im abschließenden Abschnitt 6 erfolgt eine Zusammenfassung und ein Ausblick bezüglich zukünftiger beziehungsweise möglicher Arbeiten.

2 Was ist ein virtuelles Labor?

Der Begriff des virtuellen Labors wird nicht einheitlich verwendet: So werden unter virtuellen Laboren zum Beispiel reale Hochschullabore mit entsprechenden Laborgeräten, Behältern und Substanzen verstanden, die von Telenutzern mit Hilfe von Kameras beobachtet und mit Robotern ferngesteuert werden können. Auch werden oft textuelle WWW-Seiten mit integrierten Animationen, *Java-Applets* oder *Shockwave-Filmen*, die zur Simulation von Geräten oder Prozessen dienen, bereits als virtuelle Labore bezeichnet.
In diesem Artikel wird dagegen unter einem virtuellen Labor die simulations-basierte, multimediale Nachbildung eines realen (Schul-)Labors in ein Computer-System in Form eines multimedialen Lehr- und Lernsystems verstanden. Das virtuelle Labor präsentiert sich dem Lerner als hoch interaktive VR-Umgebung (Virtuelle Realität), ist dabei aber dennoch auf einem handelsüblichen Computer-System ablauffähig. Ein solches virtuelles Labor dient ins-

besondere zum Erlernen der Arbeitsschritte und Techniken naturwissenschaftlicher Versuche. Typische Einsatzbereiche sind die naturwissenschaftlichen Fachgebiete wie Biologie, Physik und Chemie sowie deren Spezialgebiete und interdisziplinären Themenbereichen (siehe Scherp, 2001, Seite 12). So wurde mit *GenLab*[1] bereits ein Prototyp eines virtuellen Gentechnik-Labors unter Verwendung des Autorensystems *Director* von *Macromedia* realisiert (siehe GenLab, 2001). Dieser Prototyp wird derzeit im Projekt *ViPGen*[2] weiterentwickelt und zur Marktreife gebracht (siehe ViPGen, 2001).

3 Das virtuelle Labor *ViPGen*

Am konkreten Beispiel des virtuellen Gentechnik-Labors *ViPGen* wird nun gezeigt, wie mit Hilfe von virtuellen Laboren gelernt werden kann. *ViPGen* besteht strukturell aus den folgenden beiden Teilen, die inhaltlich stark miteinander verbunden sind (siehe auch Schlattmann u. a., 2001):

1.) Der hoch interaktive **virtuelle Laborraum** ermöglicht exploratives Lernen und dient zum Erwerb von Handlungswissen. Durch die realitätsnahe Darstellung der Laborkomponenten und Arbeitsabläufe können die erlernten Handlungsabläufe später leicht auf die Realität übertragen werden (siehe dazu Scherp, 2001, Seite 124). Unterstützt wird der Schüler durch ein intelligentes Tutorsystem, das dessen Aktivitäten ständig beobachtet und gegebenenfalls Hilfestellungen leistet.
2.) Der **virtuelle Seminarraum** dagegen dient zum Erwerb des notwendigen Hintergrundwissens zu den Versuchen und ist im Sinne eines klassischen Lehr- und Lernsystems realisiert.

Nach dem Start von *ViPGen* betritt der Lerner zunächst den virtuellen Seminarraum. Hier befindet sich unter anderem ein Computerarbeitsplatz, eine Leinwand und eine Bibliothek. Mit dem virtuellen Computer lassen sich zum Beispiel Versuchsergebnisse auswerten. Auf der Leinwand können zeitabhängige Medien präsentiert werden, wie zum Beispiel Animationen zur Veranschaulichung der gentechnologischen Grundlagen. Auch kann hier mit Hilfe von interaktiven Bedienungsanleitungen der richtige Umgang mit den Laborgeräten Schritt für Schritt gelernt werden. In der Bibliothek befinden sich vier virtuelle Aktenordner. Die Ordner enthalten textuell-graphische Informationen zu chemischen Substanzen, Laborzubehör, Laborgeräten und den Grundlagen der Gentechnologie (siehe Abbildung 1).

Kernstück der Anwendung ist jedoch der virtuelle Laborraum, der über den Seminarraum betreten werden kann. Die Bestandteile des virtuellen Laborraums entsprechen dem eines realen Labors und sind zum Beispiel virtuelle Laborgeräte, Behälter und Substanzen. Des Weiteren besteht der virtuelle Laborraum aus mehreren Arbeitsflächen. Der Schüler kann sich mit Hilfe von Maus und Tastatur im virtuellen Labor bewegen und Experimente nach dem Prinzip *Versuch & Irrtum* durchführen. Besonderes Kennzeichen ist die hohe Interaktivität der Benutzungsoberfläche. Die Laborgeräte, Behälter und Substanzen können in nahezu beliebiger Reihenfolge bedient und verwendet werden (*Explorationen-Konzept*). Dabei können virtuelle Behälter und Substanzen mit Hilfe der *Transportleiste* zwischen den verschiedenen Arbeitsflächen transportiert werden. Der virtuelle Laborraum dient insbesondere zum Erler-

---

[1] Das Projekt *GenLab* wurde von 1998 bis 2000 im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme *Weiterentwicklung des wissenschaftlichen und technischen Buches zur multimedialen Wissensrepräsentation* unter dem Förderkennzeichen 08C5834 gefördert.

[2] Das Projekt *ViPGen* wird von 2001 bis 2003 im Rahmen der BMBF-Fördermaßname *Neue Medien in der Hochschullehre* unter dem Förderkennzeichen 08NM115A gefördert.

nen der teilweise sehr komplexen Arbeitsschritte und der benötigten Techniken naturwissenschaftlich-technischer Versuche. Dazu steht ein *Anleitungsfenster* zur Verfügung, in dem die einzelnen Arbeitsschritte des Versuchsablaufs dargestellt werden. Ein Beispiel einer solchen Arbeitsfläche ist in Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 1: Elektronischer Aktenordner mit Informationen zu Arbeitsgeräten im Labor

Dabei kommen die Vorteile gegenüber realen Praktika in Form einer ständigen Fehlerüberwachung, Steuerungs- und Korrekturmöglichkeiten sowie einer engen Verknüpfung zur Informationskomponente (das heißt dem Seminarraum) zum Tragen. Um die in den Aktenordnern im Seminarraum abgelegten Informationen zu Laborgeräten und Zubehör sowie die interaktiven Bedienungsanleitungen zu erreichen, genügt ein Klick mit der rechten Maustaste auf einen Laborgegenstand. Damit der Lerner das angestrebte Versuchsergebnis erreichen kann, können bei Bedarf weitere Ratschläge und Hinweise vom System eingeholt werden. So können schwierige Arbeitsschritte zum Beispiel als Animation vorgeführt werden. Außerdem können bereits bekannte Arbeitsschritte abgekürzt werden. Ist der Nutzer selbst aktiv, so informiert die Fehlerüberwachung über den Stand des Versuchsablaufs. Wird ein Fehler gemacht, so kann dieser zurückgenommen und die entsprechenden Arbeitsschritte wiederholt werden. Es besteht außerdem die Möglichkeit einen Versuch im Prüfungsmodus durchzuführen. In diesem Fall können bestimmte Arbeitsschritte dann nicht mehr als Animation vorgeführt oder vom Lerner abgekürzt werden. Wird ein Versuch im Prüfungsmodus erfolgreich beendet, so sind Universität und Matrikelnummer einzugeben, die dann an den Lehrenden übermittelt werden.
Mit dem Projekt *ViPGen* werden die gesamten Inhalte eines realen Hochschulpraktikums der Mikrobiologie multimedial aufbereitet. Dieses beinhaltet einfache Arbeitstechniken wie zum Beispiel Zerschneiden (Restriktion) und Zusammenfügen (Ligation) von DNA und deren Anwendung in komplexen Versuchen wie etwa Klonierungsmethoden auf Bakterien und Hefen. Des Weiteren wird *ViPGen* an verschiedenen Universitäten und Instituten evaluiert und auf die jeweiligen Anforderungen insbesondere bezüglich der Unterschiede in den Versuchsabläufen zugeschnitten.

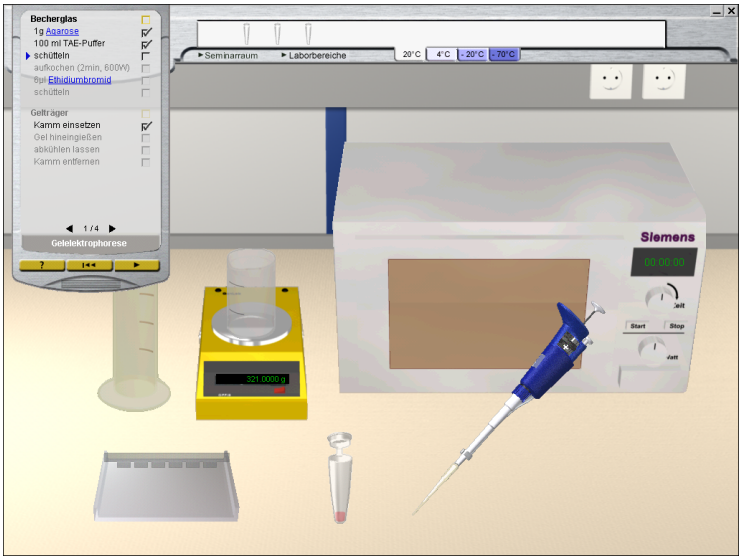

Abbildung 2: Eine Arbeitsfläche im virtuellen Gentechnik-Labor

4 Entstehender Mehrwert

Klassische rechnergestützte Lehr- und Lernsysteme ermöglichen im Wesentlichen das Erlernen von Faktenwissen. Dieses lässt sich jedoch nur schwer in praktisches Handeln umsetzen. Gerade aber Handlungswissen wird zur Durchführung von naturwissenschaftlich-technischen Versuchen benötigt. Mit den im Oldenburger Informatikinstitut OFFIS entwickelten virtuellen Laboren werden daher insbesondere Handlungsabläufe trainiert. Didaktisch unterstützt wird der Erwerb von Handlungswissen durch das Anleitungsfenster. In diesem werden die einzelnen Arbeitsschritte und deren Abarbeitungsreihenfolge dargestellt. Dabei sind neben dem im Versuchsprotokoll festgelegten üblichen Versuchsablauf auch bestimmte Alternativen in der Versuchsdurchführung erlaubt und sogar erwünscht. Dies wird unterstützt durch die Möglichkeit, die verschiedenen Laborgeräte, Behälter und Substanzen im Sinne des Explorationen-Konzepts in nahezu beliebiger Reihenfolge bedienen und verwenden zu können.
Durch den Einsatz von virtuellen Laboren kann ein deutlicher Mehrwert für den naturwissenschaftlichen Unterricht erreicht werden, weil sich damit die Lücke zwischen der Beobachtung von Versuchsabläufen und der aktiven Durchführung von Versuchen schließen lässt. Virtuelle Labore bieten dem Schüler eine größere Vielfalt an durchführbaren Versuchen, als es im realen Unterricht möglich ist. Denn es können im virtuellen Labor auch die Versuche von den Schülern selbst durchgeführt werden, die im Unterricht aus Zeit-, Kosten- oder Gefahrengründen nicht möglich sind. Des Weiteren können sich die Schüler mit Hilfe von virtuellen Laboren auf spielerische Weise auf den Unterricht vorbereiten. Dadurch wird dem oft mangelndem Interesse an naturwissenschaftlichen Fächern entgegengewirkt und die Schüler stärker motiviert, sich aktiv am Unterricht zu beteiligen. Virtuelle Labore entlasten den Lehrer insofern, als dass sich der Aufwand zur Betreuung von Schülerversuchen verringert. Außerdem erlaubt das virtuelle Labor den Schülern, Erfahrungen im Umgang mit den Geräten und Reagenzien zu gewinnen und den Ablauf der Versuche zu erlernen, ohne materielle Ressourcen zu verbrauchen. Die Vorbereitung auf Schülerversuchen kann damit effizienter gestaltet und frustrierenden Fehlversuchen vorgebeugt werden.

5 Methoden und Werkzeuge für virtuelle Labore

Die Entwicklung eines virtuellen Labors wie *ViPGen* ist ausgesprochen aufwendig und teuer. So müssen bisher sämtliche Laborgeräte, Behälter und Substanzen sowie der Aufbau und Ablauf der einzelnen Versuche von den Informatikern explizit implementiert werden. Jeder Änderungswunsch an den Versuchskomponenten sowie an Aufbau und Ablauf der Versuche seitens der Lehrenden muss umständlich über den Umweg des Informatikers umgesetzt werden. Es fehlen also vor allem spezielle Entwicklungswerkzeuge, die es den Lehrenden erlauben, eigene Versuche zu erstellen oder bestehende anzupassen und zu erweitern. In dem Projekt *VirtLab*[3] werden daher seid Ende 2000 allgemeine software-technische Methoden und Werkzeuge zur effizienten und damit kostengünstigeren Entwicklung von virtuellen Laboren erforscht (siehe VirtLab, 2001). Ziel ist es, die Herstellung von virtuellen Laboren auch für sehr kleine Zielgruppen wirtschaftlich zu machen. Der Lösungsansatz von *VirtLab* besteht strukturell aus den in Abbildung 3 dargestellten Bestandteilen:

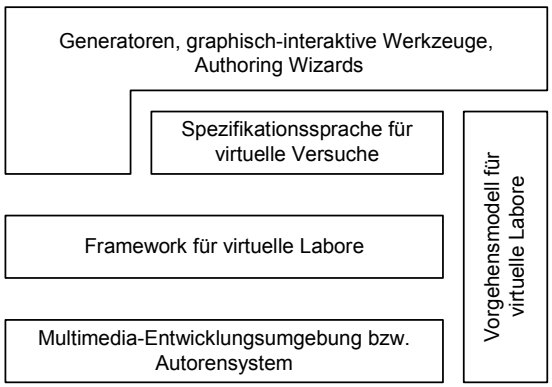

Abbildung 3: Das Schichtenmodell von *VirtLab*

Auf der untersten Schicht, der Entwicklungsumgebung für das virtuelle Labor, kommt das Autorensystem *Macromedia Director* zum Einsatz. Dieses wird von den Medienspezialisten und Informatikern verwendet. Das darüber liegende Framework stellt dem Informatiker spezielle Funktionen zur Programmierung des virtuellen Labors zur Verfügung. Auf der Ebene der Spezifikationssprache wird von der eigentlichen Implementierung der Versuche des virtuellen Labors abstrahiert. Das Vorgehensmodell für virtuelle Labore beschreibt das Zusammenspiel der Entwickler sowie die zu erledigenden Aktivitäten. In der obersten Schicht kommen neben Standwerkzeugen für die Multimedia-Entwicklung wie zum Beispiel *Macromedia Dreamweaver* auch spezielle Entwicklungswerkzeuge für virtuelle Labore zum Einsatz. Diese werden typischerweise von den Lehrenden selbst eingesetzt.

5.1 Framework

Um das Ziel einer kostengünstigen Produktion virtueller Labore zu erreichen, wurde zunächst in der Programmiersprache *Lingo* des Autorensystems *Macromedia Director* ein Framework für virtuelle Labore entwickelt (siehe Abbildung 4). Dieses stellt eine abstrakte Sicht auf die technische Realisierung des Software-Systems dar. Das Framework für virtuelle Labore ist

[3] Das Projekt *VirtLab* wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG, siehe http://www.dfg.de/) im Schwerpunktprogramm V3D2 (*Verteilte Verarbeitung und Vermittlung digitaler Dokumente*, siehe http://www.cg.cs.tu-bs.de/v3d2/) gefördert.

dabei nicht auf eine Domäne beschränkt, sondern für alle Arten von naturwissenschaftlich-technischen Laboren anwendbar. Aus diesem allgemeinen Framework können nun beliebige virtuelle Labore erstellt werden, wie zum Beispiel neben der Biologie auch für die Fächer Physik und Chemie.

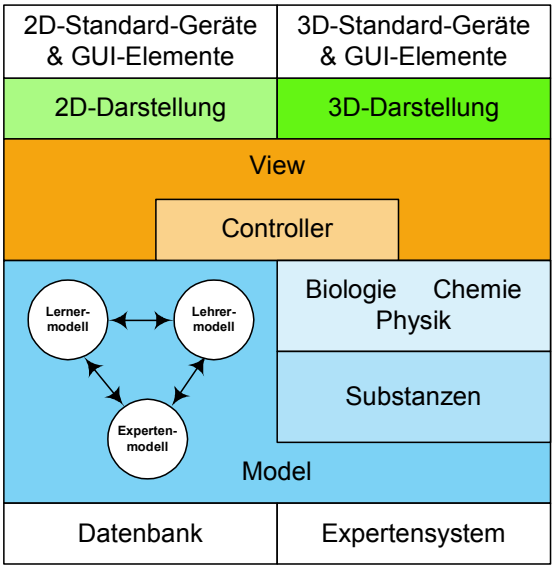

Abbildung 4: Das Framework für virtuelle Labore

5.2 Spezifikationssprache

Der Zugriff auf das Framework ist derzeit nur mit Hilfe von speziellen Frameworkbefehlen möglich. Das heißt es werden spezielle Programmierkenntnisse benötigt, um neue Versuche für das virtuelle Labor zu erstellen oder bestehende Versuche anzupassen. Um sich von der konkreten Implementierung des Frameworks zu lösen wird daher derzeit an einer auf der *Extensible Markup Language*[4] (XML) basierenden Spezifikationssprache für virtuelle Labore gearbeitet, die sogenannte *Experiment Specification Language* (ESL). Mit der ESL ist es möglich, den Aufbau als auch den Ablauf von virtuellen Versuchen formal festzulegen, ohne die technischen Details des darunter liegenden Frameworks zu kennen. Dabei wird mit dem Aufbau beschrieben, auf welchen Arbeitsflächen des virtuellen Labors sich welche Laborgeräte, Behälter und Substanzen befinden. Der Ablauf gibt an, in welcher Reihenfolge die einzelnen Arbeitsschritte des Versuchs durchzuführen sind.

5.3 Vorgehensmodell und Entwicklungsmethodik

Ein Hauptproblem bei der Entwicklung virtueller Labore ist die Heterogenität des Entwicklerteams. Dieses besteht aus *Fachexperten* der zu modellierenden Domäne, *(Fach-)Didaktikern* (wie zum Beispiel Lehrer), *Medienspezialisten* und *Informatikern*.[5] Die Fachexperten bringen ihr Wissen über die zu modellierende Domäne ein. Dieses beinhaltet die theoretischen Grundlagen, die umfangreichen Kenntnisse über die Laborausstattung und -benutzung sowie die teilweise sehr komplizierten Versuchsabläufe. Für die Aufbereitung und Konzeption der fach-

[4] Siehe http://www.w3.org/XML/
[5] Vergleiche auch die Aufteilung des Entwicklerteams nach (Kerres, 1998) und (Issing, 1997).

lichen Inhalte sind die Fachdidaktiker verantwortlich. Dazu gehört eine auf die Zielgruppe zugeschnittene Darstellung der Lerninhalte sowie die Festlegung wann welche Versuche und Fertigkeiten ausgewählt werden können und welche Freiheiten der Lerner bei der virtuellen Versuchsdurchführung hat. Des Weiteren legt der Fachdidaktiker fest, wann und in welchem Umfang das virtuelle Labor dem Schüler eine Hilfestellung geben soll. Außerdem ist zu entscheiden, ob Fehler gemacht werden dürfen und wie das virtuelle Labor darauf reagieren soll. Die Medienspezialisten sind für eine ansprechende multimediale Gestaltung des virtuellen Labors verantwortlich. Insbesondere sind von den 3D-Modellierungsspezialisten realitätsgetreue Abbilder der Laborgeräte und Behälter zu erstellen. Animationsspezialisten visualisieren naturwissenschaftliche Prinzipien und Vorgänge und schlagen damit die Brücke zwischen Theorie und Praxis. Die Informatiker sind für die Analyse, den technischen Entwurf und die Implementierung des virtuellen Labors verantwortlich. Zudem wird von den Informatikern die Projektorganisation übernommen.
Im Rahmen des *GenLab*-Projektes wurde die Erfahrung gemacht, dass Monate vergehen, ehe dieses interdisziplinäre Entwicklerteam eine gemeinsame Vorstellung vom Entwicklungsprozess und dem geplanten Produkt hat (Schlattmann und Meyer, 2001). So fehlen Modelle, die definieren, wann welche Entwickler welche Aufgaben zu erledigen haben, und spezielle einheitliche Notationen, die die Ergebnisse der Aktivitäten in einer für alle Beteiligten verständlichen Form festhalten. Daher wurde in *VirtLab* ein Vorgehensmodell mit entsprechender Entwicklungsmethodik für den Anwendungsfall virtuelle Labore erstellt (siehe Scherp, 2001). Eine schematische Übersicht des Vorgehensmodells zeigt die Abbildung 5.

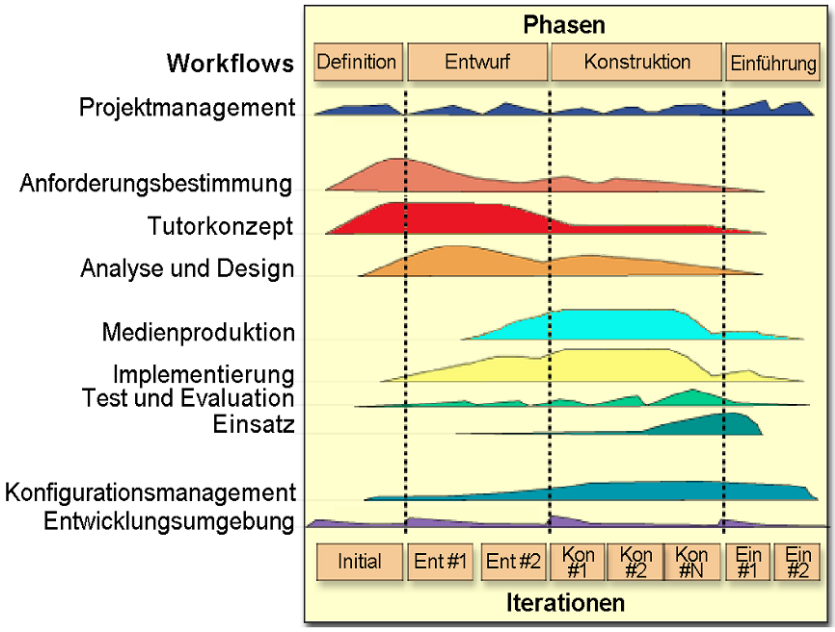

Abbildung 5: Vorgehensmodell für virtuelle Labore

Das Vorgehensmodell basiert auf dem *Rational Unified Process* (siehe Kruchten, 2000) und erlaubt die Entwicklung von virtuellen Laboren mit Hilfe der *Unified Modeling Language*[6] (UML). Während das Vorgehensmodell beschreibt, wann bei der Entwicklung virtueller Labore welche Entwickler welche Aktivitäten durchzuführen haben, legt die Entwicklungsmethodik fest, wie diese Aktivitäten durchzuführen sind.

[6] Siehe http://www.omg.org/uml/

5.4 Entwicklungswerkzeuge

Um die Entwicklungshilfen der unteren Schichten auch für Nicht-Programmierer verfügbar zu machen, stellt die letzte Schicht graphisch-interaktive Entwicklungswerkzeuge bereit. Beispiel eines Entwicklungswerkzeuges für den virtuellen Laborraum ist das Werkzeug zur Definition von Aufbau und Ablauf virtueller Versuche unter Einsatz der in Abschnitt 5.2 genannten ESL. Dieses Werkzeug ermöglicht es den Lehrenden (das heißt Lehrer in der Rolle des Fachexperten beziehungsweise Fachdidaktikers), selbst neue virtuelle Versuche zu erstellen oder bestehende anzupassen (siehe oben).

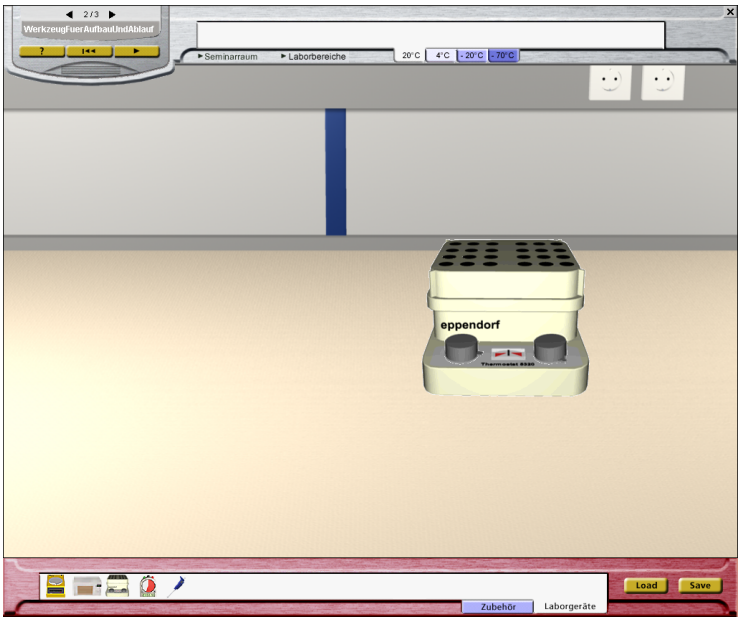

Abbildung 6: Werkzeug zum Festlegen des Aufbaus eines Versuchs

Mit dem in Abbildung 6 dargestellten graphisch-interaktiven Werkzeug kann der Aufbau virtueller Versuche festgelegt werden. Dazu werden die verschiedenen Arbeitsflächen des virtuellen Labors mit beliebigen Laborgeräten, Behältern und Substanzen bestückt. Ist der Aufbau des virtuellen Versuchs abgeschlossen, so kann dieser in Form eines XML-Dokuments abgespeichert werden.

Ein Beispiel eines Werkzeuges zur Erstellung von Inhalten des Seminarraums ist die in Abbildung 7 dargestellte *HTML-Toolbox*. Mit diesem Werkzeug können Texte im HTML-Format, die von den Lehrenden mit Hilfe von Standardeditoren wie zum Beispiel *Dreamweaver* erstellt wurden, automatisiert in die Aktenordner der Bibliothek des virtuellen Labors integriert werden. Dabei werden die HTML-Texte mit Seitenumbrüchen versehen, die Abbildungen in den Fließtext integriert, eine Silbentrennung vorgenommen und Hyperlinks zwischen den Dokumenten erzeugt. Neben einer Version der HTML-Texte für die Aktenordner lässt sich mit der *HTML-Toolbox* außerdem noch eine Version für den Ausdruck auf Papier erstellen. Werden von den Lehrenden Änderungen an den eigentlichen HTML-Texten vorgenommen, so muss für eine Aktualisierung der Aktenordner und Druckblätter lediglich die automatisierte Textintegration mittels der HTML-Toolbox erneut durchgeführt werden.

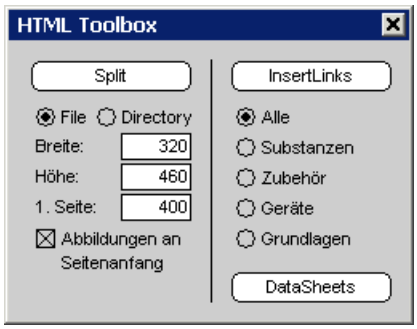

Abbildung 7: Das Werkzeug *HTML-Toolbox* zur Erstellung der Aktenordner

6 Zusammenfassung/Ausblick

Virtuelle Labore stellen eine sinnvolle Ergänzung der praktischen Ausbildung in den Naturwissenschaften dar. Der Mehrwert, der sich durch den Einsatz von virtuellen Laboren für den naturwissenschaftlichen (Schul-)Unterricht ergibt, wurde in Abschnitt 4 ausführlich dargelegt. Die wesentlichen Vorteile sind die Möglichkeit zur aktiven Durchführung von Versuchen anstelle des passiven Beobachtens, deren gefahrlose Durchführung und die damit verbundene größere Versuchsvielfalt für die Schüler. Gezeigt wurde dieses am Beispiel des virtuellen Gentechnik-Labors *ViPGen*.
Die Erstellung virtueller naturwissenschaftlicher Labore ist allerdings ausgesprochen aufwendig und schwierig. Ziel des hier vorgestellten Lösungsansatzes ist es deshalb, den Entwicklungsprozess beherrschbar zu machen. Bezogen auf das in Abschnitt 5 vorgestellte Schichtenmodell wurde im Projekt *VirtLab* bereits die Entwicklung des Frameworks sowie das Vorgehensmodell mit entsprechender Entwicklungsmethodik für virtuelle Labore erfolgreich abgeschlossen. Diese Arbeiten bilden die Grundlage für die Erstellung der Spezifikationssprache sowie der graphisch-interaktiven Werkzeuge, mit denen das virtuelle Labor von den Lehrenden selber konfiguriert und erweitert werden kann. Mittels dieser Werkzeuge werden die Lehrenden direkt in den Entwicklungsprozess virtueller Labore eingebunden, wodurch es zu einem hohen Synergieeffekt zwischen den eigentlichen Entwicklern und den Anwendern des virtuellen Labors kommt.

Literatur

[GenLab, 2001] GenLab - Internetseiten: *GenLab - Das virtuelle gentechnische Praktikum*. 2001. – URL: `http://www.offis.de/genlab/`

[Issing, 1997] Issing, Ludwig J.: Instruktionsdesign für Multimedia. In: Issing, Ludwig J. (Hrsg.) ; Klimsa, Paul (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*. 2., überarbeitete Auflage. Weinheim : Psychologie Verlags Union, Januar 1997, S. 241-251

[Kerres, 1998] Kerres, Michael: *Multimediale und telemediale Lernumgebungen : Konzeption und Entwicklung*. Wien, München : R. Oldenbourg Verlag, 1998

[Kruchten, 2000] Kruchten, Philippe: The Rational Unified Process : an introduction. 2nd printing. Addison Wesley, 2000 (Addison-Wesley Object Technology Series)

[Scherp, 2001] Scherp, Ansgar: *Vorgehensmodell und Entwicklungsmethodik für virtuelle Labore.* Oldenburg, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Fachbereich Informatik, August 2001. Diplomarbeit.

[Schlattmann u.a., 2001] Schlattmann, Marco ; Hasler, Anja und Kuczewski, Ralf: *Werkzeuge und Methoden zur Entwicklung virtueller Labore.* In: Tagungsband zur GMW-Fachtagung Virtueller Campus in Hildesheim, 2001.

[Schlattmann und Meyer, 2001] Schlattmann, Marco und Meyer, Jochen: *VirtLab – Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung virtueller multimedialer naturwissenschaftlicher Labore und Praktika.* In: ZfBB-Sonderband des 91. Deutschen Bibliothekartag in Bielefeld, 2001.

[ViPGen, 2001] ViPGen - Internetseiten: *Virtuelles Praktikum der Gentechnik*. 2001. – URL: `http://www.offis.de/vipgen/`

[VirtLab, 2001] VirtLab - Internetseiten: *VirtLab - Methoden und Werkzeuge für virtuelle Labore*. 2001. – URL: `http://www.offis.de/virtlab/`