

## Lernen mit Interaktiven Bildschirmexperimenten in virtuellen Räumen

Jürgen Kirstein, Alexander Fröhlich, Sebastian Hoedt, Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik,  
Arnimallee 14, 14195 Berlin

[kirstein@physik.fu-berlin.de](mailto:kirstein@physik.fu-berlin.de), [sehoedt@zedat.fu-berlin.de](mailto:sehoedt@zedat.fu-berlin.de), [nordmeier@physik.fu-berlin.de](mailto:nordmeier@physik.fu-berlin.de)

### Kurzfassung

Durch den Einsatz Interaktiver Bildschirmexperimente (IBE) verfolgen wir das Ziel, reale Experimente sinnvoll zu ergänzen. Eine Möglichkeit dazu besteht in der Dokumentation von Experimenten, die aus praktischen Gründen nicht zur Verfügung stehen. Anhand des Beispiels des "Virtuellen Forschungslabor Femtochemie" wird gezeigt, wie sich die komplexe Realität eines Forschungslabors didaktisch aufbereiten und mit Realexperimenten verknüpfen lässt.

### 1. Ausgangssituation und Motivation

Moderne Forschungsthemen, wie zum Beispiel die Erzeugung von Femtosekunden-Laserpulsen, sind bereits zum Gegenstand in moderneren Physikbüchern für den Unterricht geworden [1]. Die Darstellung beschränkt sich hier jedoch auf informierende Texte, die nur ansatzweise eine Verbindung zu den sie umgebenden Unterrichtsinhalten erkennen lassen und somit eher ergänzenden Charakter haben, statt den Kontext didaktisch konsequent einzubeziehen. Zudem stellt sich die Frage nach der methodischen Vielfalt, wenn das verfügbare Material im Buch sich auf illustrierte Lesetexte beschränkt. Für den eigentlichen Erwerb von inhaltlichen Kompetenzen im Kanon der schulüblichen Themen dominiert noch immer der kontextfreie Lehrtext.

Dabei zeigt das Beispiel des Femtosekundenlasers, wie die "reale" Physik generell, eine hohe didaktische Relevanz für den Physikunterricht der Schule:

- Forschung mit dem Femtosekundenlaser wird nur möglich im Zusammenwirken verschiedenster, teilweise elementarer physikalischer Prinzipien, die auch zu den klassischen Themen des Physikunterrichts der Schule gehören.
- Authentische Einblicke in die Realität der physikalischen Forschung bieten vielfältige, anwendungsbezogene Lerngelegenheiten, auch und besonders für den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung.
- Der Kontext macht die Bedeutung der Schulphysik für die Lernenden erfahrbar. Er ist zur Gestaltung reichhaltiger Lernumgebungen im Sinne eines Makrokontextes [2] geeignet.
- Die Forschung mit dem Femtosekundenlaser untersucht sowohl einfache Modellsysteme als auch komplexe Vorgänge in biologisch relevanten Molekülen und stellt damit eine große Bandbreite von Interessen der Lernenden ab.

Texte und Bilder kontextbezogener Schulbuchdarstellungen bieten aber für reichhaltig gestaltete Lernaktivitäten keine ausreichenden Gestaltungsmittel. Auch die Exkursion in ein Forschungslabor, wenn es denn in Schulnähe verfügbar ist, gibt als singuläres Ereignis kaum nachhaltige Anlässe für Lerngelegenheiten. Hier kann der Einsatz von Multimedia einen deutlichen Mehrwert für die Konstruktion lernförderlicher Umgebungen für den Physikunterricht bieten [3], da das Forschungslabor in der konkreten unterrichtlichen Lernsituation in der Regel nicht verfügbar ist.

Ausgangspunkt für das nachfolgend vorgestellte Projekt des "Virtuellen Forschungslabor Femtochemie" (VLFCH) war ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierter Forschungsverbund, der Sonderforschungsbereich 450 (Sfb 450) [4]. Erstmals wurde hier versucht, traditionelle Formen der Öffentlichkeitsarbeit eines wissenschaftlichen Forschungsverbunds mit der Entwicklung flexibel nutzbarer didaktischer (Online-)Angebote für den Unterricht der Schule zu verbinden. Die Außendarstellung zielte nicht auf Medienpräsenz und Öffentlichkeitsarbeit im journalistischen Sinne, sondern eher auf Lernende und Lehrende und mit ihnen die interessierte Öffentlichkeit. Mit dem VLFCH sollen Lerngelegenheiten geboten werden, die Faszination und Bedeutung der Femtochemie situativ in authentischen Kontexten selbstständig erfahrbar machen.

Die vielfältigen Elemente dafür reichen von Experimente für die Schule, die Forschungsthemen und durch die kostengünstig realisierbare Modelle und Experimente didaktisch erschließen, bis zur Visualisierung der Dynamik molekularer Systeme in virtuellen 3D-Welten für ein propädeutisches Verständnis der theoretischen Modelle. Das VLFCH schließlich soll – über die reale Begegnung mit der Wissenschaft in Experiment und Theorie hinaus – das komplexe Themenfeld der Femtochemie mehrperspektivisch für die Gestaltung von reichhaltigen Lernum-

gebungen (mit Aktivitäten auch außerhalb des Bildschirms) für den Unterricht der Schule wie für die interessierte Öffentlichkeit didaktisch erschließen.

Das VLFCH bietet dazu Einblicke in ein reales Forschungsexperiment: WissenschaftlerInnen stellen das Experiment vor, erläutern Methoden und Geräte und präsentieren Problemstellungen aus dem Labor, die Anker für vielfältige Lernaktivitäten darstellen. Interaktive Bildschirmexperimente bieten als ein Element flexibel konstruierbarer Lernumgebungen aktive Zugänge zu Experimenten in der Laborumgebung selbst und bieten im Rahmen von Modellversuchen auch Gelegenheiten zum selbstständigen Erschließen der Funktion verschiedener Experimentiergeräte im Labor. In Ausschnitten aus Vorlesungen für SchülerInnen werden die Grundlagen der Femtochemie erläutert, die sich in vielfältigen Lernaktivitäten selbstständig vertiefen lassen.

## 2. Realisierung und Inhalte

Auf Grund von Erfahrungen aus Vorarbeiten, wie der multimedialen Dokumentation des Sonnenobservatoriums Einsteinturm [5] sollte mit der Entwicklung des "Virtuellen Forschungslabors Femtochemie" (VLFCH) keine Einzellösung realisiert werden, sondern das Ziel war die Entwicklung einer universell nutzbaren Autoren-umgebung für virtuelle Labore, die eine programmierferne Konstruktion derartiger Multimediasysteme für didaktische Anwendungen erlaubt.

An der Entwicklung der Lernmaterialien waren und sind - wie bei den Vorgängerprojekten - die Nutzer aus den Schulen eingebunden. So wurden einzelne Medienelemente, wie zum Beispiel IBE, von Schülerinnen und Schülern im Rahmen verschiedener Verbundaktivitäten von Universität und Schule selbstständig entwickelt und produziert. Die Schülerinnen und Schüler waren dabei über längere Zeiträume regelmäßig eingebunden in den Entwicklungsprozess, an dem Fachdidaktiker und zahlreiche Fachwissenschaftler des Sfb 450 beteiligt waren. Das VLFCH versteht sich grundsätzlich als ein offenes Online-Lernangebot, dessen Kern aus dem Sfb 450 heraus entstanden ist und sich nachhaltig im Zusammenwirken von Wissenschaft und den Nutzern aus der Schule weiterentwickeln soll.

Eingesetzt werden im VLFCH verschiedenste Medienformate mit spezifischen didaktischen Funktionen:

- In kurzen Videosequenzen stellen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ausgewählte Forschungsprojekte aus dem Sfb 450 vor, erläutern Methoden, stellen praktische Aspekte und Probleme der Arbeit im Labor dar und in diesem Kontext Aufgaben, die zu selbstständigen Problemlösungen (in Kombination von multimedialen und realen Aktivitäten) anregen und geben in Vorlesungen auf Schulniveau inhaltliche Überichten zum Themenfeld der Femtochemie.

- Als weiteres Medienformat kommen Animationen und Fotoserien zu Einsatz, die als lineare Medien in ihrem Ablauf schrittweise steuerbar sind oder auch als nichtlineare (interaktive) Animation beispielsweise die Veränderung von Parameterwerten bieten, von denen dann das Verhalten der Animation abhängt. Fotoserien mit Audiokommentar ersetzen teilweise in ihrer Funktion die oben genannten Videos, während die (interaktiven) Animationen etwa die Funktion von Laborgeräten veranschaulichen oder als Modell Prozesse auf der atomaren Skala, zum Beispiel die Funktion eines Lasers im Energieveauschema.
- Interaktive Bildschirmexperimente repräsentieren im VLFCH Modell- und Laborexperimente, die in ihrer Hauptfunktion Lernsituationen ermöglichen, die im Unterricht nicht realisierbar sind. Das sind Experimente, die mit wissenschaftlichen Geräten im Labor selbst stattfinden, aber auch solche, die spezielle Materialien erfordern, im Prinzip aber mit Schulmitteln nachvollziehbar sind.
- Interaktive Grafiken und Texte werden zur räumlichen und inhaltlichen Orientierung verwendet. So steht jederzeit ein Navigationsbildschirm zur Verfügung, der die momentane Position im VLFCH anzeigt und der auch schnelle Sprünge im virtuellen Raum ermöglicht. In diese Medienkategorie fallen auch die sogenannten Advance Organizers, die einen ersten Eindruck der Inhalte und Funktionen der verfügbaren Medienelemente geben.

Das VLFCH besteht aus vier Räumen, von denen drei das eigentliche Experiment zur Steuerung und Analyse chemischer Reaktionen beherbergen: Die Kontrolle von Molekülreaktionen durch fs-Laserpulse erfolgt in einer iterativen Rückkopplungsschleife, deren Komponenten die Molekülstrahlquelle, ein Former für Laserpulse, das Massenspektrometer zur chemischen Analyse der Reaktionsprodukte und ein Computer für die schrittweise Berechnung der optimale Pulsform sind. Der vierte Raum ist der Seminarraum, in dem es eine Reihe von informierenden Angeboten zum Sfb 450 und zu den Forschungsaktivitäten des Fachbereichs Physik der FU Berlin gibt (Öffentlichkeitsarbeit!). Alle Räume sind über den gemeinsamen Flurbereich erreichbar, teilweise existieren direkte Verbindungen zwischen den Laborräumen.

Die für Lernende zentrale Funktion des Seminarraums ist das Angebot eines Rundgangs, bei dem in einer typischen Exkursionsituation eine Schülergruppe von einem Wissenschaftler durch die Labore und damit durch die komplexe experimentelle Anordnung geführt wird. Damit soll zunächst ein grober Überblick über die Zielsetzung des Experiments, der experimentellen Methodik und zu den Funktionen der drei Laborräume gegeben werden, der dann

durch die individuelle Exploration der Räume vertieft werden kann.

Nach dem Betreten des "Molekularstrahl-labors" - das gilt für die anderen Labore entsprechend - erläutert ein Experte bei Bedarf die Rolle des Labors im Gesamtzusammenhang. Hier steht im Zentrum die sogenannte "Molekularstrahlmaschine" - eine Vakuumanlage, deren Bestandteile die Ofenkammer zur Strahlerzeugung über eine elektrische Strahlungsheizung, die Nachweiskammer und das Vakuumsystem sind. In der Nachweiskammer findet die Kontrolle der chemischen Molekülreaktion statt: fs-Laserpulse treffen auf die Moleküle, diese werden angeregt und dann ionisiert. Die elektrisch geladenen Reaktionsprodukte lassen sich durch das Massenspektrometer nachweisen.

Im Laserlabor werden die fs-Laserpulse erzeugt und entsprechend den Optimierungsschritten in der Rückkopplungsschleife geformt. Ein Messrechner steuert dabei den Flüssigkristall-Modulator zum Formen der Laserpulse. Sowohl die Phase als auch die Amplitude und die Polarisierung der elektrischen Feldkomponente in den verschiedenen Frequenzen des Laserpulses lassen sich hiermit zum Vor- oder Nachteil einer gewünschten chemischen Reaktion verändern. Die Formgebung der Laserpulse beruht dabei auf evolutionären Strategien, in denen Prinzipien der Biologie (Anpassung, Auswahl & Variation) angewendet werden, um eine Population von künstlichen Individuen (hier die fs-Laserpulse) zu analysieren und dadurch schrittweise ein Optimum zu finden. So wird iterativ eine Pulsform gefunden, die zu der gewünschten Reaktion der Moleküle optimal führt. Die wissenschaftliche Aufgabe besteht darin, diese Pulsform zu analysieren um den Verlauf der beobachteten Reaktion zu entschlüsseln.

Wegen ihrer Einfachheit gerne untersuchte Moleküle sind kleine Alkalimetallcluster. Im Präparationslabor werden die Alkalimetallproben für die Untersuchung vorbereitet. Da sie sehr stark mit dem Wasserdampf der Luft reagieren, wird die Ofenkartusche, in der das Untersuchungsmaterial in der Molekularstrahlapparatur verdampft wird, in der "Glove-Box" unter einer Stickstoff-Atmosphäre befüllt. Das Düsenloch in der Ofenkartusche wird im Präparationslabor mit einer Feinbohrmaschine mit Turbinenantrieb computergesteuert hergestellt.

### 3. Das Virtuelle Forschungslabor im Unterricht

Das VLFCH ist kein hypermediales Informationssystem oder lehrgangsartiges Angebot, sondern bietet innerhalb der Labormetapher flexibel einsetzbare Medienbausteine, auf die Lernende wie Lehrende entsprechend ihrem individuellen Bedarf, etwa zur Gestaltung von reichhaltigen Lernumgebungen für den Unterricht, zurückgreifen können.

Einer dieser Medienbausteine sind IBE, die durch Klick auf den entsprechenden Bereich des "Fensters zur Welt" dargestellt werden. Anleitungen zur

Durchführung oder Beschreibungen der im IBE dargestellten Experimente sind zunächst im VLFCH nicht vorgesehen. Hierzu steht über das Tastenfeld "Mehr Informationen" ein paralleles Wiki-System zur Verfügung. Mit der Trennung zwischen den Räumen, Objekten und Medienelementen des VLFCH und den sie begleitenden Materialien im WIKI besteht die Möglichkeit, zum Beispiel ein IBE nicht nur zu beschreiben, sondern in verschiedenste Lehr-Lernkontexte einzubetten. So ist es möglich, einen Wiki-Artikel mit IBE oder weiteren Medienelementen zu verknüpfen, etwa im Rahmen einer vom Lehrenden kontextorientierten gestalteten Aufgabenstellung mit fachsystematischem Bezug. Technisch besteht die Möglichkeit der beliebigen Vernetzung zwischen den verschiedenen Orten und Objekten des Labors und mit den Texten und Medien (Bilder, Videos, interaktive Medien) als Bestandteile der Artikel des Wiki-Systems. Es ist somit nicht nur eine äußere Ergänzung des VLFCH, wie beispielsweise das (multimediale) Begleitmaterial des Schulrundfunks [6], es ist eher ein digitales Komplement, dessen Inhalte und Funktionen durch die Autoren, wesentlich aber auch durch die Nutzer des Virtuellen Labors selbst bestimmt werden.

Das VLFCH bietet Material für Lernaktivitäten, die auch, aber nicht nur am Bildschirm stattfinden können. Beispiele sind authentische Problemstellungen aus der Forschungspraxis. Ein Wissenschaftler präsentiert dazu das Problem in einem kurzen Videoclip, etwa im Rahmen eines Wiki-Artikels, der die Problemstellung durch ergänzende Texte und Bilder präzisiert und veranschaulicht. Aufgabenstellung für die Schülerinnen und Schüler ist dann die Suche nach eigenen Lösungsansätzen durch Experimentieren (real und virtuell), Kommunizieren und Bewerten und einem abschließenden Vergleich mit der realen Laborlösung. Über das VLFCH und das Wiki-System stehen dann Elemente für eine unterstützende Lernumgebung direkt bereit oder werden Hinweise auf externe Angebote gegeben. Dieses Konzept basiert auf dem Ansatz der vielzitierten "Anchored Instruction" [7], bei dem Videos mit narrativ dargebotenen authentischen Problemstellungen Anker für eine kontextorientierte Lernumgebung darstellen. Beispiele auf unterschiedlichen Komplexitätsstufen für das VLFCH sind: Führen der Laserstrahlung zwischen den Laborräumen (Reflexion am ebenen Spiegel, Periskop), Kühlen des Molekularstrahls vor der Wechselwirkung mit den Laserpulsen (adiabatsche Expansion), Erzeugen und Formen von Laserpulsen (Fouriersynthese), Bohren eines  $\mu\text{m}$ -Loches (Turbinenantrieb, mechanische und thermische), Nachweis der Reaktionsprodukte (Massenspektroskopie), Erzeugen eines Molekülstrahls (elektrisches Verdampfen), Verhaltensregeln beim Experimentieren mit Laserstrahlung (Reflexion und Absorption von Licht in verschiedenen Spektralbereichen), u.v.a.m.

Diese Aufzählung macht bereits deutlich, dass die möglichen Problemstellungen und Inhalte für den Unterricht über das eigentliche Themenfeld der Femtochemie hinausgehen. Im Kontext eines jeden komplexen Forschungsexperiments gibt es eine Fülle von experimentellen Details, die sich mit schulüblichen Themen direkt verbinden lassen. Dabei sind Teilaspekte des komplexen Themenfelds durchaus auch für den Unterricht der Sekundarstufe I geeignet, wie das Beispiel der Führung der Laserstrahlung durch ebene Spiegel zeigt. Hier bieten sich problemorientierte Aufgaben in elementarisierte Form auch für den Anfangsunterricht an, die sich im Rahmen der authentischen Laborumgebung gestalten lassen.

Worin liegt nun der Mehrwert des VLFCH für den Unterricht? Das modulare Konzept unterstützt den variantenreichen Einsatz von kontextorientierten Medienelementen in gängigen methodischen Großformen, Konzepten und Organisationsformen von Physikunterricht. Lernen findet in dafür geeigneten Umgebungen des Physikunterrichts statt und nicht ausschließlich innerhalb einer multimedialen Lernumgebung vor dem Bildschirm. Das VLFCH kann dazu beitragen, die Bedeutung elementarer physikalischer Themen im Kontext eines komplexen Forschungsexperiments anschaulich und selbsthandelnd erfahrbar zu machen.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Das VLFC stellt ein neues Lernangebot für den Physikunterricht der Schule und die interessierte Öffentlichkeit dar, das frei verfügbar sein wird. Die Nachhaltigkeit dieses Multimediasystems wird durch seine offene Architektur gewährleistet und durch die Wechselwirkung mit einem Wiki, das die Nutzer an seiner Weiterentwicklung beteiligen soll. Probieren sie es aus: Eine vorläufige Fassung ist online verfügbar [8]; Autoren erhalten auf Anfrage Zugangsdaten für die Nutzung des Wiki-Systems [9].

Das Teilprojekt Öffentlichkeitsarbeit des Sfb 450 hatte zunächst das Ziel, ein solches System zu entwickeln und einsatzfähig zu machen. In Nachfolgeprojekten wird der Schwerpunkt dann auf der Evaluation des VLFCH liegen und auf der Untersuchung der Wirksamkeit unterrichtlicher Anwendungsmodelle. Das VLFCH wurde als Modellsystem für weitere virtuelle Labore konzipiert. Wenn sich das Konzept als wirksam erweisen sollte, werden damit in nächster Zeit weitere reale Räume für das Lernen

von Physik erschlossen. Auch über die aktuelle Wissenschaft hinaus gibt es hierfür zahlreiche Beispiele, die zu lehrreichen Expeditionen in die Lebens- und Berufswelt einladen. Über diese multiplen Kontexte ließe sich kontextorientiertes Lernen dann auch in einen größeren Zusammenhang einbetten.

Die Anwendungen Virtueller Labore als Bestandteil authentischer und reichhaltiger Lernumgebungen für den Physikunterricht und auch für das außerschulische individuelle Lernen von Physik dürften künftig durch die Verfügbarkeit geeigneter Kommunikations- und Computertechnologie (schnelle und drahtlose Netze, mobile Endgeräte mit berührungsempfindlichen Bildschirmen) unterstützt werden. Voraussetzung dafür sind allerdings interessante und anregende Begegnungen mit der Physik des wirklichen Lebens, ihren Anwendungen und Machern, die den Lernenden die Bedeutung physikalischen Wissens unmittelbar deutlich werden lassen.

#### 5. Referenzen

- [1] Diehl, B. et al. (2008): Physik Oberstufe, Cornelsen, Berlin.
- [2] Kuhn, J., Müller, A., Müller, W., Vogt, P. (2010): Kontextorientierter Physikunterricht. In: PdN-PhiS 5/59 Jg. 2010, 13-24
- [3] Kirstein, J., Nordmeier, V.: (2009): E-Learning-Szenario zur Einbeziehung außerschulischer Lernorte. In: PdN-PhiS 7/58 Jg. 2009, 16-18.
- [4] <http://users.physik.fu-berlin.de/~abtpeter/sfb450/fopro.htm> (Stand: 23.5.2008)
- [5] Kirstein, J. (2005): Multimediale Bausteine für das Lernen von Physik in lebensweltbezogenen Kontexten. In: Nordmeier, V.; Oberländer (Hrsg.): Didaktik der Physik. Berlin: Lehmanns Media (2005).
- [6] <http://www.planet-schule.de> (Stand: 12.5.2010)
- [7] Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1990): Anchored Instructions and its Relationship to situated cognition. Educational Researcher, 19, pp. 2 - 10.
- [8] <http://didaktik.physik.fu-berlin.de/~juek/sfb450/labor/aktuell> (Stand: 23.6.2010)
- [9] <http://didaktik.physik.fu-berlin.de/sfb450wiki/index.php/Kategorie:Autoren> (Stand: 23.6.2010)