

Physik lernen mit Multimedia: Erprobungen von Selbstlerneinheiten für Studierende der Physik im Nebenfach

Zusammenfassung

Im Verbundvorhaben *physik multimedial* entwickelten mehrere Universitäten ein inhaltlich auf die Lehre und das Studium der Physik als Nebenfach zugeschnittenes Angebot von multimedialen Lehr-Lern-Modulen. Die Materialien wurden auf die gegenwärtigen Bedingungen der Präsenzlehre und die Voraussetzungen der Zielgruppe abgestimmt. U.a. wurden sogenannte Selbstlerneinheiten (themenspezifische hypermediale Lernumgebungen) entwickelt und erprobt. Das Feedback der Studierenden lieferte wesentliche Impulse für den Entwicklungsverlauf. Die Ergebnisse der Evaluation und die ersten Erfahrungen im Lehreinsatz zeichnen insgesamt ein positives Bild der geleisteten Entwicklungsarbeit. Der vorliegende Beitrag dokumentiert exemplarisch die wichtigsten Schritte und Ergebnisse der formativen Evaluation dieser Selbstlerneinheiten.

1 Einleitung

Das hochschuldidaktische Entwicklungsvorhaben *physik multimedial*¹ wurde vom BMBF im Rahmen des Programms "Neue Medien in der Bildung" im Bereich Hochschule gefördert. Unmittelbar am Projekt beteiligt waren acht Arbeitsgruppen an fünf Standorten des Verbunds Norddeutscher Universitäten (Bremen, Greifswald, Hamburg, Oldenburg und Rostock). Weitere Kooperationen bestanden mit den Hochschulstandorten Berlin (TU), Düsseldorf, Gelsenkirchen und Potsdam.

Bis zum Ende des Förderungszeitraums gelang es, ein strukturiertes Angebots von Multimedia-Modulen, die didaktisch und methodisch primär auf die Lehre und das Studium der Physik als Nebenfach abgestimmt sind, zu entwickeln und zusammen mit einem Contentmanagement-System als Lehr- und Lernplattform *physik multimedial* an einer Reihe von Hochschulstandorten zu implementieren. Die *physik multimedial* Plattform ist dabei auf den durch die Präsenzlehre geprägten Regelbetrieb der Hochschullehre ausgerichtet. In diesem Bereich liegt die mittelfristige Perspektive zur Steigerung der Qualität der Lehre durch Multimedia nicht in einem Ersatz herkömmlicher Veranstaltungen durch virtuelle Lehre, sondern in der konsequenten Nutzung des fachdidaktischen Potenzials von Multimedia für neue Verzahnungen von Präsenzlehre mit e-Learning ("Hybrid-Lehrveranstaltungen", "Blended Learning", s. Schecker, 2002). Der Implementation kommt hierbei eine ebenso große Bedeutung zu wie der Modulentwicklung (vgl. Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1999). Die in *physik multimedial* gewählte Implementationsstrategie setzte für den Einstieg bewusst keine strukturellen Einschnitte in die bestehenden Veranstaltungskonzepte voraus. Vielmehr wurde unter Einbeziehung der Lehrenden und Studierenden eine an den Bedürfnissen der NutzerInnen orientierte Lernplattform mit entsprechenden inhaltlichen Lehr-Lernangeboten zur Physik gestaltet (Petri & Schecker 2002, Petri & Schecker 2003).

2 Potenzial und Randbedingungen der Entwicklung

Die Nutzung von Neue Medien für das Lehren und Lernen von Physik ist natürlich nicht schon per se lernförderlich. Zu den grundsätzlich zu betrachtenden und zu beachtenden komplexen Aptitude-Treatment-Matter-Interaktionen und weiteren Faktoren liegen inzwischen eine Reihe von empirischen Befunden und Empfehlungen vor (s. z.B. Blömeke 2003, Fischer & Mandl 2002, Schnotz 2001, Urhahne et al. 2000). Auf der anderen Seite kann der Einsatz von Multimedia gerade im Nebenfach Physik sein Potenzial zur qualitativen Verbesserung der Lehre besonders zur Geltung bringen: Im Vergleich zum Hauptfach Physik ist davon auszugehen, dass die Studierenden, deren Hauptfächer ein Spektrum von Medizin und Psychologie über Biologie und Chemie bis zu Maschinenbau und Elektrotechnik abdecken, wesentlich größere Unterschiede hinsichtlich ihrer physikalischen Vorbildung mitbringen. Gleichzeitig ist die Nebenfachlehre an den einzelnen Hochschulen inhaltlich und organisatorisch sehr unterschiedlich gestaltet. Multimediale Materialien (Skriptbausteine, tutorielle Selbstlerneinheiten, virtuelle Labore etc.) sind aufgrund ihrer Modularität, ihrer Adaptierbarkeit für verschiedene Zugangsvoraussetzungen und Anwendungskontexte sowie ihrer hohen Interaktivität grundsätzlich besonders geeignet, auf unterschiedlichste Ausbildungsbedingungen einzugehen, eventuelle physikalische Eingangsdefizite zu kompensieren und gezielte fachliche Vertiefungsangebote anzubieten. Aus denselben Gründen sollten sie auch den unterschiedlichen Interessen und

¹ Förderkennzeichen: 08NM 102, URL der Lernplattform: <http://www.physik-multimedial.de>

Bedürfnissen von Männern und Frauen im Bezug auf Physiklernen (s. Häußler & Hoffmann 1998) Rechnung tragen können.

Hinsichtlich der Organisation der Nebenfachlehre gibt Tabelle 1 einen Überblick über die Vorlesungen, die für Studierende der Biologie (Diplom) im Wintersemester 02/03 an dem am Projekt beteiligten Universitäten angeboten wurden. In diesem Bereich war die Inhomogenität der Physik-Nebenfachausbildung an den erfassten Standorten besonders stark ausgeprägt.

Nr.	Universität	Titel/Zielgruppen der Vorlesung	WiSe + SoSe
1	Berlin (TU)	(keine Diplom-Biologie)	–
2	Bremen	Physik für Studierende der Biologie	2 + 2
3	Düsseldorf	Experimentalphysik I/II für Biologen, Chemiker, Geographen und Zahnmediziner	4 + 4
4	Greifswald	Physik für Biologie- und Humanbiologiestudenten, Geologiestudenten, Mathematik- und Informatikstudenten	2 + 2
5	Hamburg	Experimentalphysik I + II für Studierende der Biologie, Chemie, Geologie, Holzwirtschaft, Informatik, Lebensmittelchemie und der Mineralogie	4 + 4
6	Oldenburg	Physik für Studierende der Biologie, LA Chemie und Landschaftsökologie	2 + 0
7	Potsdam	Experimentalphysik für Biowissenschaften und Primarstufe	1 + 0
8	Rostock	Experimentalphysik für Biologen	3 + 0

Tab. 1: Physikvorlesungen für Studierende der Biologie an 8 an *physik multimedial* beteiligten Universitäten

Der Umfang der Physikvorlesungen variierte hier von 8 Stunden in Düsseldorf und Hamburg bis zu einer Stunde in Potsdam, wo die ursprüngliche zweite Vorlesungsstunde als Physics-Multimedia-Workshop im PC-Labor durchgeführt wurde. Überwiegend wurden Studierende aus mehreren Hauptfächern zusammengebracht, wobei die jeweilige Zuordnung der Studienfächer sehr unterschiedlich war. In Verbindung mit einer parallelen Befragung zu den Inhalten der verschiedenen Vorlesungen wurde darüber hinaus festgestellt (s. Petri & Schecker 2002):

- In den primär für Studierende der Biologie angebotenen Veranstaltungen ist eine Tendenz zur stärkeren Gewichtung von für die Biologie relevanten Themen erkennbar.
- In mehreren, primär für die Chemie konzipierten einführenden Vorlesungen sind Themenbereiche wie Wärmelehre und Atom- und Kernphysik ausgeklammert. Im Vergleich mit der Biologie steht im Schnitt mehr Zeit für weniger Stoff zur Verfügung.
- Auch im Bereich der Ingenieurwissenschaften unterscheiden sich die Vorlesungen inhaltlich wie organisatorisch erheblich. In mehreren Fällen existieren Themenbereiche, die wegen besonderer Relevanz für das Hauptfach offenbar in separaten Veranstaltungen behandelt werden. Das physikalisch-mathematische Niveau ist hier am anspruchsvollsten.
- Physik für Mediziner wird aufgrund bestehender Regelungen einheitlich mit insgesamt 4 SWS angeboten. Die Vorgaben sind jedoch inhaltlich nicht stark determinierend, so dass auch hier unterschiedliche inhaltliche Gewichtungen auftreten.

Befragungen der Studierenden zu ihren relevanten Eingangsvoraussetzungen ergaben ebenfalls ein sehr inhomogenes Bild. So hatten erwartungsgemäß die befragten Studierenden der Biologie signifikant weniger Physikunterricht in der Schule als etwa Studierende der E-Technik. Nur ca. 14 % der BiologInnen hatten Physik bis zum Abitur. In der Chemie war eine etwas umfangreichere physikalische Vorbildung vorhanden, sie blieb jedoch deutlich hinter den E-Technikern zurück, die zu 82% Physik bis zum Abitur belegt hatten (Abb. 1). Hinsichtlich der physikalischen Vorkenntnisse ergaben sich auch zwischen Männern und Frauen insgesamt noch signifikante Unterschiede zu Gunsten der Männer. Aufgrund des sehr geringen Frauenanteils in Studiengang Elektrotechnik sind diese Befunde natürlich nicht unabhängig voneinander.

Hinsichtlich der medienbezogenen Voraussetzungen lagen in Übereinstimmung mit früheren Befragungen (s. Kielholz 2001, Middendorff 2002) ebenfalls sowohl die technische Ausstattung und die Zugangsmöglichkeiten zu Computer und Internet betreffend, als auch bezogen auf Interessen, Nutzungsgewohnheiten und Kontrollüberzeugungen signifikante Gender-Differenzen vor. Ein Vergleich verschiedener Fachrichtungen ergab hier größere (jedoch aufgrund der zum Teil kleinen Stichproben nicht mehr statistisch signifikante) Unterschiede zwischen den Geschlechtern innerhalb eines Faches als zwischen verschiedenen Hauptfächern. So ergab etwa eine nach Hauptfächern differenzierte Darstellung zur Kontrollüberzeugung, dass sich die wesentlich höher eingeschätzte PC-

Kompetenz der Männer durch alle Studienfächer zog und außerdem von der Biologie über die Chemie bis zur E-Technik stetig zunahm (Abb. 2).

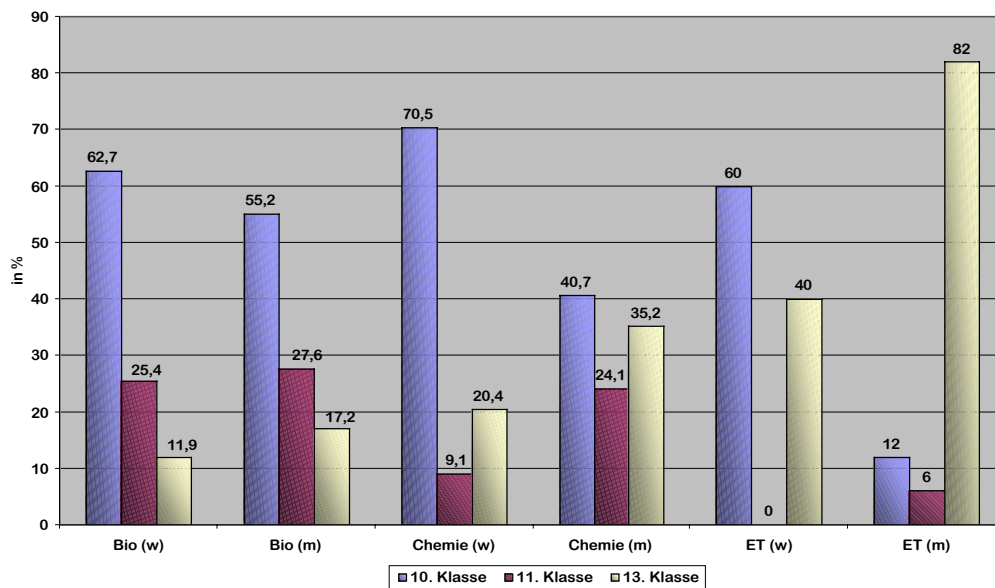


Abb. 1: "Ich hatte Physikunterricht bis"

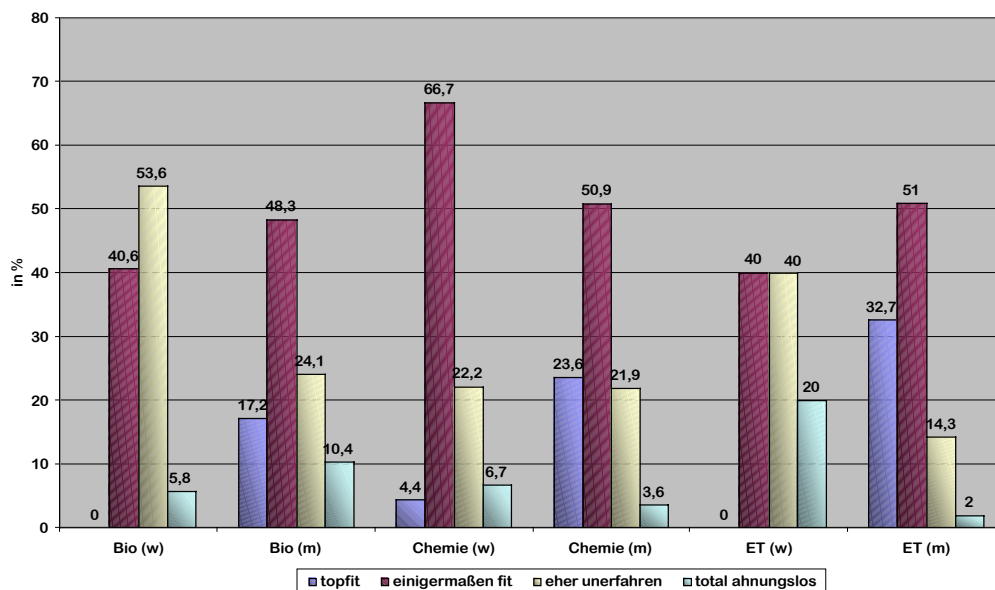


Abb. 8: "Ich halte mich im Umgang mit dem PC (Betriebssystem, gängige Programme, Internet) für ..."

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass die Gender-Problematik in *physik multimedial* dem Potenzial von und den Anforderungen an Multimedia zur Bereicherung und Verbesserung der Lehr-Lernkultur in Bildungsinstitutionen sozusagen "quadriert" gegenüber steht, nämlich sowohl bezogen auf das Fach (Physik) als auch auf das Medium (PC und Internet). Die Umsetzung des Gender Mainstreaming Ansatzes spielte bei der Entwicklung der Selbstlernerheiten folglich eine nicht unerhebliche Rolle. "Gender Mainstreaming" macht die Frage der Chancengleichheit für beide Geschlechter und die damit auf allen Entscheidungsebenen verbundene Überprüfung von sozial bedingten Geschlechterrollen und ihren Konsequenzen zur vorrangigen Aufgabe für alle Beteiligten (vgl. BMFSFJ, 2000). Einige empirisch begleitete Erprobungen von in *physik multimedial* entwickelten Selbstlernerheiten erfolgten aus diesem Blickwinkel (s. z.B. Brudler 2003).

3 Die Konzeption der Selbstlerneinheiten

Der gegenwärtige Entwicklungsstand der Selbstlerneinheiten (im Folgenden auch kurz SLEen) ist durch folgende Konstruktionsmerkmale gekennzeichnet (vgl. Murmann et al. 2003, 100f):

- Sie werden als thematisch abgegrenzte Module mit überschaubarer Bearbeitungsdauer entwickelt, z.B. "Schwingungen", "Wärme­kraft­ma­schinen", oder "Fehlerrechnung".
- Die Selbstlerneinheiten haben standardmäßig einen zweiseitigen Aufbau. In der linken Spalte befindet sich der "Kerntext", in der rechten Spalte sind Beispiele, Diagramme, Simulationen, Animationen und gegebenenfalls ergänzender Text aufrufbar.
- Optionale Vertiefungen und Ergänzungen innerhalb der Module werden im Hinblick auf den Mathematisierungsgrad, den Umfang der Inhalte und ihre Bezüge zu den Hauptfächern der Studierenden angeboten.
- Es ist sowohl möglich, linear durch den Kerntext zu blättern, als auch gezielt per interaktiver Coursemap auf einzelne Seiten zuzugreifen. Der lineare Verlauf stellt eine sinnvolle Bearbeitungsmöglichkeit für Studierende dar, die mit der Sachstruktur des Themas nicht vertraut sind und ohne Anleitung auf das Angebot zugreifen. Gezielte Zugriffsmöglichkeiten sind insbesondere zur Wiederholung, als Nachschlagemöglichkeit, zur Prüfungsvorbereitung oder für die Einbindung in unterschiedliche Veranstaltungskonzepte der Präsenzlehre zweckmäßig.
- Für DozentInnen besteht die Möglichkeit, einzelne Kapitel und Themen einer Lerneinheit im Hinblick auf ihre Relevanz für die jeweilige Lernveranstaltung zu kommentieren. Sie können abgestuft nach „verbindlich“, „wissenswert“, „nicht unbedingt notwendig“ auf jeder Seite ein entsprechendes Icon setzen, um den Lernenden entsprechende Orientierung zu bieten. (...).
- Bezogen auf unterschiedliche Hauptfächer der Studierenden findet eine Kontextualisierung der Physik teilweise in alternativen Pfaden statt.
- Entlang des linearen Navigationspfades und am Ende der SLEen werden Selbsttestaufgaben mit Lösungen angeboten, so dass die Lernenden ihr erarbeitetes Wissen anwenden und überprüfen können.

Die acht derzeit einsatzfähigen SLEen "Fehlerrechnung", "Funktionen", "Schwingungen", "Wellen", "Spiegel", "Grundwissen Thermodynamik", "Phasenumwandlungen" sowie "Wärme­kraft­ma­schinen" sind auf der *physik multimedial*-Plattform (<http://www.physik-multimedial.de>) über den Gastzugang unter "Lernmodule" frei zugänglich.

The screenshot shows a web page titled "Wellen - Grundlagen" with a sub-header "Transport in Wellen". The main text discusses wave propagation, energy transport, and examples like water waves and sound waves. It includes a schematic diagram of a water wave and a photograph of dolphins. Navigation icons are visible at the top and bottom.

Transport in Wellen

Durch Wellenausbreitung findet Transport statt. Es werden jedoch nicht Materie oder das Medium, durch das die Welle sich bewegt, transportiert, sondern [Energie](#) und [Impuls](#).

Die Animation rechts verdeutlicht dies am Beispiel einer [Wasserwelle](#).

Wasserwellen transportieren folglich nicht die Wassermassen, sondern Bewegungsenergie. Wenn Boote oder Treibholz auf dem Wasser treiben, liegt es entweder am Wind (der ja typischerweise zu Seegang gehört) oder an einer Strömung. Wichtig zu unterscheiden sind bei Wellen "lokale Bewegung" und "Transport".

Auch in [Schallwellen](#) bewegen sich beispielsweise Luftmoleküle. Diese Bewegungen sind jedoch lokale Schwingungen, die Energie und Impuls an ihre schwingungsfähigen Nachbarn weitergeben ohne ihre Ruhelage zu verändern.

Elektromagnetische Energie erreicht uns z.B. als [Sonnenlicht](#). Auf diesem Weg durchs All gibt es aber kein schwingendes Medium. Elektromagnetische Wellen (Strahlung) benötigen im Unterschied zu mechanischen Wellen kein Medium, sondern können sich auch im Vakuum ausbreiten!

Der Impuls von Schallwellen wird medizinisch zur [nicht-invasiven Zerstörung von Nierensteinen](#) genutzt.

Schematische Darstellung einer Wasserwelle

Beobachten Sie die blauen Schwingungselemente. Sie bewegen sich nicht fort, sondern schwingen um eine Ruhelage. Sie führen eine Mischung aus longitudinaler und transversaler Schwingung aus. (Kreisbewegung)

<< Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen Bewegte Sender und Empfänger >>

Abb.3: Beispielseite zum Seitenaufbau aus der Selbstlerneinheit "Wellen"

4 Fragestellungen

Die formative Evaluation der Selbstlerneinheiten erfolgte im Wesentlichen als Selbstevaluation unter Federführung des Institutes für Didaktik der Physik der Universität Bremen. Neben Bremen waren die Projektstandorte Oldenburg und Rostock sowie die Kooperationspartner in Düsseldorf und Potsdam maßgeblich beteiligt.

Hauptziel der Evaluation waren die Steuerung der Modulentwicklung und die Qualitätssicherung der Produkte im Rahmen der gewählten Implementationsstrategie und der Projektziele. Die gleichzeitige Untersuchung wissenschaftlicher Fragestellungen etwa zur Lernwirksamkeit der SLEen erschien sowohl aus grundsätzlichen als auch pragmatischen Erwägungen unter den gegebenen Bedingungen nicht sinnvoll bzw. leistbar. Selbstverständlich ergaben sich sowohl methodisch als auch inhaltlich wertvolle Erfahrungen und Anregungen für weiterführende wissenschaftliche Studien (s. unten).

Vor dem Hintergrund der Eignung für den Einsatz in der Nebenfachausbildung wurden die Selbstlerneinheiten so konzipiert, dass sie insbesondere

- in den Anwendungskontexten den breit gefächerten Hauptfächern der Studierenden
- in den Erklärungszusammenhängen den stark divergierenden mathematischen und physikalischen Vorkenntnissen der Studierenden
- und insgesamt den Kriterien von Gender Mainstreaming Rechnung tragen konnten.

Das Erreichen dieser Ziele stand entsprechend im Mittelpunkt der Evaluationsstudien. Darüber hinaus wurde die Eignung und Akzeptanz der SLEen als eine Alternative zu herkömmlichen Angeboten (Bücher, Skripte) untersucht. Dadurch kamen weitere inhaltliche und medienbezogene Aspekte ins Blickfeld, u.a. Zusammenfassungen, Übungsaufgaben und Selbsttests, Navigation und Orientierung.

5 Zur Methodik der Evaluation

Die Evaluation lässt sich insgesamt als dreistufiger Prozess darstellen, der durch die Erhebung der oben skizzierten Rahmenbedingungen sowie die Erarbeitung von Styleguides und einer Handreichung zum entsprechenden Forschungsstand (s. Petri 2001) für die EntwicklerInnen vorbereitet bzw. flankiert wurde:

1. interne Erprobung und Kritik im Rahmen der lokalen Arbeitsgruppentreffen sowie der im Mittel alle vier Monate stattfindenden mehrtägigen Projektmeetings.
2. Piloterprobung in Form von Laborstudien mit Kleingruppen von Studierenden, vorwiegend an den im Projektverbund für die Evaluation zuständigen Standorten Bremen und Rostock
3. Erprobung im Lehrveranstaltungseinsatz, schwerpunktmäßig an den bereits genannten Standorten Bremen, Düsseldorf, Oldenburg, Potsdam und Rostock

Stufe 1 erstreckte sich sowohl auf die fachlichen Inhalte und deren Auswahl, Beschränkung und Strukturierung als auch auf die softwareergonomischen, fach- und mediendidaktischen Aspekte. Teilweise mussten Kompromisse etwa zwischen dem fachdidaktisch Wünschenswerten, dem mediendidaktisch Gebotenen und dem mit den vorhandenen Ressourcen leistbaren gefunden werden. In vielen Fällen führte dieser Prozess bereits auf sich im Endeffekt bewährende Lösungen wie die Adaption des zweiseitigen Seitenaufbaus (Zajonc 2002), der u.a. die Aufteilung in einen Hauptstrang (linke Seite) und höher interaktive, (dynamisch) visualisierende, inhaltlich differenzierende oder vertiefende rechte Seiten ermöglicht.

In Stufe 2 erhielten Kleingruppen von Studierenden der Physik im Nebenfach die Aufgabe eine SLE unter einem bestimmten Blickwinkel durchzuarbeiten. Beispielsweise nahmen im Sommer 2002 in Bremen fünf Studentinnen der Biologie und fünf Studenten der E-Technik auf freiwilliger Basis an den Laborstudien zur ersten Staffel der Selbstlerneinheiten ("Schwingungen", "Wellen" und "Fehlerrechnung") teil. Sie erhielten die Aufgabe, die genannten SLEen durchzuarbeiten und sie dabei hinsichtlich ihrer Eignung zum Selbststudium wie etwa zu einer Prüfungsvorbereitung zu testen. Mittels eines halbstrukturierten Interviewleitfadens (s. Anhang) wurden die ProbandInnen unmittelbar im Anschluss an die ca. 90-minütige Einzelarbeit am PC zu ihren Erfahrungen und Bewertungen sowohl zu inhaltlichen als auch multimedialen Aspekten befragt (2er- und 3er-Gruppen, ca. 45 Minuten).

Primäres Ziel der Tests war es, möglichst schnell die wesentlichen Stärken und Schwächen der Software aus Sicht der Studierenden zu identifizieren und dadurch Richtung und Prioritäten für die Überarbeitung der Lernprogramme bis zum ersten Einsatz im Regelbetrieb der Lehre ab Oktober

2002 zu erhalten. Lernwirkungsanalysen waren, wie bereits erwähnt, in dieser Phase nicht beabsichtigt. Die Transkripte der einzelnen Interviews wurden auf für die EntwicklerInnen der SLEen schnell umsetzbare Kernaussagen und die Schwerpunkte der Kritik reduziert.

Eine spezielle Evaluation dieser SLEen unter Gender-Aspekten erfolgte im Januar 2003 im Rahmen des 2. *physik multimedial* Gender-Workshops in Oldenburg (Brudler 2003).

In der 3. Stufe konnten auf dieser Grundlage ab September 2002 die Pilotversionen der ersten Staffel der in *physik multimedial* entwickelten Selbstlerneinheiten (SLEen) an einzelnen Projekt- und Kooperationsstandorten auch im Lehrveranstaltungseinsatz getestet werden. Die für die Evaluation besten Bedingungen (im Wesentlichen bestimmt durch die Zugriffsmöglichkeiten der jeweiligen Lehrenden auf PC-Pools) herrschten dabei in Düsseldorf, Potsdam und Rostock. Das Feedback der Studierenden (20 bis 60 Personen) konnte dabei sehr zeitnah durch internetbasierte, inhaltlich am Leitfaden der Interviews in Stufe 2 orientierten elektronische Fragebögen eingeholt werden.

wann	was	wo
Juli 2001 – April 2002	Interne Modulkritik der lokalen Arbeitsgruppen und auf Projektworkshops	Bremen, Greifswald, Rostock, Bad Bederkesa
Mai – Juli 2002	Pilotstudien zu "Schwingungen", "Wellen" und "Fehlerrechnung"	Bremen, Rostock, Potsdam
September 2002	Erster LV-Einsatz von "Fehlerrechnung"	Rostock, Praktikum zur Physik für Chemiker
Ab November 2002	"Schwingungen" statt Praktikumsversuch Einsatz im Workshop-Physics-Konzept "Wellen" in Physik für Studierende der E-Technik	Düsseldorf Potsdam Bremen
Januar 2003	Test der SLEen im Rahmen des 2. Genderworkshops	Oldenburg
Oktober / November 2003	"Fehlerrechnung" im Grundpraktikum	Düsseldorf

Tab. 2: Zeitlicher Überblick zur Evaluation der ersten Staffel von Selbstlerneinheiten

Die zweite Staffel von in *physik multimedial* entwickelten SLEen (drei zur Thermodynamik, eine zum mathematischen "Handwerkszeug", eine zur Optik) konnte natürlich bereits auf den bisherigen Erfahrungen und Ergebnissen aufbauen. Die Evaluation musste und konnte sich innerhalb des Förderungszeitraums des Projektes daher auf eine interne Kritik zur Qualitätssicherung beschränken. Die Bewertung konzentrierte sich daher auf fachliche Aspekte, die Einpassung in das inzwischen erarbeitete Design und die Überprüfung der Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Tests und Lehrveranstaltungseinsätze. Zu "Grundwissen Thermodynamik" wurde darüber hinaus eine Laborstudie gemäß Stufe 2 durchgeführt um die fachliche Eignung für Studierende verschiedener Hauptfächer (d.h. mit sehr unterschiedlichen physikalischen Vorkenntnissen) zu überprüfen. Empirisch begleitete Lehrveranstaltungseinsätze zu dieser Staffel von SLEen gab es lediglich in Potsdam zur SLE "Spiegel".

In der Endphase des Förderungszeitraums bzw. unmittelbar im Anschluss war die SLE "Wellen" darüber hinaus auch Gegenstand von externen Studien. Im Sommersemester 2003 waren Teile der SLE "Wellen" Gegenstand einer 1. Staatsexamensarbeit an der Universität Bremen (Grewe 2003). Im Wintersemester 2003/2004 war "Wellen" in ein noch laufendes Promotionsvorhaben zur Untersuchung von Geschlechteraspekten bei der Entwicklung und Nutzung von Digitalen Medien in der Hochschullehre (Anja Tigges, Universität Dortmund) einbezogen.

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Labor- und Feldstudien zu den SLEen aus Bremen, Düsseldorf, Rostock und Potsdam kurz zusammengefasst. Zu den Ergebnissen des 2. Gender-Workshops sei erneut auf Brudler (2003) verwiesen.

Der Grundtenor des studentischen Feedbacks war in allen Teilstudien überwiegend bis weitestgehend sehr positiv und hinsichtlich der bisherigen bzw. der jeweils zukünftigen Entwicklungsarbeit sehr ermutigend. Gleichzeitig ergaben sich natürlich sowohl jeweils zahlreiche hilfreiche Detailhinweise, z.B. zur Verbesserung und Ergänzung von bestimmten Formulierungen und Visualisierungen, als

auch viele, oft redundante, Rückmeldungen zu den oben skizzieren wesentlichen Gestaltungsmerkmalen und Anforderungen an die SLEen.

Allgemein positiv aufgenommen wurden insbesondere grundlegende gestalterische Merkmale wie die Funktionsleiste mit der Coursemap zur Orientierung und Navigation, die Zweiteilung des Browserfensters ("links-rechts-Schema") und die Farbgebung.

In Inhalt und dessen Aufbereitung wurden die SLEen "Schwingungen" und "Wellen" als interessanter und verglichen mit der SLE "Fehlerrechnung" als fachlich anspruchsvoller bewertet (größerer "Fun- und Thrill-Faktor"). "Fehlerrechnung" hob sich durch seine inhaltliche Kompaktheit, die zahlreichen interaktive Übungen und insbesondere den hohen unmittelbaren Gebrauchswert direkt zu Beginn des 1. Semesters bzw. des Physik-Praktikums ab.

Für die an der Universität Bremen entwickelten SLEen "Schwingungen" und "Wellen" wurde auf Basis der ersten Laborstudien im Juli 2002 folgende To-do-Liste erstellt, die anschließend aufgearbeitet wurde:

- Selbsttests und Zusammenfassungen am Kapitelende hinzufügen
- Orientierung verbessern (auf welcher Stelle im Gesamtmodul bin ich gerade?)
- wichtige und optionale Hyperlinks besser voneinander unterscheiden
- Glossareinträge "vermehrten"
- Anwendungsbeispiele "vermehrten", Übungen überarbeiten und "vermehrten"
- Erläuterungen zu einigen Medien (Filme, Applets) verbessern
- für die Biologie: noch ausführlichere Formel-Erläuterungen
- für die E-Technik: noch ausführlichere Formel-Herleitungen

Auch die ersten Einsatzerfahrungen aus Lehrveranstaltungen belegten, dass gerade die Anforderungen, die durch die sehr unterschiedlichen Voraussetzungen, Bedürfnisse und Interessen der Studierenden etwa der Biologie einerseits und der Elektrotechnik andererseits entstehen, lange Zeit unterschätzt wurden. So überschritten z.B. die Ansprüche der "Ingenieure" an mathematische Herleitungen und die Verständnisschwierigkeiten der "Biologinnen" bezüglich elementarster physikalischer Formalisierungen in vielen Fällen die Erwartungen. Dennoch zeigten die oben aufgelisteten kritischen Punkte überwiegend auch, dass die für die SLEen eingeschlagene Entwicklungsrichtung zum angestrebten Ziel führte. Der Weg dorthin war lediglich etwas weiter und anspruchsvoller als gedacht. Die Grundkonzeption und zentrale gestalterische Merkmale hatten sich bewährt, tiefgreifende Revisionen waren nicht erforderlich. Einige wichtige, in der Konzeption der SLE bereits enthaltene Elemente konnten infolge knapper zeitlicher und personeller Ressourcen bis zu den ersten Erprobungen noch nicht im wünschenswerten Umfang realisiert werden konnten (Selbsttests, Differenzierung von Hyperlinks).

Die SLEen "Schwingungen" und "Wellen" waren ursprünglich als eine SLE "Schwingungen und Wellen" entwickelt worden. Aufgrund der ersten Einsatzerfahrungen schien es sinnvoll, weitere Entwicklungen von SLEen thematisch enger anzugehen. Dies sollte sowohl dazu beitragen, die Nutzungswahrscheinlichkeit durch Lehrende und Studierende zu erhöhen, als auch den Anforderungen an die Adaptierbarkeit für unterschiedliche Vorkenntnisse, Interessen, Studiengänge und Einsatzkontexte in Anbetracht begrenzter Ressourcen angemessen Rechnung tragen zu können. Die zur Thermodynamik entwickelten SLEen "Grundwissen Thermodynamik", "Phasenumwandlungen" sowie "Wärmekraftmaschinen" sind infolgedessen auch bereits vom Titel her erkennbar inhaltlich enger gefasst.

Eine noch im November 2003 in Bremen durchgeführte Laborstudie zur SLE "Grundwissen Thermodynamik" lieferte sehr erfreuliche Ergebnisse. Die Erprobung erfolgte unter vorwiegend inhaltlichem und fachdidaktischem Blickwinkel (Verständlichkeit, Lernförderlichkeit). In Bremen waren 4 Studentinnen der Biologie und ein Student der Physik (Lehramt), in Rostock 10 Studenten aus dem Bereich E-Technik und Maschinenbau sowie ein schulischer Physik-Leistungskurs beteiligt. Methodisch wurde analog zu den früheren Pilotstudien vorgegangen. Als besonders ansprechend und prinzipiell sehr gut verständlich wurde die sprachliche Darstellung (Stil, logischer Aufbau, Strukturierung) der SLE hervorgehoben. Die Verständlichkeit des Stoffes wurde durch die multimediale, dynamische Visualisierung i.d.R. zusätzlich verbessert. Selbstverständlich wurden durch

das Feedback der ProbandInnen an einigen Stellen noch Schwachpunkte entdeckt und Verbesserungen initiiert.

Darüber hinaus zeigte sich hier, ebenso wie in allen Lehrveranstaltungseinsätzen von SLEen, dass es sinnvoll und notwendig ist, eine SLE von Seiten der Lehrenden für die jeweilige Zielgruppe spezifisch zu "kommentieren". "Kommentieren" bedeutet hier, für die Studierenden, einzelne Kapitel oder einzelne Seiten der SLE hinsichtlich ihrer Eignung und Relevanz zu markieren und ggf. zusätzliche Hinweise anzufügen. In den SLEen sind entsprechende Möglichkeiten implementiert (siehe unter 3.). Ohne eine solche Kommentierung laufen insbesondere Studierende mit eher geringen physikalischen Vorkenntnissen Gefahr, sich an fachlich für sie zu schwierigen Kapiteln zu frustrieren. Hieraus folgt auch, dass die Stärke der SLEen gegenwärtig im schon recht vielfältigen Angebot zur relativ eigenständigen Bearbeitung von adressatenspezifischer Problemstellungen liegt. Als allgemeine Lehrbücher oder Nachschlagewerke zur Physik sind die SLEen hingegen zur Zeit nur bedingt geeignet, sie stellen aber nach Aussage der bisherigen KritikerInnen wertvolle Ergänzungen zu entsprechenden Printmedien dar.

Die Erfahrungen gerade auch aus den verschiedenen Lehrveranstaltungseinsätzen deuten ebenfalls darauf hin, dass in technisch betreuten Lernumgebungen, d.h. im universitären PC-Labor, ein effektiveres Arbeiten möglich ist, da dann kaum Probleme etwa mit der Verbindung zum Server oder mit der Konfiguration von Internetbrowsern auftreten. In Szenarien, in denen die Studierenden überwiegend auch zu Hause mit SLEen arbeiteten, führten die oben kurz beschriebenen unterschiedlichen Voraussetzungen der Studierenden bezüglich PC- und Internetnutzung bisweilen zu Verzögerungen und Beeinträchtigungen.

Auch die bereits erwähnte 1. Staatsexamensarbeit von Nico Grewe (Universität Bremen), in der an Fallbeispielen (2 Studentinnen der Biologie, 2 Studenten der E-Technik) untersucht wurde, inwieweit das Durcharbeiten von entsprechenden Teilen der SLE "Wellen" das Verständnis von Grundbegriffen der Wellenlehre ermöglicht bzw. beeinflusst, unterstrich, dass Studierende der Biologie hier bereits vor großen fachlichen Herausforderungen stehen. Eine Arbeit mit den SLEen ohne Betreuung bzw. Kommentierung im oben erläuterten Sinn verspricht hier nur begrenzt Erfolg. Auf der anderen Seite verfügen Studierende der E-Technik häufig schon über gewisse Vorkenntnisse, die es ihnen erlauben, die Animationen, Experimentalvideos und Simulationen sowie die gewählten Anwendungskontexte als neuartige und interessante Zugänge zur Physik zu erleben.

Methodisch arbeitete diese Studie mit der Verknüpfung von Videomitschnitten des PC-Bildschirms und "Lautem Denken". Bei geeigneten ProbandInnen erwies sich dieses Verfahren als sehr fruchtbar für die Datenauswertung. Zusätzlich konnten die so erhaltenen Bild- und Tonmitschnitte in Interviews noch einmal mit den ProbandInnen reflektiert werden (Stimulated Recall). Für umfangreichere Lernstudien zu SLEen oder anderen Multimedia-Anwendungen wurde hier wertvolle Vorarbeit geleistet.

Auch die inhaltliche Entwicklung von SLEen wurde mittlerweile in Bremen im Rahmen von zwei 1. Staatsexamensarbeiten fortgesetzt. Zum Thema "Radioaktivität" konnten erste "Bausteine" entwickelt werden.

Insgesamt kann als Zwischenbilanz festgehalten werden, dass sich die in *physik multimedial* entwickelten SLEen in ihrer Grundkonzeption sowohl vom Design als auch von der fachlichen und didaktischen Konzeption her, im Lehrveranstaltungseinsatz bereits gut bewährt haben. Die Konzeption ist auch soweit gereift, dass die Überarbeitung, Erweiterung und Evaluation des Angebots nun u.a. auch im Rahmen von Examensarbeiten und Promotionsvorhaben betrieben werden kann.

7 Literatur und Hyperlinks

- Blömeke, S. (2003): Lehren und Lernen mit neuen Medien – Forschungsstand und Forschungsperspektiven. In: Unterrichtswissenschaft, 31, 58-82.
- Brudler, E. (2003): *physik multimedial* - Studentinnen der Naturwissenschaften evaluieren Lehr- und Lernkonzepte des Verbundprojekts. Abschlussbericht zum 2. Studentinnen-Workshop des Projekts *physik multimedial* an der Universität Oldenburg am 17./ 18. Januar 2003. <http://www.physik-multimedial.de/workshop03/abschlussbericht.html>
- BMFSFJ (2000): Was ist Gender Mainstreaming? Homepage des BMBF, "Aktuelles", http://www.bmfsfj.de/top/sonstige/Aktuelles/ix4748_27124.htm?script
- Fischer, F.; Mandl, H. (2002): Lehren und Lernen mit neuen Medien. In: Tippelt, R. (Hrsg.): Handbuch Bildungsforschung. Opladen: Leske & Budrich, 623-637.
- Grewe, N. (2003): Fallstudien zur Evaluation einer multimedialen Selbstlernumgebung zum Thema "Wellen". Schriftliche Hausarbeit zur Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an öffentlichen Schulen im Fach Physik. Bremen: Universität Bremen.
- Häußler, P.; Hoffmann, L. (1998): Chancengleichheit für Mädchen im Physikunterricht – Ergebnisse eines erweiterten BLK-Modellversuchs. ZfDN 4 (1998), 51 – 67.
- Kielholz, A. (2001): Geschlechtsunterschiede bei der Internet-Nutzung. In: Groner, R.; Dubi, M. (Hrsg.): Das Internet und die Schule. Bisherige Erfahrungen und Perspektiven für die Zukunft. Bern et al.: Huber, 149 – 170.
- Middendorff, E. (2002): Computernutzung und Neue Medien im Studium. Ergebnisse der 16. Sozialerhebung des Deutschen Studentenwerkes (DSW) durchgeführt von HIS Hochschul-Informationssystem. Bonn,
- Murmann, L.; Bohne, M.; Ryder, P.; Schottmüller, H. (2003): *physik multimedial* - Multimediale Selbstlerneinheiten für das Studium der Physik im Nebenfach. Physik und Didaktik in Schule und Hochschule PhyDid 2/2 (2003), 100-105.
- Petri, J. (2001): Lernen in Multimedia-Umgebungen: pädagogisch-psychologische Grundlagen, empirische Ergebnisse, aktuelle Entwicklungen. <http://www.physik-multimedial.de/publikationen.html>
- Petri, J.; Schecker, H. (2002): *physik multimedial* - Lehr- und Lernmodule für das Studium der Physik als Nebenfach: Erhebungen zu den Rahmenbedingungen bei Studierenden und Dozenten. In: Nordmeier, V. (Red.): CD zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik in der DPG, Leipzig 2002.
- Petri, J.; Schecker, H. (2003): *physik multimedial* - Physik lehren und lernen mit Multimedia: Die Implementation der Lernplattform. Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (PhyDid) 1/2 (2003), 74-80.
- Petri, J.; Schecker, H. (2003a): *physik multimedial*: Erste Evaluationsergebnisse zu den bisher entwickelten Selbstlerneinheiten. In: Pitton, A. (Hrsg.): Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP): Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie. Münster et. al.: LIT-Verlag, 179-181.
- Reinmann-Rothmeier, G.; Mandl, H. (1999): Implementation konstruktivistischer Lernumgebungen - Revolutionärer Wandel oder evolutionäre Veränderung? In: Renk, H.-R. (Hrsg.): Lernen und Leben aus der Welt im Kopf. Neuwied: Luchterhand, 61-78.
- Schecker, H. (2002): Physikstudium multimedial - Neue Trends in der Hochschullehre aus fachdidaktischer Sicht. In: Nordmeier, V. (Red.): CD zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik in der DPG, Leipzig 2002.
- Schnotz, W. (2001): Wissenserwerb mit Multimedia. In: Unterrichtswissenschaft, 29, 292-318.
- Urhahne, D.; Prenzel, M.; von Davier, M.; Senkbeil, M.; Bleschke, M. (2000): Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht – Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. ZfDN, 6 (2000), 157-186.
- Zajonc, R. (2002): Physikmodule für eine hypermediale Lernumgebung: Konzeption und Realisierung eines Fernlernkurses und Untersuchung des Nutzerverhaltens. In: Europäische Hochschulschriften: Reihe 11, Pädagogik. Berlin: Lang.

Anhang: Interviewleitfaden zu den Erprobungen der SLE "Fehlerrechnung"

Allgemeine Beurteilung

1. Was möchten Sie als uns "so aus dem Bauch heraus" mitteilen?
2. Wie beurteilen Sie die Lernumgebung zusammenfassend?
3. Gibt es Dinge, die Sie besonders positiv oder negativ hervorheben möchten?
4. Hat Ihnen die Bearbeitung der Lernsoftware Spaß gemacht?
5. Würden Sie die Lernsoftware Freunden oder Bekannten weiterempfehlen?
Was an der Lernsoftware ist für Ihre (Nicht)-Empfehlung ausschlaggebend?

Fachliches Verständnis

0. Können Sie nun erklären /angeben
 - a. was der Begriff "signifikante Stellen" aussagt?
 - b. was man unter dem Mittelwert einer Verteilung versteht?
 - c. wie eine Normalverteilung von Messwerten zustande kommen kann?
 - d. was man unter systematischen und was unter zufälligen Fehlern versteht?
 - e. was man unter der Standardabweichung (des Mittelwerts) versteht?
 - f. was Fehlerfortpflanzung bedeutet?

Vertiefung zu inhaltlichen Aspekten

6. Hatten Sie beim Durcharbeiten der Lernsoftware fachliche Verständnisprobleme?
Wenn ja, welche? Worauf führen Sie diese zurück?
7. Wie beurteilen Sie das fachliche Niveau (Schwierigkeitsgrad) der Lernumgebung allgemein?
 - a. speziell der mathematischen Formeln?
 - b. speziell der gestellten Aufgaben?
8. Wie hilfreich waren für Sie die Beispiele und die Übungen für das Verständnis?
9. Waren die Erläuterungen zu Fachbegriffen für Sie ausreichend?
10. Hätten Sie eher mehr oder eher weniger Hilfestellungen zu den Inhalten benötigt?
11. Halten Sie die behandelten Inhalte im Bezug auf Ihr Hauptfach für wichtig?
12. Wie beurteilen Sie den sprachlichen Stil?
13. Wie beurteilen Sie den Umfang der Texte?
14. Sind Ihnen Fehler im Inhalt aufgefallen? Wenn ja, welche?
15. Sind Ihnen Fehler in der Rechtschreibung aufgefallen? Wenn ja, welche?
16. Möchten Sie noch etwas zum inhaltlichen Teil ergänzen?

Vertiefung zu multimedialen Aspekten

17. Wie empfanden Sie das Verhältnis von Text zu Bildern und Simulationen?
18. (Wie bewerten Sie die blaue Funktionsleiste und ihre Elemente (soweit verfügbar)?)
19. Wie bewerten Sie die Bildschirmaufteilung in zwei Teile und die Zuordnung linke Seiten – rechte Seiten?
20. Hatten Sie stets das Gefühl zu wissen, an welcher Stelle im Programm Sie sich befinden?
21. Traten Probleme bei der Navigation auf? Z.B. bei den sich neu öffnenden Browserfenstern?
22. Wie beurteilen Sie die vorgegebene Reihenfolge der Seiten?
23. Wie bewerten Sie die Wahlmöglichkeiten bei den Übungen?
24. Wie bewerten Sie die Coursemap?
25. Wie beurteilen Sie das Maß der Ihnen geboten Möglichkeiten zu eigenen Aktivitäten (Anregungen, Übungen, Simulationen)?
26. Welche Eingabemasken für Übungen haben Sie genutzt? Wie bewerten Sie diese?
27. Mit welchen Simulationen und Applets haben Sie gearbeitet? Wie bewerten Sie diese?
28. Hat etwas bei der Bearbeitung des Programms gar nicht funktioniert?
29. Gab es Dinge, die Sie gestört oder verwirrt haben?
30. Möchten Sie noch etwas zum Medienteil ergänzen?