

## **Physik für Mediziner - real und hypermedial Konzeption und Evaluation eines in Inhalten, Methodik und Medieneinsatz adressatenspezifischen Physikpraktikums**

**Heike Theyßen**

Institut für Didaktik der Naturwissenschaften, Abteilung Physikdidaktik, Universität Bremen  
(Eingegangen: 24.03.2005; Angenommen: 13.02.2006)

### **Kurzfassung**

Der hohe Stellenwert physikalischer Praktika in der Nebenfachausbildung rechtfertigt und verlangt deren gezielte adressatenspezifische Gestaltung. Dies betrifft Inhalte und Methodik einschließlich der eingesetzten Medien.

Das Physikpraktikum für Medizinstudierende an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf ist ein Beispiel für derartige Praktikumsentwicklungen. Es wurde basierend auf Zielebefragungen, Sachstrukturanalysen und einer detaillierten Lerngruppenanalyse neu konzipiert und im Vergleich zum traditionellen Praktikum evaluiert. Als konsequente Fortführung der Praktikumsentwicklung wurde eine hypermediale Lernumgebung entwickelt und im Vergleich zum neuen Praktikum evaluiert. Über beide Entwicklungen, insbesondere die vergleichenden Evaluationen, gibt dieser Beitrag eine Übersicht.

Abschließend werden sowohl Anwendungen der Entwicklungen in der Lehrerbildung als auch im Unterricht zu fachübergreifenden und fächerverbindenden Themen vorgestellt.

### **1. Einführung**

Dieser Beitrag berichtet über die Konzeption und Evaluation eines adressatenspezifischen Physikpraktikums, dessen Weiterentwicklung zu einer hypermedialen Lernumgebung, die Evaluation beider Lernumgebungen sowie deren Einsatz und den Transfer an die Schule.

Details wurden an anderen Stellen, auf die jeweils verwiesen wird, bereits vorgestellt. Dieser Beitrag stellt die Arbeiten in einen übergreifenden Kontext, gibt eine zusammenfassende Übersicht und stellt einige neue Ergebnisse vor.

Der methodische Rahmen der Entwicklungsarbeiten und empirischen Untersuchungen ist das Modell der Didaktischen Rekonstruktion [1] in einer für den Hochschulbereich ergänzten und modifizierten Form. Es umfasst drei Bereiche fachdidaktischer Forschung und Entwicklung: Fachliche Perspektive, Lernerperspektive und Didaktische Strukturierung. In die Fachliche Perspektive fallen die Klärung der Zielsetzung der zu entwickelnden Lernumgebung und die Sachstrukturanalyse, in die Lernerperspektive die Klärung der Ziele der Lernenden und der Lernbedingungen. Die Didaktische Strukturierung schließlich beinhaltet die Konzeption der Lernumgebung und deren Evaluation. Alle drei Bereiche werden in einem iterativen Prozess mehrfach durchlaufen und bedingen sich mit ihren Ergebnissen wechselseitig. In diesem Beitrag steht die Didaktische Strukturierung mit Konzeption und Evaluation im Zentrum. Als Voraussetzung für die Konzeption und Maßstab für die Evaluation werden vor-

ab zentrale Aspekte der Fachlichen Perspektive und der Lernerperspektive dargestellt.

### **2. Fachliche Perspektive - Zielsetzung**

Mehrstufige Befragungen und Interviews unter Mediziner\*innen ergaben als zentrale Zielsetzung des Physikpraktikums, dass die Studierenden physikalische Grundlagen für Physiologie und Medizintechnik erarbeiten, diese kennen und anwenden können. Hier spiegelt sich in einer fachspezifischen Ausprägung ein vielfach genanntes Ziel Physikalischer Praktika wider: die Verbindung von Theorie und Praxis (vgl. [2], [3]). Das Praktikum soll den Erwerb und die Vertiefung anwendungsfähigen Theoriewissens unterstützen. Der Erwerb experimenteller Fähigkeiten als weiteres typisches Ziel tritt dem gegenüber hier in den Hintergrund.

Diese Zielsetzung konkretisiert sich in den von den befragten Mediziner\*innen benannten Eigenschaften eines „guten“ Praktikumsversuches: die im Versuch behandelten Inhalte sollen medizinischen Bezug besitzen und dieser soll den Studierenden durchgängig transparent werden. Die physikalischen Inhalte sollen somit unmittelbar im relevanten medizinischen Kontext erarbeitet und angewandt werden. Hierbei soll das qualitative Verständnis Vorrang vor der quantitativen, insbesondere der formalisierten Beschreibung haben.

### **3. Lernerperspektive - Lernbedingungen**

Eine Befragung der Studierenden eines Semesters (n = 184) ergibt, dass 70 % bis maximal zur 10.

Klasse Physikunterricht hatten. Dies liegt aufgrund der vorliegenden Altersstruktur im Mittel ca. 6 Jahre zurück [4].

Hieraus kann man folgern, dass die Mehrheit der Studierenden äußerst geringe Vorkenntnisse im Umgang mit physikalischen Experimenten und mit der formalisierten Beschreibung physikalischer Zusammenhänge besitzt. Die Folgerung wird gestützt durch die Ergebnisse von Erhebungen der mathematischen Vorkenntnisse Medizinstudierender [5]. Darüber hinaus dokumentiert die Abwahl des Faches Physik das überwiegend geringe Interesse der Studierenden an physikalischen Zusammenhängen.

Ergänzend zur Befragung der Studierenden wurden Videoanalysen der Versuchsdurchführung im bestehenden Praktikum durchgeführt. Dieses Praktikum war in einer klassischen Form organisiert (vgl. auch [3]). Von den Studierenden wurde vor jedem Versuch eine ausführliche Vorbereitung der theoretischen Grundlagen und der Messaufgaben verlangt. Am Versuchstermin waren diese Grundlagen Gegenstand einer vom Betreuer moderierten Vorbesprechung, in der insbesondere die Messaufgaben detailliert erläutert wurden. Die Messaufgaben bestanden primär in der Verifizierung der in der Vorbereitung behandelten Gesetzmäßigkeiten bzw. deren Nutzung zur Bestimmung von Material- oder Naturkonstanten.

Eine kategoriengeleitete Analyse der Versuchsdurchführung [6] zeigt, dass am Versuchstermin trotz der ausführlichen Vorbereitung ca. 37 % der Zeit auf die Klärung der Aufgabenstellung entfallen. Während 40 % der Zeit sind die Handlungen der Studierenden von Betreuerinterventionen begleitet, wovon der überwiegende Teil der Erklärung der Aufgabenstellung dient. Bei insgesamt 84 % aller Teilversuche benötigen die Studierenden Hilfestellung von Seiten des Betreuers oder Kommilitonen, bevor sie mit der Durchführung beginnen können. Aus diesen Daten lässt sich schlussfolgern, dass die Vorbereitung und die Anleitungsform inklusive der Vorbesprechung äußerst ineffektiv sind.

Die inhaltliche Kategorisierung der Verbalisierungen zeigt, dass nur in ca. 2 % der Zeit physikalisches oder medizinisches Wissen verbalisiert wird. Der überwiegende Anteil der Verbalisierungen bezieht sich auf Organisation und Messtechnik. Nach [7] leisten jedoch gerade Interaktionen zwischen den Studierenden in Form von Diskussionen und (Selbst-)Erklärungen einen erheblichen Beitrag zur Entwicklung und Ausdifferenzierung von Bedeutungen. Es wird daher im Praktikum eine intensivere Verbalisierung physik- und medizinbezogener Inhalte angestrebt, um das vertiefte Verständnis physikalischer Grundlagen und die Anwendungsfähigkeit in medizinischen Kontexten zu fördern.

## 4. Didaktische Strukturierung

### 4.1 Didaktisches Konzept

Vor dem Hintergrund der dargestellten Zielsetzung und Lernbedingungen wurde ein didaktisches Konzept abgeleitet, das bei beiden Lernumgebungen gleichermaßen umgesetzt wurde. Die zentralen Aspekte werden im Folgenden erläutert:

- Entsprechend der Zielsetzung ist jeder Versuch gekennzeichnet durch einen durchgängigen und transparenten medizinischen Bezug. Dieser wird deutlich in Versuchsaufbau, Fragestellungen und Beispielen.
- Als Konsequenz aus der Ineffektivität der Vorbereitung sowie der Anleitung und um Betreuungskapazität für andere Bereiche als die Erklärung der Aufgabenstellung zu gewinnen, erhalten die Studierenden eine ausführliche schriftliche Anleitung. Die Anweisungen sind kleinschrittig auf die einzelnen Teilversuche bezogen und jederzeit verfügbar.
- Zur Initialisierung von Interpretation und Diskussion der Beobachtungen und Messergebnisse enthält die Anleitung zahlreiche Fragen, die unmittelbar an die Durchführung der Teilversuche zu beantworten sind.
- Gemäß der zentralen Zielsetzung liegt der Schwerpunkt auf der qualitativen Beschreibung physikalischer Zusammenhänge.
- Auf die gemäß der Videoanalysen für die Versuchsdurchführung ineffektive theoretische Vorbereitung wird verzichtet.

Letzteres bedingt eine Umorganisation der Lernphasen, insbesondere den Tausch von Experimentalphasen und Theoriephasen. Es hat außerdem, wie die übrigen Aspekte des didaktischen Konzepts Auswirkungen auf die innere Gestaltung dieser Phasen.

Die Experimentalphasen sind gekennzeichnet durch eine kleinschrittig strukturierte Aufgabenfolge, die die „fehlende“ Vorbereitung berücksichtigt. Die Teilaufgaben gehen aus von grundlegenden Beobachtungen physikalischer Phänomene und nehmen allmählich an Kompliziertheit zu. Auswertephase sind eingebunden und schließen jeweils unmittelbar an die Beobachtungen und Messungen an. Anders als im traditionellen Praktikum gehen die Auswertephase in den Experimentalphasen (und Theoriephasen, s. u.) auf. Dieser Strukturierung liegt ein konsequent konstruktivistisches Lernmodell zugrunde, das Lernprozesse u. a. als situiert und mit ansteigender Komplexität verlaufend beschreibt (vgl. [7], [4]).

In den Theoriephasen wird die theoretische Beschreibung in Anknüpfung an die experimentellen Erfahrungen erarbeitet. Es erfolgt zum Teil eine weitere, quantitative Auswertung der experimentellen Ergebnisse. Hier kommen Formeln als mathematisches Hilfsmittel zur Berechnung relevanter a-

ber nicht direkt messbarer Größen zum Einsatz. Übungs- und Transferaufgaben dienen dazu, das erworbene Wissen anzuwenden und in den medizinischen Kontext einzuordnen.

#### 4.2 Zwei Lernumgebungen

Das didaktische Konzept wurde in zwei Lernumgebungen umgesetzt: zunächst in Form eines Praktikums mit Realexperimenten, darauf aufbauend in Form einer hypermedialen Lernumgebung.

Das Praktikum unterliegt aufgrund des Einsatzes von Realexperimenten der organisatorischen Randbedingung, dass die Experimentalphasen räumlich an die Universität gebunden und damit zeitlich eng limitiert sind. Die Theoriephasen können in die Nachbereitung zuhause ausgelagert werden, finden damit jedoch räumlich und zeitlich getrennt von den Experimentalphasen statt. Im Grunde kann man nur von einer Experimentalphase und einer Theoriephase sprechen. Die Experimente stehen in der Experimentalphase als Realexperimente zur Verfügung und die Anleitung in gedruckter Form. Ergebnisse sind unmittelbar in die Anleitung einzutragen, so dass eine zusammenhängende Darstellung von Aufbau, Durchführung und Interpretation entsteht. Im Detail ist das Praktikum in [4] und [13] beschrieben.

In der hypermedialen Lernumgebung sind die Realexperimente durch Interaktive Bildschirmexperimente ersetzt und durch Animationen oder Videos ergänzt. Die schriftliche Anleitung ist Bestandteil der hypermedialen Lernumgebung und die Ergebnisse sind wie im Praktikum personenbezogen einzutragen. Die Bearbeitung erfordert lediglich einen PC mit Netzzugang, kann also gleichermaßen in der Universität und zuhause erfolgen. So können die Experimental- und Theoriephasen unter rein didaktischen Aspekten strukturiert und verzahnt werden. Eine Betreuung vor Ort, wie im Praktikum, kann angeboten werden, kann jedoch auch durch andere, synchrone und asynchrone Betreuungsformen via Chat, Foren oder Email ersetzt werden. Details zur hypermedialen Lernumgebung finden sich in [8].

Für die Lernumgebung Praktikum wurden zu insgesamt 11 Themen Realexperimente entwickelt:

- Messdaten / Körpertemperatur
- Energieerhaltung / Energieumsatz [9]
- Elektrische Potentiale / EKG [10]
- RC-Schaltungen / Elektrotonus [11]
- Absorptionsspektrometrie / Labordiagnostik
- Ultraschall / Sonographie

- Strömungsmechanik / Blutkreislauf
- Gasgesetze / Atmung
- Elektrische Leitung / Ionenstrom
- Geometrische Optik / Auge [12]
- Röntgenstrahlung / Röntgendiagnostik

Zu den letzten 5 Themen wurden inhaltlich äquivalente Module der hypermedialen Lernumgebung entwickelt.

#### 5. Evaluation

Die Evaluation wurde für beide Lernumgebungen jeweils begleitend zur Entwicklung sowie summativ durchgeführt. Maßstab für die Evaluation war die Umsetzung der Zielsetzung und die effektivere Gestaltung der Lernprozesse.

Zunächst, begleitend zur Praktikumsentwicklung, wurden das alte und neue Praktikum evaluiert.

Hier wurden im Rahmen von Feldstudien Lernprozessuntersuchungen durchgeführt, wiederum basierend auf Videoanalysen der Versuchsdurchführung ([4], [6]). Darüber hinaus wurden die Studierenden zur Selbsteinschätzung von Motivation und Lernerfolg befragt.

Da die Evaluationsergebnisse eine deutliche Überlegenheit des neuen Praktikums gegenüber dem alten zeigen, wurde die hypermediale Lernumgebung nur noch im Vergleich zum neuen Praktikum evaluiert.

Auch hier wurden die Studierenden befragt: zur Akzeptanz der Lernumgebung.

Eine breit angelegte Evaluation zu Lernwirksamkeit und Zeitmanagement wurde im Rahmen des Projektes „Hypermedia contra Praktikum“ durchgeführt.

##### 5.1 Vergleich altes Praktikum - neues Praktikum

Die Umstellung des Praktikums erfolgte sukzessive über mehrere Jahre hinweg, so dass während der Umstellungsphase beide Praktikumskonzepte nebeneinander existierten. Die Befragung der Studierenden wurde in dem Semester durchgeführt, als gerade die Hälfte der Versuche umgestellt waren, d.h. von einer Gruppe Studierender je 5 Versuche nach altem und neuem Konzept zu bewerten waren. Die Studierenden ( $n = 184$ ) erhielten einen Fragebogen mit Aussagen, die auf einer 5-stufigen Skala von „trifft nicht zu“ bis „trifft völlig zu“ für beide Versuchsgruppen (alt/neu) getrennt einzuordnen waren. Die Ergebnisse zu den Items, die sich speziell auf die genannte Zielsetzung beziehen, sind in Abbildung 1 gegenüber gestellt. Angegeben sind die Mittelwerte über alle 184 Bewertungen sowie die Messunsicherheiten (für eine vollständige Diskussion der Ergebnisse vgl. [4] und [13]).

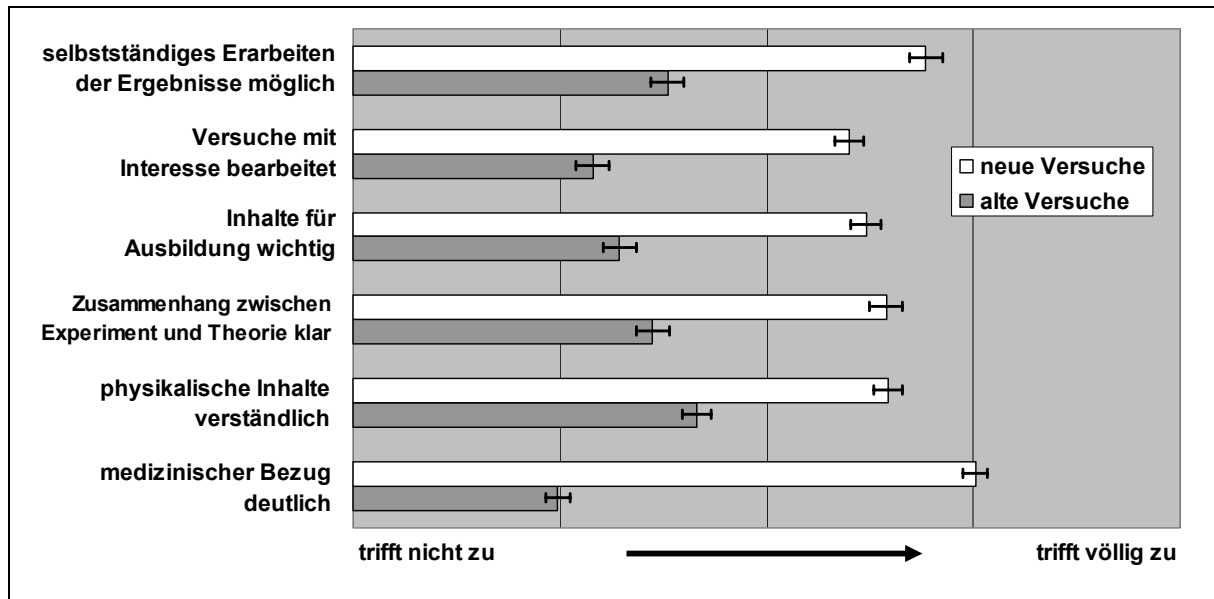


Abbildung 1: Bewertung der alten (grau) und des neuen (weiß) Praktikumsteils durch die Studierenden. Die Fehlerbalken geben die Messunsicherheit an ( $n=184$ ).

Die Bewertungen zu den ersten 3 Aussagen zeigen, dass die Zielsetzung im Hinblick auf die Transparenz des medizinischen Bezugs erreicht und das Interesse der Studierenden gesteigert wurde. Nach eigener Einschätzung wird den Studierenden bei den neuen Versuchen nicht nur der medizinische Bezug deutlicher, sondern sie gelangen auch zu einem besseren Verständnis der physikalischen Inhalte und der Verknüpfung von Theorie und Praxis.

Die trotz der kleinschrittigen Anleitung empfundene größere Selbstständigkeit wird auf zwei Aspekte zurück geführt: Durch die Kleinschrittigkeit und den allmählichen Anstieg der Anforderungen erleben die Studierenden häufiger Erfolg und fühlen sich subjektiv kompetenter. Gleichzeitig werden hierdurch Erklärungen der Aufgabenstellungen durch die Betreuer praktisch überflüssig. Die Betreuerinterventionen erfolgen jetzt vermehrt in Zusammenhang mit der Interpretation der Messergebnisse [13].

Videoanalysen ergänzen die Evaluation des neuen Praktikums. In den Feldstudien konnte, wie in den Vorstudien zur Lernerperspektive, nur die Experimentalphase videodokumentiert werden, weil die Theoriephase in die Vor- bzw. Nachbereitung zuhause ausgelagert war. Die Experimentalphase wurde bei 8 Studierenden kategoriengeleitet analysiert und die Ergebnisse wurden mit denen der Untersuchungen am alten Praktikum (12 Studierende) in Beziehung gesetzt.

Die Videodaten wurden in einem 30-Sekunden-Zeitraster bezüglich der Handlungen und Verbalisierungen analysiert. Die Auswertung der Verbalisierungen zeigt, dass die durch die didaktische Strukturie-

rung intendierten Verbalisierungen zu physikalischen und medizinischen Inhalten und speziell deren Verknüpfung gegenüber dem alten Praktikum um ein Vielfaches gesteigert werden konnten. Der mittlere Zeitanteil steigt von ca. 2 % auf ca. 9 %. Die Betrachtung der zeitlichen Zusammenhänge zwischen Handlungen und Verbalisierungen zeigt, dass diese zusätzlichen Verbalisierungen im neuen Praktikum fast ausschließlich im Kontext der Auswertung und initiiert durch die Fragen in der Anleitung auftreten [6].

Die Analyse der Handlungen wird hier ausführlicher vorgestellt, weil sie bei der folgenden Evaluation der hypermedialen Lernumgebung aufgegriffen werden konnte. Bei den Handlungen wurden 5 Kategorien unterschieden:

- Anweisungen (Handlungen zur Klärung der Aufgabenstellung)
- Aufbau (der Messapparaturen)
- Messen
- Auswertung (Datenverarbeitung ebenso wie Interpretation)
- Sonstiges.

Das Analyseverfahren und das Kategoriensystem basieren auf der im Rahmen eines EU-Projektes entwickelten und erprobten CBAV-Methode [14], die Kategorien wurden jedoch entsprechend der aktuellen Zielgruppe und Fragestellung adaptiert. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Handlungen auf diese Kategorien im Vergleich. Zu den Mittelwerten sind die Standardabweichungen angegeben.

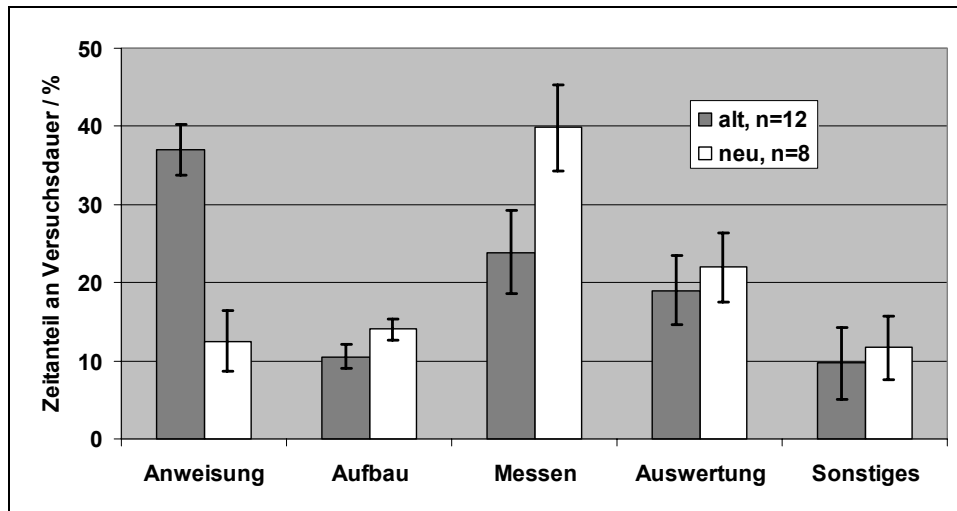


Abbildung 2: Handlungsanteile im alten (grau) und neuen (weiß) Praktikum im Vergleich. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichungen an.

Gegenüber dem alten Praktikum zeigt sich eine deutliche Verschiebung der Handlungen von der Klärung der Aufgabenstellung (Kategorie Anweisungen mit vorher 37 %, vgl. Lernerperspektive) zur Messung. Im Bereich der Auswertung besteht bezüglich des Zeitanteils kein Unterschied. Detailanalysen [6] zeigen jedoch qualitative Unterschiede in der Einbettung und inhaltlichen Gestaltung der Auswertungsphasen:

Beim alten Praktikum treten die Auswertungsphasen bei Leerlauf (warten auf den Beginn eines weiteren Versuchsteils) oder im Anschluss an alle Messungen (warten auf das offizielle Praktikumsende) auf. Die Studierenden verarbeiten die Messergebnisse praktisch ausschließlich rechnerisch.

Beim neuen Praktikum treten die Auswertungsphasen unmittelbar im Anschluss an die Messphasen auf und beziehen sich inhaltlich auf die vorangegangene Messphase. Die Studierenden formulieren vorwiegend die gemachten Beobachtungen und interpretieren die erhaltenen Messergebnisse.

Die Ergebnisse der Videoanalysen zeigen, dass das neue Praktikum gemessen an den aus Fachlicher Perspektive und Lernerperspektive gesetzten Anforderungen eine erhebliche Verbesserung gegenüber dem alten Praktikum darstellt. Dieses Ergebnis wurde durch einen iterativen Entwicklungsprozess erreicht. Die Ergebnisse der Videoanalysen und Befragungen zu Zwischenstufen der Entwicklung konnten dabei zur Weiterentwicklung des neuen Praktikums genutzt werden.

## 5.2 Vergleich Praktikum - Hypermedia

Auch die Entwicklung der hypermedialen Lernumgebung wurde durch begleitende Evaluation optimiert. Wie bei der Praktikumsentwicklung werden hier nur die Ergebnisse der abschließenden Iterati-

onsstufe vorgestellt. Ergebnisse einer ersten Stufe sind in [15] dargestellt.

Wie bei der Praktikumsentwicklung bilden Videoanalysen der Handlungen einen Schwerpunkt der Evaluation. Bei der hypermedialen Lernumgebung sind die Theoriephasen und die Experimentalphasen unter didaktischen Aspekten verzahnt. Eine Beschränkung der Videoanalysen auf die Experimentalphasen ist daher nicht sinnvoll möglich. Allein aus diesem Grund musste die Evaluation im Rahmen von Laborstudien „vor Ort“ stattfinden. Um einen Vergleich mit dem Praktikum zu ermöglichen, mussten auch hier die Experimentalphase und die Theoriephase videodokumentiert werden. Im Rahmen der Studie wurde dies so realisiert, dass sich an die Experimentalphase (Versuchsdurchführung und Auswertung) im Praktikumsraum eine Theoriephase (ohne Zugriff auf die Experimente) in einem Seminarraum anschloss. Die Probanden, die mit der hypermedialen Lernumgebung arbeiteten, verbrachten die gesamte (und insgesamt gleiche) Zeit im PC-Raum mit der Bearbeitung des inhaltlich äquivalenten Moduls. In beiden Probandengruppen wurden also sowohl Experimentalphase(n) als auch Theoriephase(n) videodokumentiert [16].

Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit weiterer Kategorien. In den Theoriephasen kommen zur Auswertung hinzu:

- Theorie (Bearbeitung der Erläuterungen zum theoretischen Hintergrund),
- Aufgaben (Bearbeitung der Übungs- und Transferaufgaben in Anleitung bzw. Lernumgebung).

Um die unterschiedlichen Inhalte der Auswertungsphasen schon in den Ergebnissen der kategoriengeleiteten Analyse differenzieren zu können, wurde die Kategorie Auswertung aufgespaltet:

- Datenverarbeitung (Rechnungen, Diagrammerstellung),
- Interpretation (inklusive Transfer).

Die Kategorien Messen und Sonstiges bleiben erhalten und Anweisung und Aufbau werden zusammengefasst.

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse für je 6 Probanden beider Gruppen (Praktikum und Hypermedia) im Vergleich.

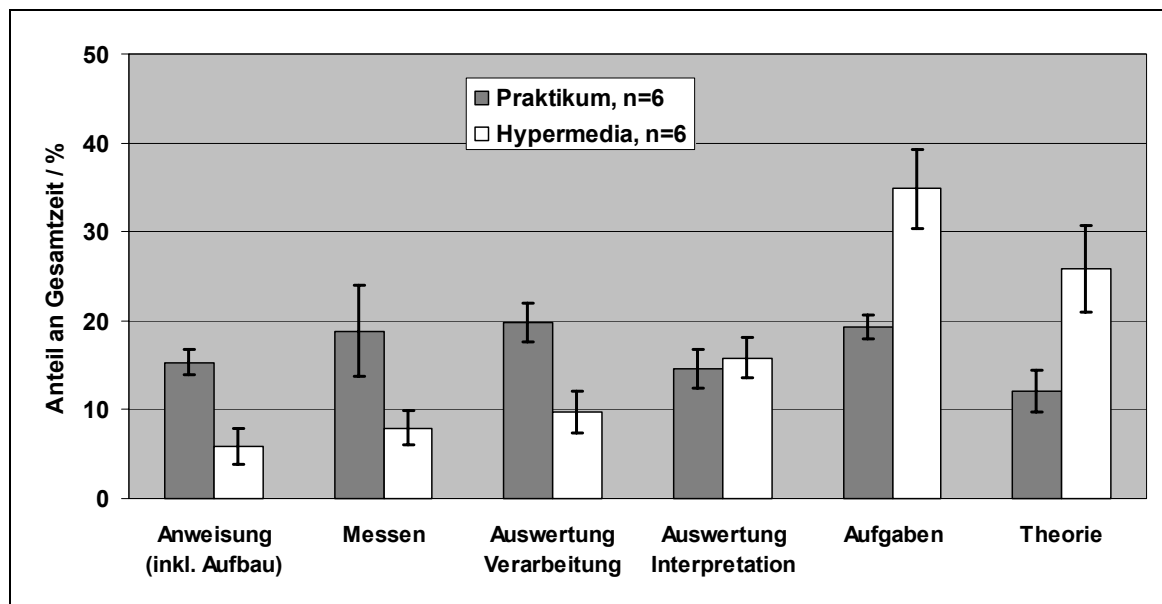


Abbildung 3: Handlungsanteile in den Gruppen Praktikum (grau) und Hypermedia (weiß) im Vergleich. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichungen an.

Der Vergleich der beiden Gruppen in Abbildung 3 zeigt eine deutliche Verschiebung zwischen den Kategorien Anweisung, Messen und Datenverarbeitung einerseits sowie Aufgaben und Theorie andererseits. Der Anteil der Kategorie Interpretation bleibt gleich. D.h. die Studierenden gelangen mit Hilfe der hypermedialen Lernumgebung mit geringerem Zeitaufwand für Aufbau, Messung und Datenverarbeitung zu Ergebnissen, die sie bezüglich physikalischer und medizinischer Inhalte interpretieren. Die hier eingesparte Zeit verwenden Sie für die Beschäftigung mit den theoretischen Grundlagen und insbesondere für die Bearbeitung von Aufgaben, in denen das erworbene Wissen in physikalischen und medizinischen Kontexten anzuwenden ist. Ein quantitativer Vergleich mit den Daten aus Abbildung 2 soll hier nicht angestellt werden. Ein solcher Vergleich müsste zum einen berücksichtigen, dass sich die angegebenen Prozentwerte auf andere Gesamtzeiten beziehen: in Abbildung 2 nur auf die Experimentalphase (ca. 4 Stunden), in Abbildung 3 auf Experimental- und Theoriephasen (ca. 6 Stunden). Zum anderen finden sich Auswertungsphasen sowohl in Theorie- wie Experimentalphase, sind also grundsätzlich nicht vergleichbar.

Im Gegensatz zur Praktikumsevaluation standen bei dem Vergleich Praktikum und Hypermedia nicht die Videoanalysen im Zentrum. Im Rahmen der Laborstudie wurden umfangreiche Vor- und Nachtests zur Ermittlung der Lernwirksamkeit durchgeführt. Die Forschungsfragen beziehen sich auf die zentrale

Zielsetzung „kennen und anwenden können“ und lauten im Detail (vgl. [16] und [18]):

FF 1: Können die Studierenden die fachlichen Inhalte auf Richtigkeit hin bewerten?

FF 2: Können die Studierenden die fachlichen Inhalte auf Nachfrage formulieren?

FF 3: Können die Studierenden die fachlichen Inhalte auf Nachfrage anwenden?

FF 4: Können die Studierenden die fachlichen Inhalte ohne Vorgaben formulieren?

Daten zu FF 4 wurden im Rahmen des Nachtests mit Hilfe von Concept Maps erhoben. Um eine Beeinflussung der Studierenden durch vorgegebene Fachbegriffe zu vermeiden, wurde das Concept Map vor der Bearbeitung der übrigen Testteile angefertigt. Außerdem wurden weder Relationen noch Begriffe vorgegeben. Dieses Verfahren ist angelehnt an das „Own Word Mapping“ nach Sumfleth und Tiemann [17]. Die geringen Vorgaben ziehen eine aufwändigere Auswertung nach sich. Die Begriffe und Relationen müssen im Nachhinein standardisiert werden, um eine vergleichende Analyse zwischen den Concept Maps zu ermöglichen. Auf die Auswertungsmethoden und die Ergebnisse wird in diesem Beitrag nicht näher eingegangen (vgl. [18]).

Zur Beantwortung von FF 1 wurde ein Aussagentest durchgeführt. Der Test umfasst 50 Aussagen zu den Inhalten der Intervention, die als richtig oder falsch zu bewerten waren. Er wurde in identischer Form als Vor- und Nachtest durchgeführt, so dass der Lernzuwachs ermittelt werden konnte. Der Vortest diente zudem zur Einteilung der Probanden auf die zwei

Gruppen (siehe unten). Die hohe Ratewahrscheinlichkeit von 50 % wird durch die große Zahl an Items kompensiert. Sie ist in der Ergebnisdarstellung in Abbildung 4 abgezogen.

Zur Beantwortung von FF 2 und FF 3 wurden im Rahmen des Nachtests offene Aufgaben zur Formulierung physikalischer Inhalte und deren Anwendung im physikalischen und medizinischen Kontext gestellt. Die Bearbeitung der offenen Aufgaben im Vortest hatte sich in Pilotstudien als nicht sinnvoll erwiesen. Die erreichten Punktzahlen sind zu gering, um zur Gruppeneinteilung herangezogen zu werden. Zur Erweiterung der Basis für die Gruppeneinteilung wurde vor der Intervention zusätzlich zum Aussagetest ein Test zu mathematischen Grundlagen durchgeführt. Die Testaufgaben, vorwiegend veröffentlichte TIMSS-Aufgaben in MC-Form, beziehen sich auf die mathematischen Vorkenntnisse, die für die Bearbeitung der Inhalte notwendig sind, z.B. Bruchrechnung, Prozentrechnung und die Ablesung aus Diagrammen.

Auf Basis des Grundlagentests und des Aussagentests wurden die insgesamt 56 Probanden so eingeteilt, dass beide Interventionsgruppen (Praktikum mit 27 Probanden und Hypermedia mit 29 Probanden) möglichst gleiche Mittelwerte und Standardabweichungen in der erreichten Punktzahl aufweisen.

Abbildung 4 zeigt die in den einzelnen Testteilen erreichten mittleren Punktzahlen. Entsprechend der Einteilung sind die Ergebnisse in Grundlagentest und Aussagen-Vortest für beide Gruppen praktisch gleich. In den offenen Teilen des Nachtests erreicht die Gruppe Hypermedia mit einer um knapp 10 % höheren mittleren Punktzahl ein tendenziell besseres Ergebnis. Sämtliche Unterschiede sind jedoch statistisch nicht signifikant. Als Fazit kann man festhalten, dass die hypermediale Lernumgebung im inhaltlichen Bereich die gleiche Lernwirksamkeit erzielt wie das neue Praktikum. Sie lässt sich jedoch ungleich leichter und kostengünstiger an andere Standorte übertragen als das Praktikum. Eine detaillierte Darstellung der verwendeten Tests und Auswertungsmethoden findet sich in [16] und [18].

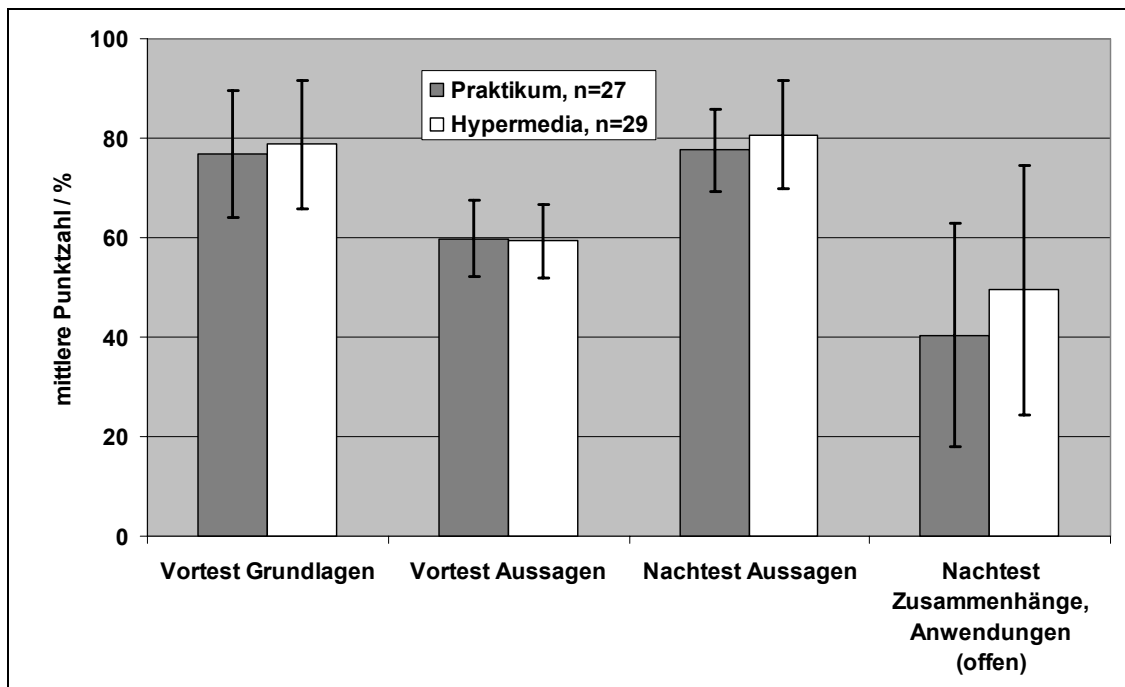


Abbildung 4: Testergebnisse der Gruppen Praktikum (grau) und Hypermedia (weiß) im Vergleich. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichungen an.

## 6. Einsatz der Ergebnisse

Das neue Praktikum und die hypermediale Lernumgebung sind Ergebnisse iterativer Entwicklungsprozesse, basierend auf empirischer Forschung, mit begleitender Evaluation. Hierbei wurde zum einen ein Prozess erprobt: die didaktische Rekonstruktion komplexer Lernumgebungen. Zum anderen wurden mit den einzelnen Praktikumsversuchen und den Modulen der hypermedialen Lernumgebung zahlreiche Produkte entwickelt.

Nicht zuletzt die positiven Evaluationsergebnisse haben dazu geführt, dass beides an anderen Standorten eingesetzt wird.

### 6.1 Einsatz der Methodik im Hochschulbereich

Die Methodik der didaktischen Rekonstruktion adressatenspezifischer Praktika wurde in der Folge angewandt bei der Entwicklung eines Physikpraktikums für Studierende der Physik an der HHU Düsseldorf [3] und eines Physikpraktikums für Studie-

rende der Pharmazie an der LMU München [19]. Sie wird derzeit außerdem eingesetzt bei der Entwicklung Physikalischer Praktika für Studierende der Biologie an den Standorten Düsseldorf und Aachen [21].

## 6.2 Einsatz der Produkte im Hochschulbereich

Die Produkte der Praktikumsentwicklung (Versuche, Anleitungen und didaktisches Konzept) wurden in unterschiedlichem Umfang an zahlreichen anderen Hochschulen übernommen (Aachen, Bochum, Erlangen, Hannover, Jena, Magdeburg, München, Ulm, Zürich). Die hypermediale Lernumgebung wird in Aachen sowie Greifswald eingesetzt. An diesen Standorten führen alle Studierenden der Human- und Zahnmedizin einen bzw. zwei Praktikumsversuche ausschließlich mit Hilfe der hypermedialen Lernumgebung durch.

In Düsseldorf stehen sowohl die Realexperimente als auch die Module der hypermedialen Lernumgebung zur Verfügung. Die Studierenden haben hier die Möglichkeit, sich je nach Lerntyp und Versuchsthema für eines der beiden Medien zu entscheiden.

An allen drei Standorten, an denen die hypermediale Lernumgebung bislang als Praktikumsersatz eingesetzt wird, findet sie durchweg positive Resonanz bei den Studierenden [20].

Einen weiteren Einsatzbereich findet die hypermediale Lernumgebung im Rahmen des Physikpraktikums für Studierende der Biologie. In Aachen wurde hierzu bislang ein Modul für diese Lerngruppe adaptiert und im Praktikum eingesetzt. In Planung ist ein weiterer Ausbau dieses Einsatzes im Rahmen der Praktikumsvorbereitung [21].

## 7. Transfer in den Schulbereich

Die für das Praktikum entwickelten Realexperimente eignen sich aufgrund ihrer transparenten medizinischen und zumeist physiologischen Bezüge zum überwiegenden Teil sehr gut für den fachübergreifenden und fächerverbindenden Unterricht Physik/Biologie. Sie ergänzen das in diesem Bereich meist noch sehr lückenhafte Angebot der Lehrmittelhersteller. Allerdings muss die Einsatzform hier auf die andere Lerngruppe übertragen werden.

Die grundsätzliche Eignung der Experimente für den fachübergreifenden und fächerverbindenden Unterricht war Anlass für eine gemeinsame Initiative der Physikalischen Grundpraktika der HHU Düsseldorf mit zwei umliegenden Studienseminaren in Krefeld und Neuss: „Lehrerausbildung im Physikalischen Praktikum“, kurz: LAPP ([22], [23], [24]).

LAPP wendet sich primär an Referendare und Referendarinnen mit den Fächern Physik oder Biologie, aber auch an interessierte Lehrerinnen und Lehrer sowie Studierende des Lehramts. Der Kern des Angebotes sind Workshops zum Einsatz der Praktikumsversuche im fachübergreifenden und fächerverbindenden Unterricht Physik/Biologie. Diese Workshops sind in den beteiligten Seminargruppen fester Bestandteil der Ausbildungsprogramme und decken die Ausbildung zum fachübergreifenden und fächerverbindenden Unterricht ab. Sie finden im Studienseminar und an der Universität statt:

In einer ersten Sitzung im Seminar werden die für den Workshop ausgewählten Experimente vorgestellt. Anschließend werden von den Referendaren und Referendarinnen die Versuche im Physikpraktikum durchgeführt. Dabei stehen ihnen nur die Versuchsaufbauten und die Anleitungen für die Medizinstudierenden zur Verfügung. Die Aufbereitung für den unterrichtlichen Einsatz ist Ausbildungsinhalt und Gegenstand der anschließenden Phase. Wichtig ist, dass die Versuchsdurchführung und nach Möglichkeit auch die anschließende Aufbereitung der Inhalte in fachlich gemischten Gruppen erfolgt, damit ein fachlicher Austausch erfolgt und die fachübergreifende Zusammenarbeit frühzeitig erprobt wird. Im Anschluss an die Workshops werden in Kleingruppen Konzepte für den Unterrichtseinsatz der Versuche erarbeitet und teilweise auch bereits erprobt. In einer abschließenden Seminarsitzung werden diese Konzepte und ggf. erste Einsatzerfahrungen vorgestellt und diskutiert. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer erhalten daraufhin die Möglichkeit, die Versuche für den Unterricht in der Schule auszuleihen oder im Rahmen von Exkursionen Schulklassen selbstständig daran zu unterrichten.

Neben den Realexperimenten des Praktikums bietet die hypermediale Lernumgebung zahlreiche multimediale Elemente wie Interaktive Bildschirmexperimente, Videos, Simulationen und Animationen, die auch im Schulunterricht genutzt werden können. In einer Dissertation wird die Lernwirksamkeit der verschiedenen Lernmedien vergleichend untersucht [25], [26]. Unterrichtsgegenstand ist die Optik: zum einen die optischen Phänomene, die am realen Augenmodell bzw. dem entsprechenden Interaktiven Bildschirmexperiment zu beobachten sind, zum anderen deren mathematische Modellierung mit Hilfe von Strahlengangskonstruktionen, die real mit Papier und Bleistift bzw. virtuell mit interaktiven Simulationen angefertigt werden können. In 4 Szenarien werden diese Lernmedien wie in Abbildung 5 dargestellt kombiniert.



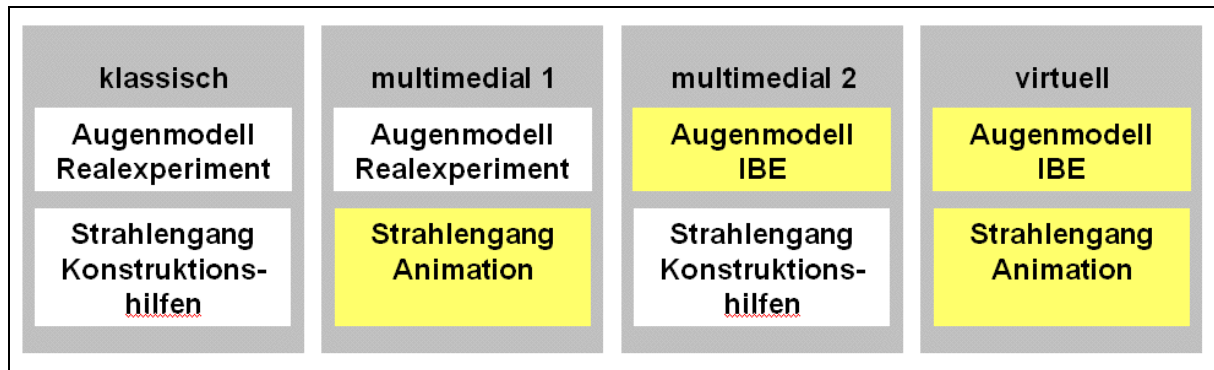


Abbildung 5: Lernmedien und Unterrichtsszenarien für die Vergleichsstudie zum schulischen Einsatz

## 8. Dank

Die hier vorgestellten Projekte waren zum überwiegenden Teil angesiedelt bei den Physikalischen Grundpraktika der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf (Dieter Schumacher).

Die Praktikumsentwicklung und -evaluation war ein Kooperationsprojekt mit dem Institut für Didaktik der Physik der Universität Bremen (Stefan von Aufschnaiter). Sie wurde gefördert vom Land NRW im Rahmen des Programms „Qualität der Lehre“ sowie von den medizinischen Einrichtungen der Heinrich-Heine-Universität.

Die Entwicklung der hypermedialen Lernumgebung wurde von der DFG im Rahmen der Bibliotheksentwicklung gefördert. Kooperationspartner war hier die Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf (Irmgard Siebert, Jochen Riks).

Die Evaluation der hypermedialen Lernumgebung erfolgte zum überwiegenden Teil in Kooperation mit dem Institut für Didaktik der Chemie der Universität Duisburg Essen (Elke Sumfleth) und unter Förderung durch das Land NRW (Wirksamkeitsforschung). Sie war Gegenstand der Dissertation von Monika Hüther.

Das Projekt LAPP ist eine Kooperation der Physikalischen Grundpraktika sowie der Studienseminare Krefeld (Stephan Stein) und Neuss (Wolfgang Treffeisen).

Die Untersuchungen zur Lernwirksamkeit der verschiedenen Lernmedien im Unterricht werden in Kooperation mit dem Institut für Didaktik der Physik (Horst Schecker) durchgeführt und ist Gegenstand des Dissertationsvorhabens von Claus Brell.

Allen Förderern, den hier aufgeführten Beteiligten sowie zahlreichen Hilfskräften und Staatsexamenskandidaten sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

## 9. Literatur

- [1] Kattmann, U. & Gropengießer, H. (1996). Modellierung der Didaktischen Rekonstruktion. In: Duit, R. & Rhöneck, C. v (Hrsg.). Lernen in den Naturwissenschaften. Kiel: IPN an der Universität Kiel, 180-204.
- [2] Welzel, M.; Haller, K.; Bandiera, M.; Hammelev, D.; Kouramas, P.; Niedderer, H.; Paulsen, A.;
- [3] Neumann, K. (2005). Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker. In: Niedderer, H. & Fischler, H. (Hrsg.). Studien zum Physiklernen, Bd. 38, Berlin: Logos
- [4] Theyßen, H. (2000). Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Dissertation im Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen. In: Niedderer, H. & Fischler, H. (Hrsg.). Studien zum Physiklernen, Bd. 9, Berlin: Logos
- [5] Heise, H. & Mittner, J. (1975). Über die elementarmathematischen Kenntnisse von Medizinstudenten der Anfangssemester und die Konsequenzen. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 28 (7), 436-438.
- [6] Theyßen, H., von Aufschnaiter, S. & Schumacher, D. (2001). Kategoriegeleitete Analyse und Komplexitätsanalyse von Lernprozessen im Physikalischen Praktikum. In: von Aufschnaiter, S. & Welzel, M. (Hrsg.). Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lernprozessen. Münster: Waxman, 101-114.
- [7] von Aufschnaiter, C. (1999). Bedeutungsentwicklungen, Interaktionen und Situatives Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben. Fallstudien zu Bedeutungsentwicklungsprozessen von Studierenden und Schüler(inne)n in einer Feld- und einer Laboruntersuchung zum Themengebiet Elektrostatik und Elektrodynamik. Dissertation im Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen. In: Niedderer, H. & Fischler, H. (Hrsg.). Studien zum Physiklernen, Bd. 3, Berlin: Logos
- [8] Theyßen, H. (2002): Physik für Mediziner - Didaktisches Konzept und inhaltliche Umsetzung.

- In: Irmgard Siebert (Hrsg.). Schriften der Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf, Band 34. Düsseldorf, 7-22. (<http://sun.ub.uni-duesseldorf.de/festschriften/mm-projekt.pdf>, Stand 18.10.2005)
- [9] Theyßen, H. & Schumacher, D. (2004): Umsatzbestimmung bei einem Lebewesen - Ein Experiment für den Physikunterricht. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule (Heft 8/53), 35-40
- [10] Theyßen, H. & Schumacher, D. (2004b): Experimente zum Verständnis der Entstehung des Elektrokardiogramms. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule (Heft 8/53), 7-12.
- [11] Schumacher, D. & Theyßen, H. (2000). RC-Schaltungen als einfache Nervenmodelle. MNU 53 (3), 164-170.
- [12] Schumacher, D. & Theyßen, H. (1999): Entwicklung eines Physiologie-spezifischen Physikpraktikums für Studierende der Medizin. Physiologie: Forschung / Lehre / Öffentlichkeit, 13, Seite 7-11.
- [13] Theyßen, H. (2005): Didaktische Rekonstruktion eines Physikpraktikums für Medizinstudierende. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 11, 57-27.
- [14] Niedderer, H., Tiberghien, A., Buty, C., Haller, K., Hucke, L., Sander, F., Fischer, H., Schecker, H., Aufschnaiter, S. v. & Welzel, M. (1998). Category Based Analysis of Videotapes from Labwork (CBAV) - Methodes and Results from Four Case-Studies. Working Paper 9 zum EU-Projekt Labwork in Science Education.
- [15] Hüther, M. (2002). Educational Software versus Labwork – A Study in Physics Education of Medicine Students. In: Krnel, D. (Hrsg.). Proceedings of the Sixth ESERA (European Science Education Research Association) Summer-school. Ljubljana: Faculty of Education, University of Ljubljana, 151-156.
- [16] Hüther, M. & Theyßen, H. (2005): Vergleichende Untersuchung zur Lernwirksamkeit einer hypermedialen Lernumgebung und eines Praktikums. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 11, 117-129.
- [17] Sumfleth, E. & Tiemann, R. (2000), Own Word Mapping - Ein alternativer Zugang zu Schülervorstellungen. In: Fischler, H. & Peuckert, J., Hg., Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie. In: Niedderer, H. & Fischler, H. (Hrsg.). Studien zum Physiklernen, Bd. 38, Berlin: Logos, 179-204.
- [18] Hüther, M. (2005): Evaluation einer hypermedialen Lernumgebung zum Thema Gasgesetze - Eine Studie im Rahmen des Physikpraktikums für Studierende der Medizin. Dissertation am Fachbereich Chemie der Universität Duisburg-Essen, Campus Essen.
- [19] Paatz, R. (2004): Zum Konzept für ein Physik-Praktikum für Studierende der Pharmazie. In: Nordmeier, V; Oberländer A. (Hrsg.): Didaktik der Physik. Beiträge zur Frühjahrstagung Düsseldorf 2004. Berlin: Lehmanns-Media.
- [20] Theyßen, H. (2005): Physik für Mediziner - Einsatzbeispiele und Ergebnisse. In: Anja Pitton (Hrsg.): Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 25. Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung. Münster: LIT Verlag, 451-453.
- [21] Borawski, H., Heinke, H. & Theyßen, H. (2005): Entwicklung eines Physikpraktikums für Studierende der Biologie. In: Nordmeier, V; Oberländer A. (Hrsg.): Didaktik der Physik. Beiträge zur Frühjahrstagung Berlin 2005. Berlin: Lehmanns-Media..
- [22] Schumacher, D., Stein, S., Theyßen, H. & Treffeisen, W. (2001). Lehrerbildung zu fachübergreifenden und fächerverbindenden Unterrichtsinhalten. Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 54/4, 250.
- [23] Homepage der Initiative LAPP: <http://www.gpphy.uni-duesseldorf.de/LAPP/> (Stand 18.10.2005)
- [24] Treffeisen, W. (2004): Zwischen Fachsystematik und interdisziplinärer Wirklichkeit. Fächerverbindende Ansätze für einen zeitgemäßen Physikunterricht. In: Nordmeier, V; Oberländer A. (Hrsg.): Didaktik der Physik. Beiträge zur Frühjahrstagung Düsseldorf 2004. Berlin: Lehmanns-Media.
- [25] Brell, C., Schecker, H., Schumacher, D. & Theyßen, H. (2004): Auswirkungen verschiedener Lernmedien auf den Lernerfolg. In: Nordmeier, V; Oberländer A. (Hrsg.): Didaktik der Physik. Beiträge zur Frühjahrstagung Düsseldorf 2004. Berlin: Lehmanns-Media.
- [26] Brell, C., Schecker, H., Schumacher, D. & Theyßen, H. (2005): Computer vs. Realexperiment - elektronische Medien als Garant für den Lernerfolg? In: Anja Pitton (Hrsg.): Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 25. Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung. Münster: LIT Verlag, 442-444.