

# Chancen und Potenziale web-basierter Aufgaben im physikalischen Praktikum

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität zu Köln  
vorgelegt von

Marga Kreiten  
aus Heinsberg

Berichterstatter: Prof. Dr. A. Schadschneider  
Prof. Dr. A. Bresges  
Prof. Dr. W. Müller

Tag der mündlichen Prüfung: 8. Mai 2012

# Kurzzusammenfassung

Der erhoffte Lernerfolg experimenteller Übungen bleibt häufig hinter den Erwartungen zurück. Ziel dieser Arbeit ist es, Handlungsoptionen theoriegeleitet aufzudecken und zu diskutieren, die den Lernprozess der Studierenden beim Experimentieren unterstützen. Hierzu wurden das Vorwissen der Studierenden und die Zielsetzungen der experimentellen Übungen unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der pädagogischen Psychologie, der neuronalen Forschung und der fachdidaktischen Forschung analysiert. Zur Lösung der bestehenden Probleme wurden in der Versuchsvorbereitung web-basierte Aufgaben eingesetzt, die nach herausgearbeiteten Kriterien entwickelt wurden.

In insgesamt drei unterschiedlichen empirischen Untersuchungsschwerpunkten konnte die lernförderliche und kognitiv aktivierende Funktion von web-basierten Aufgaben bestätigt werden: Zum Beispiel belegt eine Studie im Versuchsgruppen-Kontrollgruppen-Design, dass Studierende, die neben den Versuchsunterlagen web-basierte Aufgaben bearbeiteten, in drei von vier Themengebieten ein signifikant besseres fachliches Verständnis der Inhalte zeigten.

Im Ergebnis werden in dieser Arbeit am Beispiel der Implementierung von web-basierten Aufgaben in die Struktur experimenteller Übungen exemplarisch die Chancen und Potenziale der Verbindung von Präsenzlehre und E-Learning-Elementen deutlich gemacht.

## Abstract

Quite often the learning outcomes of laboratory science courses falls short of expectations. The purpose of this thesis is to determine and evaluate alternative strategies to foster the learning process of students in laboratory science courses of physics at the university. The prior knowledge of students and the objectives of the laboratory science course were analyzed using a theoretical framework derived from educational psychology, neuroscience, and theories of science education. As a solution to existing problems, web-based exercises were introduced in the course preparation. The development of the exercises followed certain criteria defined by the prior analysis.

Three different studies were conducted to prove the supportive and cognitively activating role of web-based exercises for preparation. One study showed how students, using web-based exercises in support of conventional course readers, scored significantly better than a control group in three out of four topic areas.

Using the example of web-based exercises in laboratory science courses, this thesis shows the general opportunities of blended learning environments in higher science education.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>1. Theoretischer Teil</b>	<b>10</b>
1.1. Physikalische Praktika in Lehramtsstudiengängen . . . . .	10
1.1.1. Der Aufbau des Physikstudiums . . . . .	10
1.1.2. Ziele des Experimentierens . . . . .	11
1.1.3. Modelle der Erkenntnisgewinnung beim Experimentieren . . . . .	12
1.1.4. Kritik an der bestehenden Durchführung der Praktika und Zielsetzung der Arbeit . . . . .	13
1.2. Lerntheorien . . . . .	15
1.2.1. Behaviorismus . . . . .	15
1.2.2. Kognitivismus . . . . .	16
1.2.3. Konstruktivismus . . . . .	17
1.2.4. Zusammenfassung: Vergleich der lernpsychologischen Strömungen .	19
1.2.5. Welche Lerntheorie ist für experimentelle Übungen am geeignetsten?	20
1.3. Bedingungen des Wissenserwerbs . . . . .	20
1.3.1. Kognitive Belastung beim menschlichen Lernen . . . . .	21
1.3.2. Das Arbeitsgedächtnis . . . . .	21
1.3.3. Das Langzeitgedächtnis . . . . .	22
1.3.4. Beziehung zwischen Sensorischem Register, Arbeits- und Langzeitgedächtnis . . . . .	23
1.3.5. Die Bedeutung des Vorwissens für den Lernerfolg . . . . .	23
1.3.6. Fehlerhaftes Vorwissen (Fehlkonzepte) . . . . .	25
1.3.7. Neurologische Grundlagen des Lernens . . . . .	28
1.3.8. Gestaltung von Lernprozessen . . . . .	33
1.4. Zusammenfassung . . . . .	35
<b>2. Die experimentellen Übungen für Lehramtsstudierende an der Universität zu Köln</b>	<b>37</b>
2.1. Analyse der Rahmenbedingungen für die experimentellen Übungen . . . . .	37
2.1.1. Studienbedingte Rahmenbedingungen . . . . .	37
2.1.2. Organisatorische Rahmenbedingungen . . . . .	39

2.2.	Beschreibung der bestehenden experimentellen Übungen . . . . .	39
2.2.1.	Ablauf der experimentellen Übungen . . . . .	39
2.2.2.	Fachliche Inhalte der Versuche . . . . .	39
2.2.3.	Kritik an den bestehenden experimentellen Übungen aus Studieren- densicht . . . . .	40
2.2.4.	Kritik an den bestehenden experimentellen Übungen aus Dozenten- sicht . . . . .	42
2.3.	Einschätzung des Vorwissens der Studierenden . . . . .	43
2.4.	Ziele der experimentellen Übungen . . . . .	43
2.4.1.	Fachliche Ziele der experimentellen Übungen . . . . .	43
2.4.2.	Lehramtsspezifische Ziele . . . . .	44
2.5.	Zusammenfassung . . . . .	46
<b>3.</b>	<b>Umgestaltung der experimentellen Übungen</b>	<b>47</b>
3.1.	Formulierung der Zielsetzungen zur Umgestaltung der experimentellen Übun- gen . . . . .	48
3.2.	Mögliche Lösungsstrategien zur Verwirklichung der Zielsetzungen . . . . .	49
3.2.1.	Potenziale von Aufgaben für Lernprozesse . . . . .	50
3.2.2.	Potenziale elektronisch gestellter Aufgaben und Lernplattformen . . . . .	60
3.3.	Entscheidung und Umsetzung . . . . .	63
3.3.1.	Inhaltliche und organisatorische Veränderungen . . . . .	63
3.3.2.	Entscheidung über Einsatz von Aufgaben . . . . .	65
3.3.3.	Ansätze zur Entwicklung von elektronischen Aufgaben . . . . .	69
3.3.4.	Möglichkeiten von Aufgaben-Feedback . . . . .	77
3.4.	Evaluation: Studierendenbefragung . . . . .	81
<b>4.</b>	<b>Untersuchungen</b>	<b>86</b>
4.1.	Die Effektivität elektronisch gestellter Aufgaben zur Vorbereitung auf ex- perimentelle Übungen (Vorstudie) . . . . .	87
4.1.1.	Hypothese . . . . .	88
4.1.2.	Methode . . . . .	88
4.1.3.	Ergebnisse . . . . .	95
4.2.	Die Effektivität elektronisch gestellter Aufgaben zur Vorbereitung auf ex- perimentelle Übungen (Hauptstudie) . . . . .	101
4.2.1.	Hypothese . . . . .	101
4.2.2.	Methode . . . . .	102
4.2.3.	Ergebnisse . . . . .	106
4.3.	Veränderung von Vorstellungen im Bereich Elektrizität . . . . .	116
4.3.1.	Entwicklung eines Versuches zu den “Kirchhoffschen Gesetzen” im Rahmen der experimentellen Übungen . . . . .	117
4.3.2.	Hypothese . . . . .	121

4.3.3. Methode . . . . .	122
4.3.4. Ergebnisse . . . . .	129
4.4. Verbindung von realen Experimenten und Computersimulationen . . . . .	137
4.4.1. Entwicklung des Versuchs “Der schiefe Wurf” . . . . .	142
4.4.2. Ziel und Hypothese . . . . .	147
4.4.3. Methode . . . . .	147
4.4.4. Ergebnisse . . . . .	151
<b>5. Zusammenfassung &amp; Ausblick</b>	<b>156</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>163</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>177</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>181</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>182</b>
<b>Anhang</b>	<b>183</b>
A. Umfragen . . . . .	183
A.1. Vor der Umstrukturierung: Kritik an den bestehenden experimen- tellen Übungen aus Studierendensicht . . . . .	183
A.2. Nach der Umgestaltung: Kritik an den bestehenden experimentellen Übungen aus Studierendensicht . . . . .	187
A.3. Darstellung der Umfrageergebnisse in ILIAS . . . . .	190
A.4. Vergleich der Umfrage vor und nach der Umgestaltung . . . . .	191
A.5. Umfrage zum Handbuch “Entwicklung von Aufgaben in den Natur- wissenschaften” . . . . .	192
B. Fachliche Inhalte . . . . .	193
B.1. Inhalte der Grundlagenvorlesung . . . . .	193
B.2. Inhalte der experimentellen Übungen für Anfänger . . . . .	195
B.3. Kompetenzmodell für die experimentellen Übungen . . . . .	197
C. Darstellung der Testergebnisse in ILIAS . . . . .	198
C.1. Für die Studierenden . . . . .	198
C.2. Für die Dozenten . . . . .	198
D. Handbuch: Entwicklung von Aufgaben in den Naturwissenschaften . . . . .	200
E. Unterlagen zu den Untersuchungen . . . . .	210
E.1. Informationsblätter . . . . .	210
E.2. Personenbezogene Daten . . . . .	212
E.3. Aufgabenblätter . . . . .	212
E.4. Zeitplan . . . . .	213
E.5. Konzepttest “Kirchhoffsche Gesetze” . . . . .	214

## *Inhaltsverzeichnis*

E.6.	Konzepttest "Schiefer Wurf" . . . . .	220
E.7.	Beispielaufgaben . . . . .	226
F.	Ausgabe der Statistiken . . . . .	226
F.1.	1. Untersuchungsschwerpunkt . . . . .	226
F.2.	2. Untersuchungsschwerpunkt . . . . .	230
F.3.	3. Untersuchungsschwerpunkt . . . . .	231
<b>Erklärung</b>		<b>234</b>

# Einleitung

Das Experiment ist eines der wichtigsten Methoden der Erkenntnisgewinnung in der Physik und daher aus der Physikausbildung nicht wegzudenken. Trotz der enormen Bedeutung des Experimentes für die Physik bleibt der Effekt, den man sich von der Durchführung von Experimenten verspricht, häufig hinter den Erwartungen zurück (z. B. [31, 155]). Angesichts der bestehenden Probleme ist es das Ziel dieser Arbeit, Lösungen zu finden, diese umzusetzen und anschließend zu evaluieren. Deshalb werden zunächst wichtige Grundlagen für den Lernprozess, die Rolle der “kognitiven Aktivierung”, des “Vorwissens” und des Verhältnisses von “konstruktiven und instruktiven Phasen” diskutiert. Ein besonderer Schwerpunkt dieser Arbeit liegt dann in der Integration einer Lernplattform in die Struktur der experimentellen Übungen. Aussichtsvoll ist die Wahl dieses Ansatzes, da verschiedene Untersuchungen belegen, dass die Verbindung von E-Learning Elementen mit Präsenzveranstaltungen erfolgversprechender ist als reine Präsenzveranstaltungen [101]. Doch obwohl dieser Erkenntnis besteht, ist der konsequente Einsatz von E-Learning in die bestehende Lehre an deutschen Universitäten bisher eine Ausnahme.

Im Kontext der Umgestaltung der experimentellen Übungen werden zudem Hinweise für die Entwicklung und Gestaltung der textbegleitenden web-basierten Aufgaben gegeben. Die so entwickelten textbegleitenden Aufgaben zeigen sich in Verbindung mit experimentellen Übungen als eine Bereicherung für den Lernprozess.

In dieser Arbeit werden zunächst Erkenntnisse aus der pädagogischen Psychologie, der neuronalen Forschung und der fachdidaktischen Forschung, die in Hinsicht auf experimentelle Übungen relevant sind, diskutiert (Kapitel 1). Aufbauend auf dieser Literaturrecherche werden die Probleme der bisher bestehenden experimentellen Übungen erhoben (Kapitel 2). Diese Ergebnisse werden im Folgenden bei der Umgestaltung der experimentellen Übungen berücksichtigt (Kapitel 3). Das konkrete Vorgehen der Umgestaltung orientiert sich an dem “Modell der vollständigen Handlung” [26]: Erfassung von bestehenden Problemen, Formulierung von Zielsetzungen, Sammlung und Entscheidung für Lösungsstrategien, Umsetzung der Lösungsstrategien und die Evaluation.

Die Wirksamkeit der umgestalteten experimentellen Übungen, die aus Präsenz- und einer E-Learning Komponente bestehen, wird mit quantitativen Methoden in drei Untersuchungsschwerpunkten evaluiert (Kapitel 4).

Im ersten Teil wird im Versuchs-Kontrollgruppen-Design untersucht, inwiefern sich die

## *Einleitung*

Leistungen der Studierenden durch die Bearbeitung von elektronisch gestellten Aufgaben<sup>1</sup> verbessern. Die zweite Untersuchung setzt sich mit der Frage auseinander, welche Rolle elektronisch gestellte textbegleitende Aufgaben bei der Überwindung von falschen Vorstellungen dem “Conceptual Change” erfüllen können. Die letzte Untersuchung stellt gleichzeitig einen Ausblick dar. Hier wird der Einsatz eines weiteren E-Learning Elements, der Computersimulation, diskutiert. Dabei werden anhand eines Beispiels Kriterien für den sinnvollen Einsatz der Verbindung von Simulation und Experiment aufgezeigt.

Zusammenfassend kann in dieser Arbeit gezeigt und belegt werden, dass die Verbindung von E-Learning Elementen und Experimenten sinnvoll ist, sofern die E-Learning Elemente modellgeleitet unter Berücksichtigung des Vorwissens der Studierenden entwickelt werden.

---

<sup>1</sup>Elektronisch gestellte Aufgaben (kurz: elektronische Aufgaben) und web-basierte Aufgaben werden synonym verwendet.

# 1. Theoretischer Teil

## 1.1. Physikalische Praktika in Lehramtsstudiengängen

### 1.1.1. Der Aufbau des Physikstudiums

Die klassische Struktur der universitären Physiklehrerausbildung besteht an den meisten deutschen Universitäten aus verschiedenen Komponenten: Vorlesung, Übungen zur Vorlesung, Seminaren und experimentellen Übungen<sup>1</sup>. Jede dieser Komponenten erfüllt eine andere Aufgabe in der fachlichen Ausbildung angehender Lehrer<sup>2</sup>:

Die Vorlesung schafft einen Überblick über die Gebiete der Physik und vermittelt Konzepte und naturwissenschaftliche Herangehensweisen. Dies geschieht meist durch die Darbietung von naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten, physikalischen Formeln und Demonstrationsexperimenten.

Übung und Seminar sind in aller Regel fachlich orientiert. Hier werden physikalische Inhalte der Vorlesung vertieft und ergänzt.

In den experimentellen Übungen werden von den Studierenden Experimente durchgeführt, in denen unter kontrollierbaren Rahmenbedingungen Messungen und Beobachtungen an Objekten und Prozessen gemacht werden. Das Experiment muss zuvor sorgfältig geplant, relevante Variablen kontrolliert und Messwerte aufgenommen, ausgewertet und auf Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse interpretiert werden (vgl. [37]). Die Aufgabe experimenteller Übungen wird in der Studienordnung für Grund-, Haupt-, Real- und entsprechenden Jahrgängen der Gesamtschule wie folgt zusammengefasst:

§7 “(...)Praktika dienen dem Erwerb von Kenntnissen und Fähigkeiten experimenteller Methoden und der vertieften Beschäftigung mit physikalischen Phänomenen; sie sind durch intensive Vorbereitung und Nachbereitung gekennzeichnet.” [1, §7]

---

<sup>1</sup>Experimentelle Übungen wird in dieser Arbeit synonym verwendet zu experimentellen Praktika.

<sup>2</sup>Auf Grund der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit nur die männliche Form bei der Beschreibung von Personengruppen verwendet. Die weibliche Form ist selbstverständlich immer mit eingeschlossen.

### 1.1.2. Ziele des Experimentierens

Eine europäische Studie [164] untersuchte in sechs verschiedenen Ländern, welche Ziele Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden. Für dieses Forschungsvorhaben wurden über 400 Lehrende der Sekundarstufe und Lehrende an Universitäten befragt. Die Ergebnisse in absteigender Reihenfolge sahen wie folgt aus:

1. Verbindung von Theorie und Praxis
2. Erwerb experimenteller Fähigkeiten
3. Erwerb der Methode des wissenschaftlichen Denkens
4. Förderung der Motivation
5. Eigenes Wissen im Versuch überprüfen

Die besondere Hervorhebung des Ziels – Verbindung von Theorie und Praxis – ist sicherlich durch die Arbeitsweise der Physik begründet, die stets aus einem Zusammenspiel experimenteller Methoden und theoretischer Modellbildung besteht. So wird seit jeher versucht, durch Experimente theoretische Modelle zu verifizieren, oder es werden Ergebnisse aus Experimenten verwendet, zur Erweiterung, Optimierung aber auch zur Widerlegung von bestehenden Modellen. Wie dieser Prozess der Erkenntnisgewinnung für experimentelle Übungen aussehen kann, wird im Kapitel 1.1.3 erörtert.

Experimente stellen somit ein zentrales physikalisches Verfahren dar, das bereits in den Meraner Grundsätzen zum naturwissenschaftlichen Physikunterricht von 1906 [127] als obligatorischer Lehrinhalt verankert wurde.

Ein weiterer wichtige Facette des Experimentierens ist der didaktische Aspekt eines Experimentes. Unter didaktischen Aspekten des Experimentierens werden eine Vielzahl von Funktionen angesprochen, die ein Experiment im Lernprozess erfüllen kann. Girwitz nennt 14 verschiedene didaktische und methodische Funktionen eines Experimentes (vgl. [37]). Aus didaktischer Sicht kann ein Experiment zum Beispiel ein Medium sein, das Phänomene überzeugend und eindrucksvoll darstellen kann, es kann Meilensteine der Kulturgeschichte aufzeigen oder ein Mittel sein mit dem man im Lernprozess Motivation und Interesse wecken und aufrechterhalten kann. Diese didaktischen Aspekte des Experimentierens spielen in der fachlichen Ausbildung jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Die didaktischen Funktionen, die ein Experiment auszeichnen, werden meist in speziellen didaktischen Vorlesungen und Seminaren thematisiert.

### 1.1.3. Modelle der Erkenntnisgewinnung beim Experimentieren

Das SDDS-Modell (Scientific Discovery as Dual Search), entwickelt von David Klahr [71], beschreibt Experimentieren als einen komplexen Prozess des Problemlösens. Dieser Prozess ist durch drei Komponenten gekennzeichnet: Suchen im Hypothesenraum, Testen von Hypothesen, Analyse und Evidenz.

#### SDDS-Modell

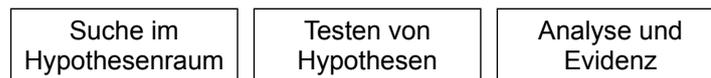


Abbildung 1.1.: Das SDDS-Modell nach Klahr.

Dieses kognitionspsychologische Modell findet auch Anwendung in der didaktischen Forschung. Marcus Hammann hat beispielsweise auf der Grundlage des SDDS-Modells ein Kompetenzentwicklungsmodell für den Bereich des Experimentierens entwickelt [46, 47]. Innerhalb dieses Modells erfasst die *Suche im Hypothesenraum* Aspekte des Aufstellens, Verfeinerns und Revidierens von Hypothesen; das *Testen von Hypothesen* beinhaltet die Planung und Durchführung von Experimenten; *die Analyse*, die Auswertung der Daten unter Berücksichtigung der theoretischen Annahmen sowie die Suche nach *Evidenz*. Empirische Befunde zeigen, dass das naturwissenschaftliche Vorwissen im hohem Maße den Erwerb der hier beschriebenen experimentellen Fähigkeiten begünstigt (vgl. [46]). Dieses dreigliedrige Modell der Erkenntnisgewinnung beim Experimentieren wird unter anderem auch in der Forschungsgruppe Schreiber, Theyßen und Schecker zur Beschreibung und Bestimmung von experimenteller Kompetenz bei physikalischen Experimenten verwendet [142].

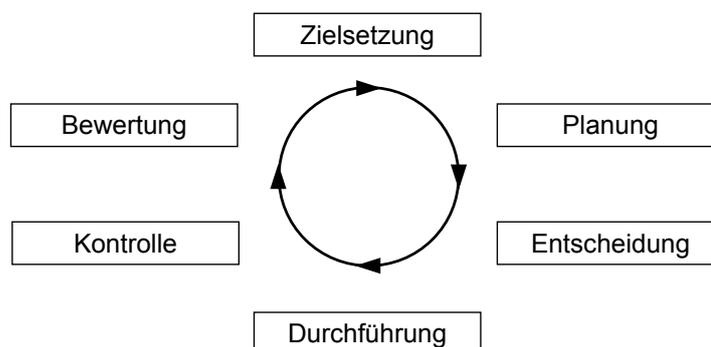


Abbildung 1.2.: Das Modell der vollständigen Handlung

Alternativ zu diesem dreigliedrigen Modell schlägt Bresges [17] eine zirkulare Einteilung in sechs Phasen vor, angelehnt an das Konzept der vollständigen Handlung von John Dewey

[26] (Abbildung 1.2). Am Anfang jedes Experimentes steht dort die *Klärung der Zielsetzung*, die unter Umständen aus offenen Fragen des Vorgängerexperimentes entstanden sein kann. In der *Planungsphase* werden verschiedene mögliche Vorgehensweisen abgewogen und Informationen gesammelt, die zur Bedienung der Versuchsgeräte und zur sicherheitsgerechten Durchführung des Experimentes erforderlich sind. Es folgt die *Entscheidung* für eine der möglichen Vorgehensweisen, die *Durchführung des Experimentes* und die *Kontrolle der Versuchsergebnisse*, wodurch frühzeitig von den theoretischen Überlegungen abweichende Messergebnisse und Mängel in der Qualität der erhobenen Daten bemerkt werden. *Die Bewertung* enthält neben einer detaillierten Auswertung und Einordnung der Ergebnisse auch eine rückschauende Betrachtung des gesamten Experimentierprozesses: Was wurde gelernt, an welcher Stelle würde man in Zukunft anders vorgehen? Die Antworten auf diese Fragen können als Ausgangspunkt für einen weiteren Versuchsdurchlauf dienen.

### 1.1.4. Kritik an der bestehenden Durchführung der Praktika und Zielsetzung der Arbeit

Ein wichtiger Bestandteil der (physikalischen) Erkenntnisgewinnung ist ein Verständnis für das Zusammenspiel zwischen theoretischen Modellen und der Überprüfung dieser Modelle durch Experimente. Doch gerade in diesem Bereich liegen große physikdidaktische Herausforderungen. So haben zahlreiche Untersuchungen zum Vor-Verständnis und zum Conceptual Change (z. B. [140]) gezeigt, dass viele Schüler an ihren bestehenden Vorstellungen und Modellen festhalten, obwohl diese offensichtlich durch ein Experiment widerlegt worden sind (z. B. [31]). Dieses fehlende Verständnis, das sich häufig durch ein mangelhaftes Verständnis der Gültigkeit und Grenzen von Modellen auszeichnet, ist nicht nur auf Schulen beschränkt, ähnliche Beobachtungen kann man auch in Hochschulen machen (z. B. [99, 100]).

- Richard R. Hake [43] hat in einer sehr umfangreichen Studie mit über 6000 Studierenden festgestellt, dass ein großer Teil des Grundlagenstudiums der Physik an amerikanischen Hochschulen (ebenso wie in Deutschland) aus traditionellen Vorlesungen mit Übungsrechnen und aus Praktika mit stark vorstrukturierten Experimenten („recipe labs“) besteht. Signifikant höhere Zuwächse im Force Concept Inventory (FCI) [53] und im Mechanics Baseline (MB) [52] Test<sup>3</sup> erzielen jedoch Kurse, die zusätzlich Elemente zur kognitiven Aktivierung ihrer Studierenden enthalten. Zu solchen kognitiv aktivierenden Elementen zählt Hake zum Beispiel Gruppendiskussionen der Studierenden, die durch Hands-on-Experimente motiviert sein können. Wesentliches kennzeichnendes Merkmal dieser als “Interactive Engagement”

---

<sup>3</sup>Der FCI und MB sind Tests, die das konzeptionelle physikalische Verständnis prüfen.

bezeichneten Elemente ist für Hake die unmittelbare Rückmeldung zum Beispiel durch Mitstudierende oder Dozenten.

- Meltzer [103] beschreibt in einer Metaanalyse das Problem, dass Studierende in traditionellen Kursen dazu neigen, Demonstrationsexperimente und vorstrukturierte Versuche mit dem tatsächlichen bzw. historischen Vorgehen der Wissenschaftler zu verwechseln. Um dieses Problem zu lösen, wird das selbstständige, modellgeleitete Experimentieren als unverzichtbar zum Erwerb eines geeigneten Modellbegriffes angesehen.
- Die IPN-Videostudie, die an Schulen durchgeführt wurde, gibt Hinweise auf die Bedeutung der Verbindung von Theorie und Praxis. Die Ergebnisse der IPN-Videostudie zeigen, dass die gesamte Lernzeit, die sich um das Experiment dreht, inklusive Vor- und Nachbereitung, positiv mit der Leistungsentwicklung zusammenhängt. Für die reine Experimentierzeit konnte kein Zusammenhang mit der Lernleistung festgestellt werden (vgl. [156, 155]). Aus diesen Ergebnissen kann man folgern, dass die optimale Einbettung des Experimentes in den Lernprozess ein wichtiger Qualitätsfaktor sein muss. Ein lernwirksames Experiment erfordert

„eine geeignete Einbettung des Experimentes und eine subtile Balance zwischen Theorie und Experiment sowie zwischen Instruktion (angeleitetes Lernen) und Konstruktion (eigenständig, explorativ)“. [34, S. 32]

Die Ergebnisse der IPN-Studie können auch als ein strukturelles Defizit der abgekoppelten Laborpraktika an Hochschulen interpretiert werden, bei denen jede Anbindung an andere fachliche Veranstaltungen fehlt.

Obwohl in der fachdidaktischen Literatur Einigkeit herrscht, dass die Einbettung der Experimente durch ein Zusammenspiel von konstruktiven und instruktiven Phasen am besten gelingt, gibt es wenige konkrete Hinweise über die angemessene Aufteilung dieser Phasen. Auch Hinweise darüber, wie man die kognitive Aktivierung der Studierenden gestalten und umsetzen kann, werden meist nicht konkret für experimentelle Übungen erörtert. Um eine theoriegeleitete Begründung auf diese Fragen zu finden, wird in dieser Arbeit wie folgt vorgegangen:

Zunächst werden Theorien des menschlichen Lernens allgemein (Kapitel 1.2) und im Anschluss ausgewählte Faktoren, die das menschliche Lernen im Umfeld von experimentellen Übungen beeinflussen (Kapitel 1.3), herausgearbeitet.

Hierauf aufbauend sollen die experimentellen Übungen an der Universität zu Köln<sup>4</sup> im Hinblick auf die Adressatengruppe und die Zielsetzungen analysiert (Kapitel 2) werden. Auf der Grundlage dieser gewonnenen Erkenntnisse werden die experimentellen Übungen überdacht und umgestaltet (Kapitel 3). Die Qualität der umgestalteten experimentellen

---

<sup>4</sup>für das Lehramt Physik an Grund-, Haupt- und Realschulen

Übungen wird abschließend anhand ausgewählter Forschungsfragen überprüft (Kapitel 4).

## 1.2. Lerntheorien

Um Lernumgebungen, wie experimentelle Übungen, möglichst wirkungsvoll zu gestalten, sollte man sich mit den Theorien über das menschliche Lernen auseinandersetzen. Die Vielzahl der existierenden Lerntheorien (Überblick: [13, 2]) wird üblicherweise in drei Hauptströmungen unterteilt: den Behaviorismus, den Kognitivismus und den Konstruktivismus (z. B. [61, 123, 129]). Die gewählte Reihenfolge dieser drei Theoriensysteme spiegelt die chronologische Reihenfolge ihrer Entstehung wieder. Hieraus kann jedoch nicht abgeleitet werden, dass das jeweils neuere Theoriesystem das vorangegangene vollständig verdrängt hat. Vielmehr gehen die neueren Theorien auf die Schwächen der vorangegangenen Theorien ein und zeigen dabei unterschiedliche Vorstellungen vom Lernprozess selbst, sowie von der Rolle des Lehrenden und Lernenden. Im Folgenden sollen nun diese drei Hauptströmungen der Lerntheorien im Bezug auf ihre Grundannahmen, der Rolle des Lernenden und des Lehrenden dargestellt werden.

### 1.2.1. Behaviorismus

Wenn man an behavioristische Lerntheorien denkt, dann denkt man vor allem an die zahlreichen Tierexperimente, die unter anderem von den Wissenschaftlern Watson, Pawlow, Thorndike und Skinner durchgeführt wurden (vgl. [13]). Die Theorien der Behavioristen gehen jedoch noch weit über Tierexperimente hinaus und dominierten bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts. Die Grundlage der behavioristischen Lerntheorien ist das Reiz-Reaktions-Modell: So erfolgt auf einen bestimmten Umweltreiz (Stimulus) eine bestimmte Verhaltensreaktion (Response). Lernen wird im Behaviorismus als eine beobachtbare und meist dauerhafte Verhaltensänderung verstanden. Im Zentrum des Interesses der Behavioristen steht der Zusammenhang zwischen Reiz und Reaktionsmustern. Innerpsychische Vorgänge werden dagegen als eine "Black Box" betrachtet und nicht berücksichtigt. Die frühen Behavioristen wie Watson und Pawlow betrachteten bei der so genannten klassischen Konditionierung ausschließlich die Reaktionen, die auf äußere Reize folgen. Hierbei wird ein neutraler Reiz mit einem reflexauslösenden Reiz gekoppelt, sodass der neutrale Reiz später auch allein den Reflex (Reaktion) auslöst. Bei der operanten Konditionierung erfolgen nach den Verhaltensreaktionen positive und negative Verstärkungen, wodurch die Auftretenswahrscheinlichkeit der Verhaltensreaktionen beeinflusst werden kann [3, 129].

**Rolle des Lehrenden und Lernenden.** Lernen wird im Behaviorismus als eine Verhaltensänderung verstanden, die als Reaktion auf äußere Umweltreize erfolgt. Aus dieser Annahme lässt sich unmittelbar die zentrale Rolle des Lehrenden für den Lernerfolg ablesen. Der Lehrende hat die Aufgaben die Umweltreize und dessen Konsequenzen so zu gestalten, dass der Lernende das Lernziel erreicht. Der Lehrende ist somit der aktive Part im Lehr-Lern-Gefüge und der Lernende der Rezipient (vgl. [129]).

“Ebenso wie Papier passiv zu „erdulden“ hat, daß (sic) es beschrieben wird, sieht der Behaviorist auch in einem heranwachsenden Menschen ein reaktives, passives Wesen. Erzieher und Lehrer können durch Manipulation der Verhaltenskonsequenzen (Belohnung und Bestrafung) erwünschtes Verhalten stärken und unerwünschtes Verhalten schwächen.” ([105, S. 20])

**Bedeutung des Behaviorismus.** Der Behavioristische Ansatz wurde viel kritisiert, weil sich die Erkenntnisse aus den Tierexperimenten nicht zwingend auf das menschliche Lernverhalten übertragen lassen (vgl. [132]). Auch emotionale, motivationale Aspekte und Prozesse zur Wahrnehmung, zum Denken, zur Problemlösung etc. werden hier nicht berücksichtigt (vgl. [3]). Doch obwohl der behavioristische Ansatz aufgrund der sehr mechanischen Vorstellung über das menschliche Lernen kaum noch Zustimmung findet, ist die operante Konditionierung erfolgreich, sofern fest umrissene Lerninhalte eingeübt werden müssen. Dazu gehört das Üben von Vokabeln ebenso wie zum Beispiel das Einüben des Umgangs mit Einheiten in der Physik und das sicherheitsgerechte Experimentieren.

### 1.2.2. Kognitivismus

Mit dem technischen und mathematischen Fortschritt in der Mitte des 20. Jahrhunderts kam es auch zur kognitiven Wende in der Lernpsychologie. Die nun vorherrschenden kognitiven Ansätze beschäftigen sich im Gegensatz zu den behavioristischen Ansätzen nicht mehr mit der direkten Verbindung von Reizen und Reaktionen, sondern mit mentalen Prozessen. Von besonderem Interesse ist dabei die Untersuchung von kognitiven Prozessen wie Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Begriffsbildung, Denken, Erkennen, Sprache, Vorstellung, Problemlösen, Erinnern und Vergessen (z. B. [61]). In den Anfängen des Kognitivismus wurden häufig kognitive Prozesse in Analogie zur Informationsverarbeitung im Computer betrachtet. So wurden viele Begriffe und Konzepte aus diesem Bereich entnommen und in die kognitions-psychologischen Theorien übertragen [2, 105]. Die Grundlage des Kognitivismus bildet das sogenannte Informationsverarbeitungsmodell: Reize/Stimuli bewirken nicht direkt menschliches Verhalten, sondern werden zunächst in einem komplexen Prozess aus sensorischem Speicher, Kurzzeitgedächtnis und Langzeitgedächtnis verarbeitet, umgestaltet und verändert (vgl. [129]). Eine zentrale Bedeutung bei diesem Prozess kommt den Schemata zuteil. Ein Schema ist ein individuelles kognitives Muster

eines Wirklichkeits- und Begriffsbereiches. Mehrere Schemata können sich zu komplexen kognitiven Strukturen zusammenschließen. Um Informationen dauerhaft zu behalten, gelangen sie in das Langzeitgedächtnis. Hier erfolgt eine Verknüpfung und Integration der Informationen in die vorhandenen kognitiven Strukturen. Erst wenn diese neuen Informationen in die vorhandenen Strukturen integriert sind, spricht man vom Verstehen [123, 61]. Die Bedeutung von Schemata für das menschliche Lernen zeigt sich bei den Untersuchungen von falschen Vorstellungen zu physikalischen Phänomenen, die oft auch Fehlvorstellungen oder Schülervorstellungen genannt werden (vgl. Kapitel 4.3). Bedeutende Wegbereiter und Vertreter dieser kognitiven Theorie sind unter anderen Jean Piaget, Jerome S. Bruners, Robert Gagné und David Paul Ausubel.

**Rolle des Lehrenden und Lernenden.** Im Vergleich zum Behaviorismus hat der Lernende aus Sicht des Kognitivismus eine wesentlich aktivere Rolle für den Lernprozess. Die Aktivitäten des Lernenden werden nicht auf Reaktionen beschränkt, sondern der Lernende muss die Informationen kognitiv verarbeiten. Die Rolle des Lehrenden ist jedoch im Kognitivismus nicht zu unterschätzen. Der Lehrende steuert den Lernprozess: Er hat die Aufgabe, durch die Auswahl von geeignetem Instruktionsmaterial den Informationsverarbeitungsprozess des Lernenden zu erleichtern. Auch die Lerninhalte und das Lerntempo werden vom Lehrenden vorgeben [129].

**Bedeutung des Kognitivismus.** Kritisiert wird an kognitiven Theorien die enge Analogie zwischen den menschlichen Lernprozessen und der Funktionsweise eines Computers. Diese Analogie verleitet zu einem sehr technischen Verständnis von Lernen und vernachlässigt dabei die Komplexität des Gehirns [129]. Darüber hinaus werden allein kognitive Prozesse beschrieben. Soziale, emotionale und motivationale Prozesse werden nicht betrachtet [3, 129, 132]. Kognitive Theorien haben aber nach wie vor eine große Bedeutung insbesondere im Bereich des E-Learnings und des multimedialen Lernens. So liefern beispielsweise die Cognitive Load Theory [153] und die kognitive Theorie des multimedialen Lernens von Mayer [97] wichtige Hinweise darauf, wie Instruktionsmedien gestaltet werden sollten.

### 1.2.3. Konstruktivismus

Aus der Gestaltpsychologie heraus entstand der Konstruktivismus [105], der seit Ende der 1980er Jahre vermehrt Zuspruch findet. Im Gegensatz zum behavioristischen und kognitivistischen Ansatz handelt es sich beim Konstruktivismus um einen sehr heterogenen Ansatz, der in zahlreiche Untertheorien zerfällt: der radikale Konstruktivismus, der psychologisch individuelle Konstruktivismus, der soziale Konstruktivismus und der gemäßigte Konstruktivismus (vgl. [61]). Diese verschiedenen Strömungen widersprechen sich sogar zum Teil, eine einheitliche Theorie des Konstruktivismus gibt es nicht.

Gemeinsam ist diesen verschiedenen Ansätzen die erkenntnistheoretische Annahme, dass sich die Realität nicht objektiv beschreiben lässt. Denn jeder Wahrnehmungs-, Erkenntnis- oder Denkprozess beruht auf der Konstruktion des Beobachters. Lernen ist somit ein aktiver Konstruktionsprozess. Die Umwelt kann diesen Konstruktionsprozess allenfalls anregen oder stören. Zusammengefasst wird diese Idee noch einmal durch das folgende Zitat:

“Wissen wird nicht als unmittelbares Ergebnis einer Wissensübertragung innerhalb eines Lehrprozesses gesehen, sondern als eigenständige Konstruktion der Lernenden. Diese Konstruktion erfolgt auf der Grundlage eigener Handlung und Erfahrungen, mit engem Bezug zu den Problemen der eigenen Lebenswelt.“ ([3], S. 4)

**Rolle des Lehrenden und Lernenden.** Die zentrale Rolle im Lehr-Lern-Prozess hat im Konstruktivismus der Lernende. Die Aufgabe des Lehrenden besteht darin, den Lernenden zu unterstützen und zu begleiten. Dabei arbeiten Lehrende und Lernende gleichberechtigt zusammen. Konstruktivistische Lernumgebungen zeichnen sich durch wenig Anleitung und Kontrolle aus, dafür aber durch ein Höchstmaß an Handlungsspielraum zur Exploration und eigenständiger Wissenskonstruktion. [129]

**Bedeutung des Konstruktivismus.** Obwohl der Konstruktivismus sehr weit verbreitet ist, stehen konstruktivistische Lerntheorien oft in der Kritik, da die empirischen Belege zugunsten dieser Theorie nur unzureichend sind (vgl. [132]). Im Gegensatz zum Behaviorismus und Kognitivismus lassen sich aus dem Konstruktivismus nicht unmittelbar konkrete Handlungsempfehlungen für Lehr-Lernsituationen ableiten, da konstruktivistische Theorien sehr offen gehalten sind und die unterschiedlichen Strömungen oft unterschiedliche Handlungsweisen propagieren. Die meisten konstruktivistischen Ansätze befürworten freie und offene Lernumgebungen, jedoch kann das gerade bei unerfahrenen Lernenden und Lehrenden zur Überforderung führen (vgl. [74]).

Der größte Verdienst der Konstruktivisten besteht darin, dass sie Kognition, Emotion, Motivation und Interaktion gleichermaßen betrachten. Ihre Forderungen nach einer stärkeren Kontextorientierung in authentischen Lernumgebungen ist zwar nicht völlig neu, sie gewann jedoch in den letzten Jahren eine neue Qualität. So wurden in den vergangenen Jahren in der Physikdidaktik verschiedene Möglichkeiten vorgestellt, wie man authentische, alltägliche und gesellschaftlich relevante Kontexte in den Unterricht integrieren kann (z. B. [107, 82, 161]).

### 1.2.4. Zusammenfassung: Vergleich der lernpsychologischen Strömungen

Wie eingangs erwähnt, haben sich die lernpsychologischen Theorien nicht gegenseitig verdrängt. Vielmehr zeigen sie unterschiedliche Haltungen zum Lernprozess selbst, sowie zur Rolle des Lehrenden und des Lernenden.

In der Tabelle 1.1 wurden die drei Lerntheorien in ihren Grundannahmen und bezüglich der Rollen des Lernenden und des Lehrenden gegenübergestellt.

Lerntheorien			
	Behaviorismus	Kognitivismus	Konstruktivismus
Grund- annahme	Das Reiz-Reaktions-Modell:  Lernen zeigt sich durch Veränderung.	Das Informations-Verarbeitungs-Modell:  Man spricht von Lernen, wenn das Wissen im Langzeitgedächtnis verarbeitet wurde.	Die Wirklichkeit ist nicht objektiv erfassbar:  Lernen ist ein aktiver Konstruktionsprozess auf Grundlage eigener Erfahrungen und Handlungen.
Lernende	Der Lernende nimmt eine passive Rolle ein. Sein Verhalten wird determiniert durch die Umwelt.	Der Lernende verarbeitet kognitiv die Informationen durch die Verknüpfung und Integration in vorhandene Schemata.	Der Lernende konstruiert sein Wissen eigenständig.
Lehrende	Der Lehrende gestaltet die Umweltreize, auf die die Lernenden nach vorgegebenen Muster reagieren.	Der Lehrende steuert und unterstützt den Informationsverarbeitungsprozess durch die Auswahl von geeigneten Informationsmaterialien.	Der Lehrende kann den Lernprozess lediglich unterstützen oder begleiten.

Tabelle 1.1.: Übersicht über die Theoriensysteme: Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus.

Während im Behaviorismus das Verhalten des Lernenden durch Reiz- Reaktionsketten bestimmt wird, wird der Lernende im Kognitivismus nicht mehr als “Black Box” betrachtet.

Der Kognitivismus beschäftigt sich vor allem damit, wie das Wissen im Gehirn verarbeitet wird. Dabei spielen Schemata eine bedeutende Rolle.

Aufbauend auf den Kognitivismus wird im Konstruktivismus die Rolle des Lernenden noch stärker betont. Der Lernende konstruiert sich sein Wissen eigenständig auf der Grundlage eigener Handlungen und Erfahrungen. Dabei wird Wissen nicht als Kopie der Wirklichkeit angesehen, die sich gleichsam vom Lehrenden zum Lernenden „transportieren“ lässt. Die Umwelt hat – anders als im Behaviorismus – keinen determinierenden Einfluss auf den Lernprozess.

Behaviorismus und Kognitivismus verbindet die Vorstellung, menschliches Lernen steuern

zu können. Im Behaviorismus erfolgt dies durch die Planung von Reiz-Reaktionsketten, im Kognitivismus durch die Auswahl von geeigneten Instruktionsmaterialien. Demgegenüber gehen Konstruktivistische Lerntheorien davon aus, dass Lernen nur angeregt oder gestört werden kann. Die verschiedenen konstruktivistischen Sichtweisen unterscheiden sich jedoch bezüglich des Grades, in dem die Beeinflussung auf den Lernprozess stattfinden kann.

Alle drei Theoriensysteme sind nach wie vor bedeutsam für Lehr- und Lernsituationen, wenngleich ihr Geltungsbereich jeweils eingeschränkt ist. Der Erklärungswert von behavioristischen Ansätzen bezieht sich vor allem auf das Erwerben von Routinefertigkeiten, die unbewusst ablaufen. Dabei wird immer nur ein ganz bestimmter Ausschnitt des Phänomens „Lernen“ betrachtet (vgl. [129]). Kognitivistische Ansätze haben ihre Stärken bei der Erklärung von kognitiven Verarbeitungsprozessen in gut strukturierten Domänen, wie zum Beispiel beim Problemlösen, bei denen Anfangs- und Zielzustand klar definiert sind. Konstruktivistische Ansätze zeigen hingegen ihre Stärken bei der Beschreibung komplexer kognitiver Strukturen in nicht strukturierten Domänen und dem Erwerben von Handlungskompetenzen. Im Gegensatz zu den beiden anderen Theorien werden dabei auch soziale und motivationale Aspekte berücksichtigt.

### **1.2.5. Welche Lerntheorie ist für experimentelle Übungen am geeignetsten?**

Die Zielsetzungen von experimentellen Übungen sind sehr heterogen (vgl. Kapitel 1.1.2). Neben dem Lernen von Fakten und dem Verstehen von physikalischen Zusammenhängen, sollen Handlungskompetenzen in Bezug auf experimentelle Fähigkeiten (zum Beispiel das Planen eines Versuchsablaufs) und Fertigkeiten (zum Beispiel die Handhabung von Messgeräten) erworben werden. Da diese Anforderungen sehr unterschiedlich sind, reicht es nicht aus, eine lernpsychologische Theorie allein zu betrachten. Je nach Zielsetzung muss demnach das geeignetste Theoriemodell ausgewählt und angewendet werden. Entscheidungshinweise hierzu geben die verschiedenen Einflussfaktoren, die das menschliche Lernen im Kontext experimenteller Übungen beeinflussen können (vgl. Kapitel 1.3).

## **1.3. Bedingungen des Wissenserwerbs**

Der Erwerb von neuem Wissen ist ein zentrales Ziel von Experimenten, zumal Wissen eine wichtige Voraussetzung für den Erwerb weiterer Kompetenzen darstellt (vgl. Kapitel 1.1.2). In den vergangenen Jahren wurde in diesem Zusammenhang in der didaktischen Forschung zunehmend die Rolle der kognitiven Belastung (Cognitive Load) beim

Wissenserwerb thematisiert (z. B.: [38]). Als Beleg, dass kognitive Belastung auch beim physikalischen Experimentieren eine bedeutende Rolle spielt, kann eine Studie aus Neuseeland mit rund 100 Schülern und Schülerinnen angeführt werden [48]. In dieser Studie konnte nachgewiesen werden, dass manche Lernmaterialien, die die kognitive Belastung unnötig erhöhen, sogar den Lernerfolg beim Experimentieren beeinträchtigen. Schüler, die hingegen weniger kognitiv belastende Materialien erhalten haben, erledigten die Experimentieraufgabe besser, schneller und empfanden sie zudem als leichter. Die Ideen der hier zugrunde liegenden Theorie sollen nun kurz erläutert werden.

### 1.3.1. Kognitive Belastung beim menschlichen Lernen

Die Cognitive Load Theory (CLT) beschreibt die Entstehung der kognitiven Belastung beim Lernen und darauf aufbauend, wie man diese Belastungen beim Lernen verringern kann. Diese CLT, entwickelt von John Sweller und seinen Mitarbeitern [154, 152, 153], hat sich gerade im Rahmen des multimedialen Lernens verdient gemacht. Eine der zentralen Grundannahmen der CLT ist die Annahme, dass man nur dann gute Instruktionen gestalten kann, wenn man die kognitiven Strukturen des menschlichen Gedächtnisses berücksichtigt.

„Good instructional design is driven by our knowledge of human cognitive structures and the manner in which those structures are organised into a cognitive architecture.“ [153, S. 19]

Angelehnt an dieser Idee sollen nun die kognitiven Strukturen, insbesondere die Rolle des Arbeitsgedächtnisses und des Langzeitgedächtnisses, diskutiert werden. Auf dem Verständnis dieser Strukturen aufbauend werden Schlussfolgerungen für die Gestaltung der experimentellen Übungen beschrieben.

### 1.3.2. Das Arbeitsgedächtnis

Noch zu Beginn der siebziger Jahre verstand man unter dem Kurzzeitgedächtnis ein System, das relativ passiv Informationen für eine sehr begrenzte Zeitspanne speichert. Untersuchungen zeigten jedoch, dass das Kurzzeitgedächtnis nicht nur in der Lage ist, Informationen zu speichern, sondern auch aktiv zu verarbeiten. Aus dieser Erkenntnis heraus bezeichnete man fortan diese aktive Komponente als Arbeitsgedächtnis. Das Arbeitsgedächtnis besteht nach dem Arbeitsgedächtnismodell von Alan Baddeley aus mindestens drei Komponenten: Phonologische Schleife (Speicherung und Verarbeitung von sprachlichen Informationen), Räumlich-visueller Notizblock (Speicherung und Verarbeitung von räumlichen und visuellen Informationen) und Zentrale Exekutive (Steuerung der

kognitiven Prozesse). [118, 7, 8]

Die CLT greift zurück auf dieses ältere Arbeitsgedächtnismodell mit drei Komponenten. Als die zentrale Annahme der CLT gilt die Einsicht, dass bei der Speicherung und Verarbeitung von Informationen die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nur sehr begrenzt ist [7, 97, 152, 153, 74]. So ist das Arbeitsgedächtnis in der Lage, nur sehr wenige Informationen gleichzeitig zu verarbeiten. Die Literaturangaben schwanken zwischen sieben plus oder minus zwei Informationseinheiten und zwei bis vier Informationseinheiten, je nachdem wie stark die Informationen gegenseitig abgewogen oder miteinander kombiniert werden müssen [117, 132]. Neben der Begrenzung durch die Verarbeitungsmenge ist die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses auch zeitlich begrenzt. Nach circa 15-30 Sekunden werden alle Informationen im Arbeitsgedächtnis gelöscht, wenn sie nicht wiederholt werden [118, 70]. Die Begrenzungen des Arbeitsgedächtnisses gelten jedoch nur für die Aufnahme neuer Informationen.

### 1.3.3. Das Langzeitgedächtnis

Auch das Verständnis der Rolle des Langzeitgedächtnisses hat sich in den vergangenen Jahrzehnten sehr stark verändert [70, 152, 153, 154]. Das Langzeitgedächtnis wird nicht mehr nur als ein Speicher angesehen, der passiv Informationen isoliert voneinander abspeichert. Das Langzeitgedächtnis ist eine zentrale kognitive Struktur, die alle kognitiven Prozesse, von Wahrnehmungsprozessen bis hin zu Problemlöseprozessen, beeinflusst. Im Gegensatz zum Arbeitsgedächtnis kann das Langzeitgedächtnis eine wahrscheinlich unbegrenzte Anzahl von Informationen aufnehmen und zeitlich speichern. Die Informationen werden in sogenannte Schemata im Langzeitgedächtnis gespeichert. Ein Schema ist eine kognitive Struktur, welches Informationen organisiert und mögliche Mechanismen zur Informationsverarbeitung bereitstellt [152, 132].

Zu diesen Mechanismen gehört zum Beispiel das Wissen darüber, wie man eine mathematische Gleichung,  $v = a \cdot t$  nach der Beschleunigung  $a$  umformt. Durch diese meist automatisierten Mechanismen kann das Arbeitsgedächtnis entlastet werden.

### 1.3.4. Beziehung zwischen Sensorischem Register, Arbeits- und Langzeitgedächtnis

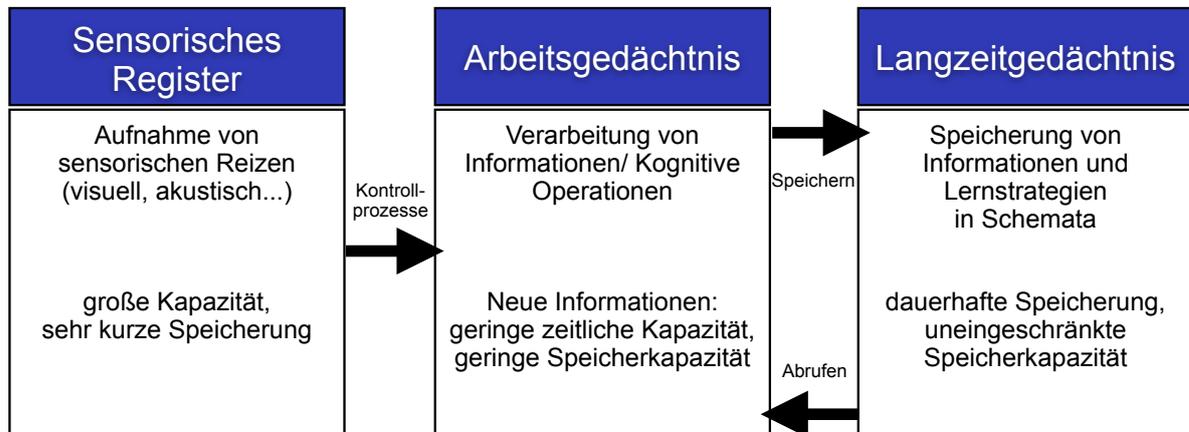


Abbildung 1.3.: Veranschaulichung menschlicher Gedächtnisprozesse (angelehnt an [106, S. 263]).

Das **Sensorische Register** speichert Informationen der verschiedenen Sinnesorgane für einen kurzen Zeitraum. Aus der großen Menge von Sinneseindrücken gelangen nur die Informationen in das Arbeitsgedächtnis, auf die die Aufmerksamkeit gerichtet ist, beziehungsweise die, die für bedeutsam erachtet werden. Die bereits angesprochenen Begrenzungen des Arbeitsgedächtnisses gelten nur für neuartige Informationen. Das Langzeitgedächtnis kann jedoch die Charakteristik des Arbeitsgedächtnisses verändern. Wird der Lernende mit Informationen konfrontiert, die er bereits vollständig oder teilweise gelernt hat, so kann bei der Verarbeitung der Informationen auf Wissen und Schemata aus dem Langzeitgedächtnis zurückgegriffen werden. Für das Wissen aus dem Langzeitgedächtnis konnten bisher keine Begrenzungen des Arbeitsgedächtnisses nachgewiesen werden. [152, 70]

### 1.3.5. Die Bedeutung des Vorwissens für den Lernerfolg

In der Terminologie des Arbeitsgedächtnismodells nach Baddeley [8] versteht man unter der "Aktivierung von Vorwissen" den Abruf von gespeichertem Wissen aus dem Langzeitgedächtnis in das Arbeitsgedächtnis. Es gehört heute zu dem gesicherten Bestand neurowissenschaftlicher (z. B. [135]) und pädagogisch-psychologischer Forschung (z. B. [74, 81, 76]), dass themenspezifisches Vorwissen das Lernen von neuen Inhalten am stärksten fördert, noch stärker als die allgemeine Intelligenz: Lernende, die also schon mehr Wissen zu einem Lerninhalt haben, lernen demnach schneller, leichter und strukturbezogener als Lernende, die noch kein themenspezifisches Wissen mitbringen.

Diese enorme Bedeutung des Vorwissens für den Lernerfolg ist unter anderem durch die kognitive Belastung erklärbar: Für Lernende, die noch kein Vorwissen haben, ist die kognitive Belastung besonders hoch. Sie werden mit vielen neuen Informationen konfrontiert, die miteinander in Beziehung gebracht werden müssen, um Zusammenhänge zu erkennen.

Die kognitive Belastung wächst dabei natürlich:

- a) mit der Anzahl der zu verarbeitenden Informationen (z. B. beim Lernen von Symbolen:  $U$ := elektrische Spannung,  $I$ := elektrische Stromstärke,  $R$ := elektrischer Widerstand)
- b) mit dem Grad der Interaktion/Zusammenhänge der einzelnen Informationseinheiten [153, 152]. Hierzu ein Beispiel aus der Physik: Die physikalischen Größen Spannung  $U$ , Widerstand  $R$  und Stromstärke  $I$  stehen miteinander in Beziehung, da die Größen sich gegenseitig beeinflussen. Will man die Stromstärke erhöhen, dann kann entweder die Spannung erhöhen und den Widerstand konstant halten, oder Spannung und Widerstand verändern. Dann muss man jedoch das Verhältnis aus  $\frac{U}{R}$  berücksichtigen, um Aussagen über die Stromstärke treffen zu können...

Obwohl der Zusammenhang aus Spannung, Stromstärke und Widerstand nicht sehr komplex ist, ist die kognitive Belastung doch erheblich, wenn man alle Möglichkeiten ausprobieren muss. Betrachtet man lediglich 3 Informationseinheiten, dann gibt es schon  $3! = 6$  mögliche Permutationen, die alle gleichberechtigt und simultan im Arbeitsgedächtnis gebildet und verarbeitet werden müssen. Bei 4 Informationseinheiten sind das entsprechend 24, bei 5 Informationseinheiten schon 120 Permutationen. Unter dieser Bedingung wundert es nicht mehr, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses in dem Maße eingeschränkt ist.

Anders ist es bei Lernenden, die bereits Vorwissen zur Thematik mitbringen, denn Sie können auf vorhandenes Wissen aus dem Langzeitgedächtnis zurückgreifen. Diese Lernenden sind somit nicht mehr gezwungen alle möglichen Permutationen verschiedener Informationen zu testen. Stattdessen werden nur die Zusammenhänge betrachtet, die sich aufgrund der bereits gemachten Erfahrungen als sinnvoll erwiesen haben. Bezüglich des Zusammenhangs zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand wird der Lernende mit Vorwissen sich wahrscheinlich auf den Formelzusammenhang  $U = R \cdot I$  beziehen und die oben dargestellte Aufgabe durch Ausprobieren weniger Kombinationen richtig lösen können. Die kognitive Belastung ist dann natürlich erheblich geringer.

Zusammenfassend betrachtet ist also die Schwierigkeit beim Lernen einer bestimmten Thematik nicht allein durch äußere Kriterien wie zum Beispiel die Komplexität der Aufgabenstellung erfassbar, sondern sie hängt auch erheblich vom Vorwissen des Lernenden ab. Lernende, die kein oder nur sehr wenig themenspezifisches Vorwissen mitbringen, müssen jedoch nicht zwingend alle Zusammenhänge durch zeitaufwändiges, mühevolleres Auspro-

bieren erlernen – denn es spricht nichts dafür, dass das eigene Langzeitgedächtnis das einzige funktionierende Steuerungsorgan beim Lernprozess ist. Auch das Wissen anderer Menschen (geschrieben oder gesprochen) kann verwendet werden, um Wissen zu strukturieren (vgl. [153]). Die Strukturierung von Wissen kann zum Beispiel durch Instruktionen eines Lehrers erfolgen.

Dabei haben Instruktionen die Aufgabe:

- Die Aufmerksamkeit auf bestimmte Informationen zu lenken.
- Die Verbindung zu relevantem Vorwissen zu verdeutlichen.

Die Relevanz der Verknüpfung von neuen Informationen mit vorhandenen Informationen beschreiben Ulrike-Marie Krause und Robin Stark:

“Die gezielte Aktivierung bestimmter Wissensbestände unterstützt ein bedeutungsvolles und nachhaltiges Lernen und die Korrektur und Vermeidung von Fehlkzepten.” [76, S. 41]

In diesem Zitat werden zwei sehr wichtige Aspekte für die Erstellung von Instruktionen beleuchtet: Die oben bereits angesprochene Wichtigkeit der Verbindung zwischen bereits gelernten Informationen aus dem Langzeitgedächtnis mit neuen Informationen sowie eine vorausschauende Vermeidung von Fehlkzepten.

### 1.3.6. Fehlerhaftes Vorwissen (Fehlkzepten)

Unter der Berücksichtigung des Modells nach Baddeley entstehen Fehlvorstellungen dadurch, dass Informationseinheiten im Langzeitgedächtnis falsch vernetzt beziehungsweise strukturiert werden. Diese falsche Strukturierung im Langzeitgedächtnis hat auch Folgen für die Verarbeitung neuer Informationen, denn die neuen Informationen werden auf Grundlage bestehender falscher Konzepte interpretiert. Ein einmal gebildetes fehlerhaftes Konzept kann somit enorme Auswirkungen auf den Lernerfolg haben.

Die Entstehung von falschen physikalischen Konzepten, auf deren Grundlage dann weitere Informationen verarbeitet werden, kann mehrere Ursachen haben:

Viele Lernende entwickeln Vorstellungen aufgrund von Alltagserfahrungen, die jedoch oft nicht mit den wissenschaftlichen Überlegungen übereinstimmen (z. B. [30]). Aber auch Instruktionen und Erklärungen von Lehrenden können dazu führen, dass sich beim Lernenden ad hoc falsche Vorstellungen bilden (z. B. [31]), denn Lehrende sind Experten auf ihrem Gebiet. Sie haben im Gegensatz zu den Novizen ein weit größeres Wissen, aufgrund dessen sie Informationen bewerten. Daher kann es dazu kommen, dass der Lernende aufgrund seines geringen Vorwissens die gegebenen Informationen ganz anders bewertet als

der Lehrende. Bei der Vermittlung von Wissen muss dies den Lehrenden bewusst sein, denn unter Berücksichtigung einer konstruktivistischen Auffassung von Lernen (vgl. Kapitel 1.2.3) ist es keinesfalls so, dass Wissen eins zu eins übertragen werden kann. Der Lernende muss sein Wissen auf Grundlage seiner eigenen Erfahrungen selbstständig konstruieren. Das Wissen über bereits vorhandene falsche Vorstellungen beim Lernenden ist deshalb bei der Gestaltung von Lerneinheiten unerlässlich.

Falsche physikalische Vorstellungen werden seit den siebziger Jahren systematisch von Didaktikern und Psychologen untersucht. Dabei wurden zahlreiche Begriffe verwendet, um falsche physikalische Konzepte zu beschreiben: Fehlvorstellungen, Fehlkonzepte, naive Theorien (z. B. [167]), Schülervorstellungen, subjektive Vorstellungen, Misskonzepte, Präkonzepte (z. B. [112]), intuitive Vorstellung (z. B. [29, 81]), Alltagsvorstellungen (z. B. [30, 64]) (u.a.). Die Vielzahl der Begriffe lässt sich dadurch erklären, dass Didaktiker und Psychologen je nach Forschungsinteresse einen anderen Schwerpunkt bei der Untersuchung von physikalischen Vorstellungen haben, was sich auch bei der Namensgebung widerspiegelt. So stammen zum Beispiel die Begriffe intuitive Vorstellung und naive Theorien aus der Entwicklungspsychologie, und die Begriffe Schülervorstellungen und Alltagsvorstellungen werden meist von Didaktikern verwendet. Insgesamt beschäftigen sich die verschiedenen Forschungsansätze neben der Entstehung von falschen physikalischen Vorstellungen mit den Auswirkungen von falschem physikalischen Wissen bei der kognitiven Verarbeitung von neuen Informationen.

Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass Vorstellungen, die sich aus den alltäglichen Erfahrungen entwickelt haben, keinesfalls unbrauchbar sind. Vielmehr sind sie in dem Kontext, in dem die Konzepte ursprünglich erworben wurden, ausreichend zur Erklärung von Phänomenen. Sie versagen jedoch, wenn komplexere Aufgaben bearbeitet werden müssen (z. B. [99, 100, 31, 64]). Des Weiteren erweisen sich einmal gebildete falsche Vorstellungen als äußerst resistent gegenüber neuen Erklärungsansätzen, was sich besonders für Lehr-Lernsituationen als problematisch erweist (z. B. [168, 29]). Die Resistenz von falschen Vorstellungen ist jedoch gar nicht verwunderlich, wenn man die Architektur des menschlichen Gedächtnisses berücksichtigt. Neue Informationen werden nämlich nicht isoliert gelernt – es findet immer ein Rückgriff auf bestehendes Wissen aus dem Langzeitgedächtnis statt. Selbst Lernende, die nur wenig Vorwissen mitbringen, versuchen bestehendes Wissen aus dem Langzeitgedächtnis mit den neuen Informationen zu verbinden<sup>5</sup>, um die kognitive Belastung zu reduzieren. Aufgrund von diesem Mechanismus lässt sich eine falsche Theorie nicht ohne Weiteres durch eine alternative Theorie ersetzen. Denn der Prozess des Theoriwandels setzt eine Veränderung aller themenbezogener Informationen, auch aus dem Langzeitgedächtnis, voraus (vgl. [147]). Um die aufwändige Umstrukturierung bestehender Informationen zu umgehen, versuchen Lernende daher zunächst neue Informationen in bestehende Strukturen zu integrieren. Menschen mit einem größeren themenbezogenen

---

<sup>5</sup>Dies ist vergleichbar mit dem Prozess der Assimilation nach Piaget.

## 1. Theoretischer Teil

Wissensbestand haben mehr vernetzte Schemata im Langzeitgedächtnis vorliegen, wodurch sie auch ein größeres Repertoire an bestehenden Vorstellungen haben, mit denen sie die neuen Informationen vernetzen können. Selbst dann, wenn die Verbindung zwischen den neuen Informationen und den bestehenden Informationen nicht offensichtlich ist, verfügen diese Menschen über mehr feste Mechanismen, mit denen sie das gegebene Problem bearbeiten können [126]. Hingegen fehlen Menschen mit wenig themenbezogenem Vorwissen oft Strategien, die zur Bearbeitung des Problems notwendig wären, weshalb sie neuartige Probleme häufig nach sehr oberflächlichen Merkmalen bewerten [76, 28].

Hierzu ein physikbezogenes Beispiel: Zwei Lampen sind in Reihe geschaltet (Abb.1.4), jedoch leuchtet nur eine dieser Lampen.

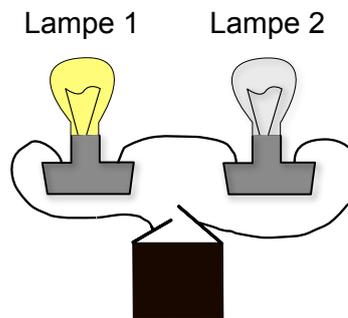


Abbildung 1.4.: Aufgabe zur Diagnostik von Fehlvorstellungen: Zwei Lampen werden in Reihe geschaltet, jedoch nur eine Lampe leuchtet. Erläutere!

Viele Studierende geben als Erklärung an, dass die Lampe, die nicht leuchtet, kaputt sein muss [80]. Diese Überlegung mag für den Alltag meist auch stimmen, sie vernachlässigt aber, dass es sich in diesem Beispiel nicht um eine Parallelschaltung, wie im Alltag üblich, sondern um eine Reihenschaltung handelt. Die Studierenden verlassen sich allein auf ihre Alltagserfahrungen, die auch scheinbar zum Ziel führen, ohne den grundsätzlichen Unterschied der Schaltungen zu bemerken.

An diesem Beispiel zeigt sich eine typische Entstehungsursache für falsche Vorstellungen nämlich eine “Über-Generalisierung” von Alltagserfahrungen auf andere Erfahrungsbereiche, wobei die grundsätzlichen Unterschiede der verschiedenen Erfahrungsbereiche nicht berücksichtigt werden. Durch “Über-Generalisierung” lassen sich sehr viele falsche Vorstellungen erklären wie zum Beispiel die “Verbrauchsvorstellungen von elektrischem Strom” [80] oder die Vorstellungen, dass “eine Kraft immer in Bewegungsrichtung wirken muss” [77].

### 1.3.7. Neurologische Grundlagen des Lernens

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die Bedeutung des Vorwissens für den Erwerb von neuen Informationen aus der Perspektive der Psychologie (Kapitel 1.3.1) und der fachdidaktischen Forschung (Kapitel 1.3.6) diskutiert. Dabei weisen die hier gewonnenen Erkenntnisse auf die enorme Bedeutung des Vorwissens für den Lernerfolg hin. Um die Bedeutung des Vorwissens für den Lernprozess noch weiter zu bekräftigen, wird in diesem Abschnitt der Lernprozess auf der Ebene der neurologischen Prozesse beim Lernen erörtert. Anschließend werden die verschiedenen Sichtweisen der unterschiedlichen Forschungsgebiete miteinander verglichen.

#### Neuronale Netzwerke

Das Gehirn besteht aus einem Netzwerk von Neuronen<sup>6</sup>. Die Verbindungen der einzelnen Neuronen innerhalb des neuronalen Netzwerkes sind für das Lernen entscheidend, denn ein erfolgreicher Lernprozess ist stets mit einer Veränderung des neuronalen Netzes verbunden. Die Neuronen beziehungsweise das neuronale Netz haben im Wesentlichen zwei Funktionen:

- Neuronen dienen als “Schalter”: Nur wenn die Eingangsreize eine bestimmte Schwelle überschritten haben, findet eine Verarbeitung und Weiterleitung der Informationen statt.
- Informationen werden im neuronalen Netz verarbeitet und gespeichert: Um zu verstehen wie die Verarbeitung und Speicherung erfolgt, lohnt ein Vergleich mit der Funktionsweise eines Computers: Anders als beim Computer besteht das Gehirn nicht aus einem zentralen Prozessor, sondern aus einer Vielzahl von vernetzten Neuronen (ca.  $10^{11}$  Neuronen). Die Verarbeitung von Informationen im Gehirn erfolgt nicht sequentiell wie beim Computer sondern parallel, indem viele verschiedene Neuronen im Gehirn gleichzeitig aktiviert sind. Auch bei der Speicherung der Daten besteht ein entscheidender Unterschied zwischen Computer und Gehirn: Informationen werden im Gehirn dezentral gespeichert. Dem gegenüber erfolgt die Speicherung im Computer adressatenbezogen an einer bestimmten Stelle.

Im Folgenden wird nun detaillierter beschrieben, wie Informationen innerhalb Nervenzellen (Neuronen) verarbeitet und zwischen Neuronen ausgetauscht werden:

---

<sup>6</sup>Genau genommen besteht das Netzwerk (neuronales Netzwerk) aus zwei Bestandteilen, den Nervenzellen und den Gliazellen. Gliazellen haben nach heutiger Erkenntnis verschiedene Funktionen: Sie bilden ein Stützgerüst für die Neuronen, sorgen für die elektrische Isolierung der Neuronen untereinander und versorgen zudem die Neuronen selektiv mit Sauerstoff und wesentlichen Nähr- und Botenstoffen [36].

## 1. Theoretischer Teil

Die **Nervenzellen** haben einen intrazellulären Aufbau, der weitgehend dem einer normalen Körperzelle entspricht (vgl. Abbildung 1.5). Die Besonderheiten der Nervenzellen liegen in ihren Funktionen:

- Aufnahme von Informationen über die Dendriten,
- Verarbeitung von Informationen im Zellkörper,
- Weiterleitung von Informationen über das Axon und die Synapsen.

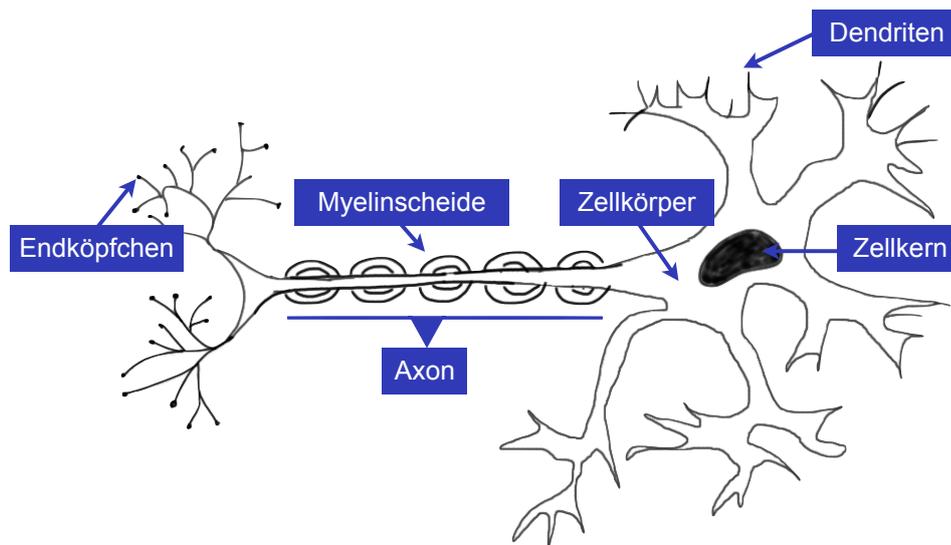


Abbildung 1.5.: Schematischer Aufbau einer Nervenzelle.

Das Axon ist ein länglicher Fortsatz der Zelle, das zu wesentlichen Teilen von den elektrisch isolierenden Myelinscheiden eingekleidet ist. In den nicht eingekleideten Bereichen sitzen in der Zellmembran Kanäle, die bestimmten Ionen (im wesentlichen Natrium- und Kalium-Ionen) das Passieren der Zellmembran ermöglichen.

Diese Ionenpumpen in der Zellmembran, sorgen für ein Konzentrationsgefälle zwischen der Außenseite und der Innenseite der Zelle. Dieses Potenzial wird als Ruhepotenzial ( $-70\text{mV}$ ) bezeichnet [2, 36].

Der Transport von Informationen entlang eines Neurons: Falls das Neuron über seine Dendriten ein Signal erhält, das über einen bestimmten Schwellenwert hinausgeht, so kommt es zu einer Depolarisation: “Das Neuron feuert”. Die Depolarisation wird dabei durch das Einströmen von Ionen verursacht. Das einst negative Ruhepotenzial kehrt nun für kurze Zeit sein Vorzeichen um und wird positiv<sup>7</sup>. Diese Spannungsänderung führt nun zu einer Kettenreaktion bei den angrenzenden Ionenpumpen. Auch hier kommt es zu einer lokalen Depolarisation. Auf diese Weise breitet sich das Signal mit einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von ca.  $120 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ( $432 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ) entlang eines kompletten Axons aus [2, 36, 50].

<sup>7</sup>Es besteht nun verübergend das Aktionspotential.

Die Informationsübermittlung zwischen Neuronen geschieht über Synapsen: Synapsen bezeichnen die Beinahe-Kontaktstelle zwischen den Dendriten und dem Axon. Der Informationsaustausch erfolgt in aller Regel chemisch über das Ausschütten von Botenstoffen. Die Botenstoffe diffundieren aus dem Axon in den synaptischen Spalt und gelangen so zu den Rezeptoren an den Dendriten [36, 25].

Bei diesen beschriebenen Prozessen müssen folgende zwei Aspekte gerade im Bezug auf Lernprozesse berücksichtigt werden [36]:

- Das “Alles-oder-nichts-Prinzip”: Das Neuron ist in der Lage, Aktivierungen über mehrere Synapsen zu addieren. Erst wenn eine bestimmte Schwelle überschritten ist, „feuert“ das Neuron und depolarisiert - was in einer Kettenreaktion dazu führen kann, dass weitere Neuronen, die mit diesem Neuron über Synapsen verbunden sind, ihre Aktivierungsschwelle erreichen und ebenfalls depolarisieren.
- Die “synaptische Plastizität”: Die Empfindlichkeit der Synapsen muss ausreichend sein. Insbesondere die chemische Informationsübertragung im synaptischen Spalt bietet die Möglichkeit, die Empfindlichkeit der Synapsen mit Hilfe weiterer chemischer Botenstoffe gezielt zu erhöhen und zu verringern. Weiterhin nimmt die Empfindlichkeit von Synapsen zu, die häufig gebraucht werden; Synapsen können aber auch gezielt abgebaut werden und verringern damit die Empfindlichkeit des Neurons.

### **Lernen in neuronalen Netzwerken**

Die “synaptische Plastizität” wird als Grundlage dafür gesehen, dass Neuronen Informationen verarbeiten und dabei lernen können. Bei diesem Verarbeitungsprozess verändert sich das neuronale Netz. Diese Veränderung kann auf verschiedene Weisen realisiert werden u.a. [131, S. 37]:

- Aufbau von neuen Synapsen/Verbindungen zwischen Neuronen,
- Abbau von bestehenden Synapsen/Verbindungen,
- Änderung der Wichtung zwischen den einzelnen Neuronen, indem die Empfindlichkeit der Synapsen beeinflusst wird,
- Änderung der Freisetzung von Botenstoffen,
- Entwicklung neuer Neuronen,
- Löschen bestehender Neuronen.

Zur Beschreibung, wie diese Veränderung vonstatten geht, werden im Rahmen der Forschung an künstlichen neuronalen Netzwerken verschiedene Lernregeln verwendet: *Hebb-Regel*, *Delta-Regel*, *Backpropagation* und *Competitive Learning*. Wegen ihrer Einfachheit und hohen biologischen Plausibilität wird die Hebb'sche Lernregel nun näher erläutert.

*“Wenn ein Axon der Zelle A (die) Zelle B erregt und wiederholt und dauerhaft zur Erzeugung von Aktionspotenzialen in Zelle B beiträgt, so resultiert dies in Wachstumsprozessen oder metabolischen Veränderungen in einer oder in beiden Zellen, die bewirken, dass die Effizienz von Zelle A in Bezug auf der Erzeugung eines Aktionspotenzials in B größer wird.”*

[132] zitiert nach [67, S. 700]

Oder kurz: *“Neurons that fire together, wire together”*. Eine häufig vorkommende gleichzeitige Aktivierung zweier Neuronen sorgt dafür, dass die synaptischen Verbindungen zwischen Neuronen verstärkt werden. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Aktivierung eines Neurons die Aktivierung eines anderen Neurons mit sich zieht.

Die Hebb'sche Lernregel findet bei der praktischen Forschung mit künstlichen neuronalen Netzen zum Beispiel bei der Gesichtserkennung breite Anwendung:

Bestimmte kennzeichnende Eigenschaften - Kanten, Flächen, Schatten - treten bei einem bestimmten Gesicht regelmäßig, gemeinsam auf. Dies bewirkt, dass auf der Netzhaut und im Sehzentrum des Menschen regelmäßig die gleichen Neuronen aktiviert werden, sobald zum Beispiel das Gesicht eines Elternteils gesehen wird. Die regelmäßige gleichzeitige Aktivierung bewirkt eine Verstärkung der Verbindung der beteiligten Neuronen gemäß der Hebb'schen Lernregel. Die neuronale Verstärkung und die verbesserte Effizienz bei der Aktivierung der verbundenen Neuronen bewirken, dass das Gesicht des Elternteils später auch unter sehr ungünstigen Bedingungen wie Dunkelheit oder auf größere Entfernung leicht wiedererkannt werden kann: Es müssen nur einzelne Merkmale des vertrauten Gesichtes die Netzhaut erreichen, um sofort den gesamten Komplex der mit dem Gesicht verbundenen/korrelierten Neuronen zu aktivieren.

### **Verbindung zur fachdidaktischen Forschung**

Die Verwendung dieser Lernregel kann auch als eine mögliche Erklärung aufgefasst werden, warum Alltagserfahrungen unreflektiert auf physikalische Experimente übertragen werden. Oft besteht nämlich eine strukturelle/optische Ähnlichkeit zwischen der Alltagssituation und der Situation im Experiment, wie dies bereits im vorherigen Kapitel 1.3.6 anhand der Abbildung 1.4 erläutert wurde. Erfahrungen aus dem Alltag haben dann dazu geführt, dass über viele Jahre die gleichen Neuronen regelmäßig gleichzeitig aktiviert wurden und so sich ihre Verbindungen verstärkten. Bei der Konfrontation mit dem physikalischen Experiment werden wegen der strukturellen Ähnlichkeit einzelne Neuronen

aktiviert, die wiederum die mit ihnen verbundenen Neuronen aktivieren. Auf diese Weise kommt es zu einer Übergeneralisierung des Wissens – vom Alltag auf physikalische Experimente.

### **Verbindung zum Arbeits- und Langzeitgedächtnis**

Auch aus neurologischer Sicht lassen sich die Ideen der Cognitive Load Theory und der damit verbundenen Rolle des Vorwissens untermauern:

Die etwa  $10^{11}$  Nervenzellen im menschlichen Gehirn mit ihren bis zu  $10^{14}$  möglichen synaptischen Verbindungen liefern ein nahezu unerschöpfliches Potenzial, um Schemata, erfolgreiche Strategien und Handlungsmuster dauerhaft verfestigt in einem **Langzeitgedächtnis** “abzulegen”. Das Langzeitgedächtnis wird demnach durch die Verbindungen und die Wichtungen der Neuronen bestimmt.

Das **Arbeitsgedächtnis** wird durch den Aktivitätszustand der Neuronen wiedergespiegelt. Dauerhafte Aktivierung gleicher Neuronen führt dazu, dass sich zwischen den Neuronen Synapsen ausbilden und Wissen langfristig gespeichert wird. Der umgekehrte Fall ist natürlich auch denkbar: Wenn das Wissen nicht wiederholt wird, die Neuronen also nicht zusammen aktiviert werden, bauen sich die Verbindungen wieder ab.

Das hier beschriebene Verständnis des Arbeitsgedächtnisses lässt sich jedoch nicht 1:1 auf das beschriebene Arbeitsgedächtnis im Rahmen der CLT übertragen. Sweller [153] geht davon aus, dass das Arbeitsgedächtnis gleich dem Bewusstsein ist, in dem nur eine geringe Anzahl von Informationen gleichzeitig verarbeitet werden können. Das Arbeitsgedächtnis aus neurologischer Sicht wird durch die Aktivierung von Neuronen beschrieben. Diese Aktivierung kann in das Bewusstsein gelangen, muss jedoch nicht zwingend. Ein Großteil der Aktivierungen verlaufen unbewusst, haben aber dennoch Einfluss auf bewusste Entscheidungen, wie anhand des Beispiels der Übergeneralisierung von Alltagswissen gezeigt wurde: Obwohl die Verbindung von Alltagserfahrungen und physikalischem Experiment (häufig) nicht bewusst ist, werden diese Erfahrungen dennoch übertragen.

Wie bei der CLT wird auch durch die Betrachtung von Lernprozessen innerhalb von neuronalen Netzen die Bedeutung des Vorwissens für den Lernerfolg deutlich. Denn ob ein Lernprozess erfolgreich ist, hängt entscheidend davon ab, welche Informationen im neuronalen Netz auf welche Weise gespeichert wurden [131]: Wissen, das bereits gelernt wurde, kann leicht durch eine gezielte Aktivierung der Neuronen aktiviert werden.

Neues Wissen, komplexere Handlungen und noch ungelöste Probleme erfordern Aufmerksamkeit. Dabei erfolgt die Ermittlung der richtigen Neuronen durch Ausprobieren oder aufgrund von gemachten Erfahrungen.

Der Umgang mit bereits gelernten und neuen Informationen zeigt eine deutliche Ähnlichkeit zur CLT:

Aufnahme von Wissen...		
in:	neuronalen Netzen	Cognitive Load Theory
Es besteht Vorwissen	Das Vorwissen kann leicht durch eine gezielte Aktivierung (weniger) Neuronen aktiviert werden. Anschließend kann das neue Wissen mit den bestehenden in Verbindung gebracht werden.	Das Wissen kann gezielt auf Grundlage der bestehenden Schemata interpretiert und integriert werden. Die kognitive Belastung ist niedrig.
Es besteht wenig/ kein Vorwissen	Die Ermittlung der richtigen Neuronen erfolgt durch Ausprobieren oder aufgrund von gemachten Erfahrungen.	Es werden verschiedene Schemata ausprobiert, um das neue Wissen angemessen zu verarbeiten. Die kognitive Belastung ist dabei sehr hoch.

Tabelle 1.2.: Vergleich der Bedeutung des Vorwissen in der Theorie der neuronalen Netze und der CLT.

### 1.3.8. Gestaltung von Lernprozessen

Es schließt sich nun die Frage an, wie Lernumgebungen gestaltet werden sollten. Die eindeutige Beantwortung dieser Frage ist jedoch nicht pauschal möglich.

Man betrachte hierzu exemplarisch zwei unterschiedliche Lehrmethoden: „Das entdeckende Lernen“ und das „darbietende Lernen“. Diese beiden unterschiedlichen Lehrmethoden lassen sich durch den Grad der Steuerung des Lehr-Lernprozesses unterscheiden. Entdeckendes Lernen beruht auf der Annahme, dass Lernende ihr Wissen nur durch eigene kognitive Aktivitäten erlangen [113]. Lehrmethoden, die entdeckendes Lernen propagieren, zeichnen sich daher durch eine Zentrierung auf den Lernenden aus. Dabei bedeutet entdeckendes Lernen nicht, dass neue Forschungsergebnisse erzielt werden, sondern, dass ausschließlich subjektiv Neues für den Lernenden entdeckt wird. Diese Methode soll eine stärkere intrinsische Motivation sowie längeres Behalten und ein verbessertes Handlungswissen bezogen auf den Umgang mit Informationen bewirken (z. B. [74, 113]).

Wird der Unterricht durch den Lehrenden in einem Wechselspiel von Lehrerfragen und Schülerantworten sowie Übungs- und Anwendungsaufgaben mit steigenden Schwierigkeitsgrad gesteuert, dann spricht man vom einen darbietenden Lehrverfahren. Das zu vermittelnde Wissen knüpft dabei gezielt an das Vorwissen der Lernenden an, sodass eine Integration in die vorhandenen Wissensstrukturen erfolgen kann. Dieses sinnvolle rezeptive Lernen gilt als effektiver, wenn es um Lernen und Behalten von begrifflichen Strukturen geht (z. B. [74, 69]).

Neben der Rolle des Lernenden und Lehrenden unterscheiden sich demnach auch die Lernziele, die angestrebt werden: Darbietendes Lernen strebt die Vermittlung eines gefestigten Vorrats von anwendbarem Wissen an. Beim entdeckenden Lernen liegt der Fokus auf der Entwicklung der Fähigkeit, verschiedene Probleme selbstständig zu lösen sowie

der Förderung der Motivation (vgl. [74, 69]). Da die Lernziele sich offensichtlich deutlich voneinander unterscheiden, ist es kaum verwunderlich, dass dies auch die Lehrmethoden tun.

Neben den Lernzielen müssen jedoch auch die Lernvoraussetzungen der Lernenden bei der Entscheidung über die geeignete Lehrmethode berücksichtigt werden. Tuovinen und Sweller [160] haben in einer Vergleichsstudie untersucht, welche Lehrmethode - freies Explorieren oder gelenktes Anleiten - im Hinblick auf den Erwerb von Wissen günstiger ist. Die Daten wurden unter Berücksichtigung des vorhandenen Vorwissens der Lernenden ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass Lernende, die über kein relevantes Vorwissen verfügen, bei der gelenkten Methode signifikant besser sind als bei freier Exploration. Hingegen zeigt sich, dass Lernende mit relevantem Vorwissen weder bei der explorativen noch bei der gelenkten Methode signifikant besser sind. Vergleichbare Ergebnisse findet man unter anderem auch bei David Klahr und Milena Nigam [72].

Aufgrund dieser Ergebnisse kann man also folgern, dass bei Lernenden mit wenig Vorwissen zunächst gelenkte Unterrichtsformen, wie zum Beispiel beim darbietenden Lernen, erfolgversprechender sind. Neben dem Erwerb von Wissen sollte jedoch die Förderung des Handlungswissens nicht vernachlässigt werden. Dies ist wahrscheinlich das wichtigste Ziel des entdeckenden Lernens durch explorative Zugänge.

Lernende behalten offensichtlich die Inhalte am besten auf denen der Schwerpunkt im Lehr-Lernprozess liegt. Das bedeutet mit anderen Worten, dass bei einem Zugang, der den Lernenden mehr Handlungsspielraum lässt, um explorativ Wissen zu konstruieren, mehr Handlungswissen erworben wird, währenddessen bei einem stärker gelenkten Zugang mehr Fachwissen vermittelt wird.

“Nimmt man also alles in allem, so erscheint eine Kombination der beiden Lernverfahren günstig, vorausgesetzt es gelingt, die beiden Vorteile zu vereinen.” [74, S. 163]

Verschiedene Lehrkonzepte sind demnach:

“keineswegs generell ungeeignet, sie sind lediglich nicht generell geeignet” [117, S. 18]

Die Entscheidung über das Verhältnis von konstruktiven und instruktiven Phasen ist somit insbesondere abhängig vom Vorwissen der Lernenden und den Lernzielen – die zunächst analysiert werden müssen. Erst dann kann eine Entscheidung für eine geeignete Lehrform erfolgen.

## 1.4. Zusammenfassung

Die vorangestellten Abschnitte haben einen Überblick über Lerntheorien sowie ausgewählte Aspekte gegeben, die das menschliche Lernen beim Experimentieren beeinflussen. Dabei wurde insbesondere die Rolle des Vorwissens für den Erwerb von neuen Informationen diskutiert.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen soll bei der Umgestaltung der experimentellen Übungen für Lehramtsstudierende an der Universität zu Köln wie folgt vorgegangen werden:

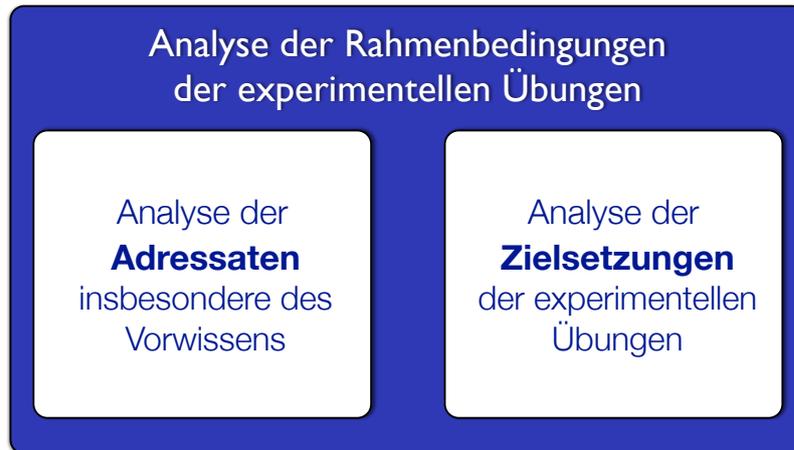


Abbildung 1.6.: Vorgehen bei der Umstrukturierung der experimentellen Übungen.

- Die Klärung der Zielsetzungen: denn abhängig von der jeweiligen **Zielsetzung** sollte das geeignetste lerntheoretische Verfahren ausgewählt werden (vgl. Kapitel 1.2).
- Eine Analyse der Adressaten (Lernende): denn abhängig von dem themenbezogenen **Vorwissen** der Lernenden sollen durch die Lernmaterialien instruktive und konstruktive Phasen des Experimentierens aufeinander abgestimmt werden (vgl. Kapitel 1.3)
- Die Berücksichtigung der **Rahmenbedingungen** in der die Veranstaltung stattfinden soll: denn die aus der Analyse der Zielgruppe und der Analyse der Zielsetzungen abgeleiteten Forderungen müssen in den gegebenen Rahmenbedingungen umsetzbar sein.

Die Idee, dass man bei der Gestaltung der Lehr-Lern-Situationen das themenbezogene Vorwissen und die Zielsetzungen berücksichtigen sollte, ist keineswegs neu. Diese Forderung findet man beispielsweise auch in der didaktischen Rekonstruktion [68] wieder (Abbildung 1.7). Ursprünglich wurde das Modell der didaktischen Rekonstruktion für den Schulunterricht entwickelt. Heike Theyßen [157] adaptierte dieses Modell zur Ent-

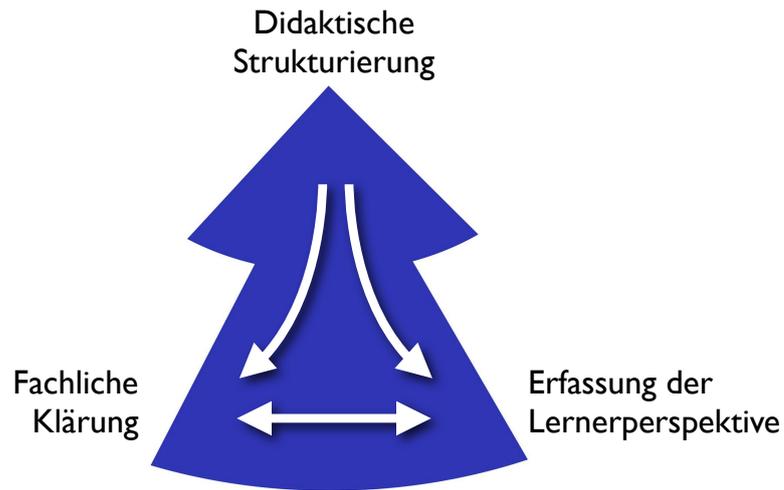


Abbildung 1.7.: Das Modell der didaktischen Rekonstruktion.

wicklung eines experimentellen Praktikums für Mediziner und Knut Neumann [115] zur Entwicklung eines Praktikums für Physiker.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit wird es sein, die experimentellen Übungen im Hinblick auf die Anforderungen des Lehrerberufes auszurichten. Dazu gehört unter anderem die Umsetzung der Forderungen aus dem Lehrerausbildungsgesetz vom Mai 2009 [88]. Hinzu kommt, dass stärker als in den Arbeiten von Neumann und Theyßen der Aspekt der “didaktischen Strukturierung” im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion (vgl. Abbildung 1.7) hinterfragt werden soll. So soll der klassische Ablauf von experimentellen Übungen unter Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen der Universität zu Köln und unter Berücksichtigung der vorgestellten pädagogisch-psychologischen Erkenntnisse grundsätzlich überdacht werden.

## **2. Die experimentellen Übungen für Lehramtsstudierende an der Universität zu Köln**

Die Beschreibung der Rahmenbedingungen (Kapitel 2.1) und der Struktur der experimentellen Übungen (Kapitel 2.2) erfolgte auf der Grundlage der Daten aus dem Wintersemester 2008/2009.

### **2.1. Analyse der Rahmenbedingungen für die experimentellen Übungen**

#### **2.1.1. Studienbedingte Rahmenbedingungen**

Die experimentellen Übungen für Anfänger werden gemeinsam von Studierenden der folgenden Lehrämter besucht:

- Lehramt Grund-, Haupt- und Realschulen und den entsprechenden Jahrgangsstufen der Gesamtschule mit Schwerpunkt Haupt- und Realschulen (GHR/HR), Unterrichtsfach: Physik,
- Lehramt Grund-, Haupt- und Realschulen und den entsprechenden Jahrgangsstufen der Gesamtschule mit Schwerpunkt Grundschule (GHR/G), Unterrichtsfach: Naturwissenschaften mit dem Leitfach Physik,
- Lehramt Sonderpädagogik (SoPäd),
  - großes Fach: Lernbereich Naturwissenschaften, Leitfach Physik,
  - kleines Fach: Lernbereich Naturwissenschaften, Leitfach Physik,
  - großes Fach: Physik,
  - kleines Fach: Physik.

### Zusammensetzung der experimentellen Übungen

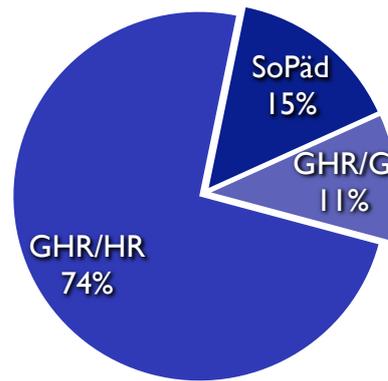


Diagramm 2.1: Aufteilung der Studierenden nach Studienfach.

Der überwiegende Teil der Lehramtsstudierenden sind Studierende mit dem Lehramt GHR (Diagramm 2.1). Die fachliche Ausbildung – der Lehramter GHR/HR und GHR/G, der Sonderpädagogen mit großem Fach Naturwissenschaften und der Sonderpädagogen mit großem Fach Physik – unterscheidet sich im physikalischen Grundstudium nicht. Die Veranstaltung „Experimentelle Übungen für Anfänger“ umfasst im Grundstudium 4 SWS<sup>1</sup> und wird immer in zwei aufeinanderfolgenden Semestern angeboten. In der Regel besuchen die Studierenden die experimentellen Übungen in ihrem zweitem und drittem Fachsemester. Im Verlauf des Lehramtsstudiums dient diese Veranstaltung zur Einführung und Vertiefung physikalischer Grundphänomene und hat zusätzlich das Ziel, verschiedene Eingangsvoraussetzungen im Bereich der Experimentierfertigkeiten auszugleichen (vgl. [1]). Bei den Sonderpädagogen – mit kleinem Fach Naturwissenschaften beziehungsweise mit kleinem Fach Physik – zählen 2 SWS zum Grundstudium und 2 SWS zum Hauptstudium. Die fachlichen Inhalte der experimentellen Übungen unterscheiden sich jedoch nicht. Im Zuge der Umstellung auf den Bachelor- und Masterstudiengang werden die experimentellen Übungen unter der Bezeichnung “Physikalisches Praktikum für Anfänger” in den Modulen *Fachwissen und Basiskonzepte 1/2* im zweiten und dritten Fachsemester in einem Umfang von 180 Arbeitsstunden<sup>2</sup> stattfinden. Das Praktikum wird in zwei Teilen mit den Schwerpunkten Mechanik/Wärmelehre und Elektrik/Optik gegliedert, entsprechend den thematischen Schwerpunkten der Eingangsmodule. Aus den Modulbeschreibungen ergibt sich, dass die Studierenden nach Abschluss der Grundlagenvorlesungen den Aufbau grundlegender Experimente zur Mechanik und Wärmelehre beziehungsweise zur Elektrik und Optik beherrschen sowie Sicherheit im Umgang mit Messgeräten und Auswertungsverfahren erlangen sollten. Die beiden Module werden einheitlich im Studiengang “Hauptschule/ Realschule” und “Sonderpädagogik” verwendet und gehen mit 10% (HR) beziehungsweise mit 20% (SoPäd) in die Endnote ein.

<sup>1</sup>Semester-Wochen-Stunden (SWS)

<sup>2</sup>180 Arbeitsstunden entsprechen 6 Credit Points (ECTS)

### **2.1.2. Organisatorische Rahmenbedingungen**

Aus Gründen der Raumverteilung können die experimentellen Übungen während der Vorlesungszeit immer nur an einem Wochentag stattfinden, da an den anderen Wochentagen die Laborräume bereits belegt werden oder es zu Überschneidungen mit Veranstaltungen anderer Studiengänge kommt. In der Regel werden die Versuche in kleinen Gruppen aus zwei bis drei Studierenden durchgeführt. Eingerahmt wird die Versuchsdurchführung durch eine Vorbesprechung mit dem Versuchsbetreuer und der Auswertung der Ergebnisse in einem Protokoll. Mit der Betreuung der Versuchsgruppen sind drei wissenschaftliche MitarbeiterInnen beauftragt. Jeder Mitarbeiter kann zwei Gruppen gleichzeitig betreuen. Im Schnitt können somit bis zu 18 Studierende an den experimentellen Übungen pro Semester teilnehmen. Durch die wachsende Anzahl der Studierenden muss die Kapazität der experimentellen Übungen jedoch erhöht werden, obwohl die räumliche Kapazität nach wie vor begrenzt ist. Bei der Umstrukturierung muss dieser Umstand berücksichtigt werden.

## **2.2. Beschreibung der bestehenden experimentellen Übungen**

### **2.2.1. Ablauf der experimentellen Übungen**

Vor dem Kolloquium bereiten sich die Studierenden mit Hilfe von Versuchsunterlagen, die als Kopiervorlage in den Laborräumen oder zum Teil im Internet zum Download bereitgestellt werden, vor. Im Kolloquium werden die Studierenden von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter über die fachlichen Inhalte und das experimentelle Vorgehen beim Versuch befragt. Nach dem Ermessen und der Einschätzung des Mitarbeiters dürfen die Studierenden dann unter dessen Aufsicht mit der Versuchsdurchführung beginnen. Die Auswertung der Messwerte unter Berücksichtigung der theoretischen Überlegungen erfolgt in einem Protokoll, das erneut von einem Mitarbeiter anerkannt werden muss. Insgesamt umfassen die experimentellen Übungen 22 Versuche – das entspricht 11 Versuchen, die jeder Studierende in einem Semester bearbeiten muss.

### **2.2.2. Fachliche Inhalte der Versuche**

Die experimentellen Übungen beinhalten verschiedene Versuche aus dem Bereich der Mechanik, Wärmelehre, Elektrizität und Optik. Mit der Umstrukturierung des Lehramtsstudiums [18, 57, 19] im Zuge der Neubesetzung des Lehrstuhls für Physik und ihre Didaktik wurde auch eine Überarbeitung der experimentellen Übungen nötig. Viele Versuche sind

in den vergangenen Jahren nicht mehr angepasst worden. Dies hat zur Folge, dass in vielen Fällen für die Versuche physikalisches Wissen vorausgesetzt wird, das jedoch nicht mehr Bestandteil der Grundlagenvorlesungen ist. Im Gegensatz dazu werden Schwerpunkte der Grundlagenvorlesung nicht durch Versuche abgedeckt.

### 2.2.3. Kritik an den bestehenden experimentellen Übungen aus Studierendensicht

Zur Erfassung der Vorstellungen, Wünsche und der Probleme bei den bestehenden experimentellen Übungen wurde zu Beginn des Wintersemesters 2008/2009 eine anonyme Umfrage durchgeführt. Auf folgenden Gründen wurde diese Umfrage elektronisch auf der E-Learning-Plattform **ILIAS** (Integriertes Lern-, Informations- und Arbeitskooperations-System) realisiert:

- Die Studierenden konnten in einem angegebenen Zeitraum von 2 Wochen die Umfrage zu einem flexiblen Zeitpunkt und an einem beliebigen Ort bearbeiten.
- Alle Studierende konnten über die elektronische Umfrage erreicht werden, da alle Studierenden mit der Einschreibung an der Universität zu Köln einen Zugang zu ILIAS erhalten.
- Die Daten wurden direkt elektronisch erfasst und konnten dann in ein beliebiges Bearbeitungsprogramm ohne aufwändiges Transkribieren exportiert werden. Die Antworten auf die einzelnen Items wurden zum Teil automatisch durch die Umfrageausgabe in ILIAS zusammengefasst. So wurde zum Beispiel automatisch der Median ordinalskalierteter Items ermittelt und Histogramme zu den einzelnen Fragen angeboten. Bereits ohne aufwändige Analyse war somit unmittelbar nach Beendigung der Umfrage eine Tendenz der Ergebnisse erkennbar (vgl. Anhang A.3).

Die Umfrage (Anhang: A.1) bestand aus verschiedenen Aussagen zur Selbsteinschätzung der eigenen Motivation (4 Items), den Anforderungen der Versuche (3 Items), zu der fachlichen Vertiefung durch die Versuche (7 Items) und zur organisatorischen Umsetzung der experimentellen Übungen (3 Items). Die Studierenden wurden aufgefordert den Grad ihrer Zustimmung zu jeder Aussage auf einer Likert-Skala von „1 - trifft zu“ bis „6 - trifft nicht zu“ anzugeben. Hinzu kamen zwei Fragen mit offenem Antwortformat, in denen die Studierenden die Vor- und Nachteile der bestehenden experimentellen Übungen benennen sollten. Diese Antworten wurden zunächst nach qualitativen Methoden kategorisiert und anschließend wurde eine Häufigkeitsanalyse [98] durchgeführt. An der Umfrage haben 21 Studierende teilgenommen, die die experimentellen Übungen im Wintersemester 2008/2009 durchführt haben.

## 2. Die experimentellen Übungen für Lehramtsstudierende an der Universität zu Köln

Eine Analyse der Ergebnisse zeigte, dass die größten Defizite der bestehenden Veranstaltung nicht in der mangelnden Akzeptanz der Versuchsinhalte liegen: So wurden die Versuche für die Ausbildung als relevant betrachtet, und es wurde bestätigt, dass die Versuche helfen, das physikalische Wissen zu vertiefen. Insgesamt wichen nur drei Aussagen von einer guten bis mittleren Bewertung der experimentellen Übungen ab. Die Studierenden bemängelten, dass die Versuchsunterlagen oftmals nicht zur Versuchsvorbereitung ausreichten. Die Anforderungen des Versuches blieben den Studierenden oftmals bis zur Versuchsbesprechung unmittelbar vor dem Versuch oder sogar bis zur Versuchsdurchführung unklar. Diese Probleme aus Sicht der Studierenden bestätigen sich auch bei der Betrachtung der Fragen „Welche Probleme sind bei der Versuchsvorbereitung, der Versuchsdurchführung und beim Erstellen des Protokolls aufgetreten?“ Die insgesamt 15 Antworten wurden analysiert im Hinblick auf allgemeine Probleme der experimentellen Übungen, die sich nicht auf Besonderheiten eines bestimmten Versuchs beziehen. Als minimale Analyseeinheit wurde ein vollständiger Satz oder ein Aufzählungspunkt festgelegt, in dem das Problem beschrieben wurde.

Nach mehrmaliger Überprüfung konnten die aufgelisteten Probleme in vier Kategorien sortiert werden: *zeitliche Probleme*, *fachliche Probleme*, *emotionale Probleme* und *Probleme durch unklare/uneinheitliche Anforderungen*:

Unter *organisatorische Probleme* wurden alle Äußerungen gefasst, die auf einen zu großen zeitlichen Aufwand der experimentellen Übungen hinweisen.

Die Kategorie *fachliche Probleme* beinhalten Hinweise auf mangelndes physikalisches Verständnis der Studierenden. Als Grund für die fachlichen Probleme wurde von den Studierenden angegeben, dass das Wissen, das im Versuch verlangt wurde, nicht durch Inhalte der Vorlesung abgedeckt wurde oder die Versuchsbeschreibung unverständlich war. Die meisten Probleme lassen sich durch die Kategorie *unklare und einheitliche Anforderungen* abdecken. Diese Kategorie umfasst Bemerkungen wie „Die Anforderungen sind teilweise völlig undurchsichtig“, „Die Anleitungen geben nicht immer her, was genau gefordert wird und wie die Theorie mit dem Versuch zusammenhängt.“ oder „Bei manchen Kolloquien wusste ich nicht, welche Vorkenntnisse ich für das Kolloquium haben musste, um dies zu bestehen.“

Die letzte Kategorie *emotionale Probleme* fasst emotionale Äußerungen zusammen, zum Beispiel: „Oftmals gerät man so unter Stress, dass man trotz guter Vorbereitung das Gefühl hat, das Praktikum nicht zu packen“ oder „Es kommt vor, dass die Prüfungsangst so groß ist, dass man nicht in der Lage ist das Kolloquium gut zu bestehen.“

Das Diagramm 2.2 zeigt die prozentualen Häufigkeiten mit der das jeweilige Problem in den Antworten genannt wurde: 33% der Antworten beinhalteten demnach Hinweise auf zeitliche und fachliche Probleme, 27% beschrieben emotionale Probleme und 80% der Studierenden beklagten sich über uneinheitliche und unklare Anforderungen. Eine Analyse der Antworten auf die Frage „Was hat Ihnen im Praktikum gut gefallen“ zeigte, dass viele Studierende durch das Experiment die theoretischen Inhalte besser verstanden

## 2. Die experimentellen Übungen für Lehramtsstudierende an der Universität zu Köln

haben und sie das selbstständige Experimentieren sowie den direkten Austausch mit den Dozenten schätzten (genaue Analyse: Anhang A.1).

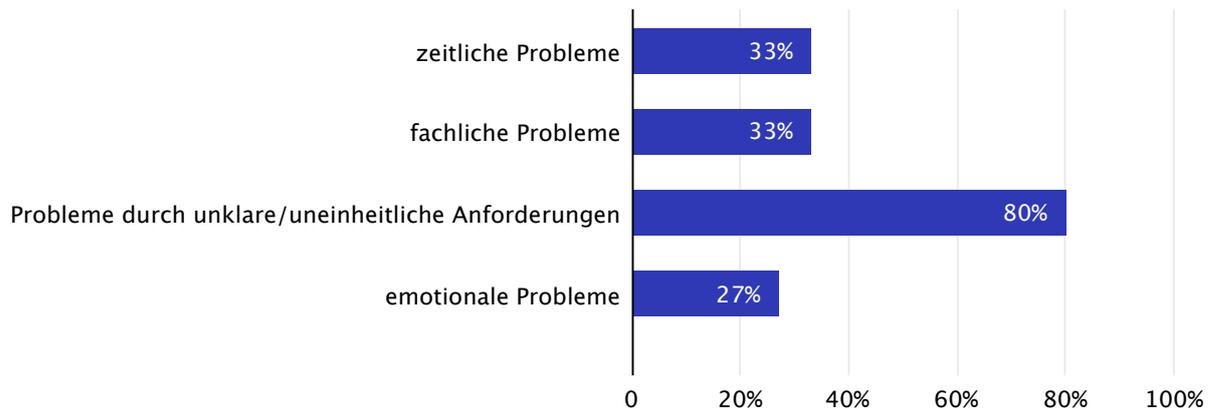


Diagramm 2.2: Häufigkeitsanalyse der beschriebenen Probleme auf die Frage: „Welche Probleme sind bei der Versuchsvorbereitung, der Versuchsdurchführung und beim Erstellen des Protokolls aufgetreten?“

### 2.2.4. Kritik an den bestehenden experimentellen Übungen aus Dozentsicht

Da zu Beginn des Wintersemesters 2008/2009 nur drei Dozenten die experimentellen Übungen betreut haben, wurde hier auf eine Umfrage verzichtet und stattdessen die Dozenten in einem Gespräch über Probleme mit dem Praktikum befragt. Im Gespräch wurde darauf hingewiesen, dass viele Studierende meist unvorbereitet zu den Versuchen kommen. Oft scheint es so, als hätten die Studierenden die Versuchsunterlagen erst kurz vor der Versuchsdurchführung überflogen, ohne die für den Versuch zentralen physikalischen Hintergründe zu verstehen. Dies äußert sich vor allem darin, dass viele Studierende nicht wissen, welche physikalischen Größen sie messen sollen und wie die Auswertung der Daten erfolgen muss. Im Kolloquium vor dem Versuch müssen deshalb die Grundlagen wiederholt werden, um ein sinnvolles und auch sicherheitsgerechtes Arbeiten zu ermöglichen. Dies ist natürlich sehr zeitaufwändig, wodurch der Ablauf des Praktikums häufig erheblich gestört wurde. Zudem zeigten sich die Studierenden ungeübt im Umgang mit einfachen Messgeräten, wie zum Beispiel Multimetern sowie im Aufbau von Versuchen, insbesondere der Verdrahtung von elektrischen Schaltungen.

## 2.3. Einschätzung des Vorwissens der Studierenden

Das Vorwissen der Studierenden (Diagramm 2.3) ist als heterogen einzuschätzen. Viele Studierende haben in der Schule einen Leistungskurs Physik besucht, andere einen Grundkurs und einige Studierende haben in der Oberstufe gar keinen Physikkurs belegt.

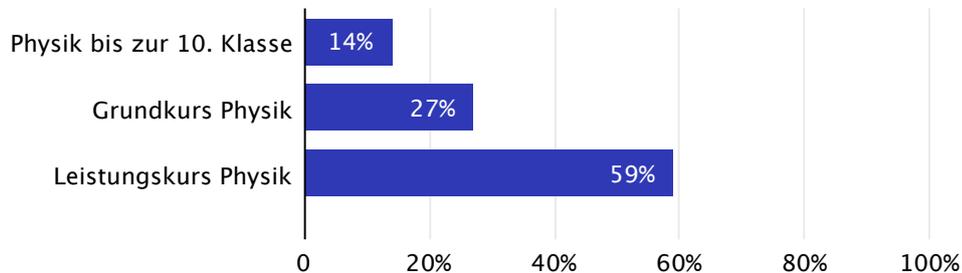


Diagramm 2.3: Physikkurse, die die Studierenden in der Oberstufe belegt haben.

Untersuchungen bei dieser Studierendengruppe aus den vergangenen Jahren zeigten zudem, dass viele Studierende zahlreiche falsche physikalische Vorstellungen zu Beginn ihres Studiums mitbringen. In der Elektrizitätslehre zeigten sich falsche Vorstellungen bei der Betrachtung der elektrischen Spannung, Stromstärke und des elektrischen Widerstandes in einfachen elektrischen Stromkreisen [80]. In der Mechanik wurden unter anderem falsche Vorstellungen bei der Betrachtung von Kräften, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen festgestellt [77].

Es scheint demnach ratsam, zu Beginn des Studiums elementares physikalisches Wissen zu wiederholen, um die verschiedenen Eingangsvoraussetzungen der Studierenden anzugleichen. Denn nur wenn dieses Wissen erworben wurde, kann der Erwerb von hierauf aufbauendem Wissen gelingen.

## 2.4. Ziele der experimentellen Übungen

### 2.4.1. Fachliche Ziele der experimentellen Übungen

Im ersten Kapitel wurden bereits fachlich orientierte Ziele des Experimentierens erläutert (Kapitel 1.1.2), die so, wie sie verfasst worden sind, sowohl für Lehramtsstudierende als auch für Physikstudierende mit dem angestrebten Studienabschluss Diplom, Bachelor oder Master zutreffen:

- Verbindung von Theorie und Praxis herstellen;
- experimentelle Fähigkeiten erwerben;

## 2. Die experimentellen Übungen für Lehramtsstudierende an der Universität zu Köln

- Methoden des wissenschaftlichen Denkens erwerben;
- eigenes Wissen im Versuch überprüfen.

Die experimentellen Übungen für Lehramtsstudierende an der Universität zu Köln werden zu Beginn des Studiums belegt. Daher ist es natürlich schwierig, alle fachlich orientierten Ziele in jedem Versuch angemessen zu verwirklichen. Es erscheint daher sinnvoll, bei den Versuchen Schwerpunkte zu bilden und den Studierenden zusätzlich Hilfestellungen anzubieten. Dadurch können auch die verschiedenen Eingangsvoraussetzungen der Studierenden ausgeglichen werden.

Ziel ist ein fundiertes, anschlussfähiges, physikalisches Grundwissen für alle physikalischen Bereiche, die auch durch die Grundlagenvorlesung abgedeckt werden.

Ein zukunftsorientiertes Lehramtsstudium verlangt natürlich auch nach einer lehramtspezifischen Ausbildung, die sich von der Ausbildung in fachwissenschaftlichen Studiengängen unterscheidet. Dabei sollen insbesondere die speziellen Anforderungen des Lehrerberufes stärker berücksichtigt werden. Diese Anforderungen werden im nächsten Abschnitt erläutert.

### 2.4.2. Lehramtsspezifische Ziele

Nach den Ergebnissen der internationalen Schulleistungstudien wie IGLU<sup>3</sup>, TIMSS<sup>4</sup> und PISA<sup>5</sup> wurden in Deutschland Bildungsstandards und neue Lehrpläne eingeführt. Bisher stand eine Input-Steuerung im Vordergrund: Umfangreiche Lehrpläne mit Vorgaben was und wie unterrichtet werden soll. Nun geht der Trend zur Output-Steuerung: Hier erfolgt die Steuerung durch Zielbeschreibungen in den Bildungsstandards, deren Umsetzung in der Bildungspraxis kontrolliert werden soll (vgl. [130]). Kompetenzmodelle sollen hierbei die Funktion der Vermittlung zwischen den abstrakten Bildungszielen und konkreten Testaufgaben übernehmen (vgl. [137]). Die Bildungsstandards stellen die Lehrer vor die Aufgabe, die Entwicklung von Kompetenzen bei ihren Schülern zu begleiten, individuell zu fördern und zu überprüfen.

Weitere Kompetenzen, die im Laufe des Studiums erworben werden sollen, werden unter anderem durch das Gesetz für die Ausbildung für Lehrämter an öffentlichen Schulen [88, §2] deutlich:

„[...] Ausbildung und Fortbildung einschließlich des Berufseingangs orientieren sich an der Entwicklung der grundlegenden beruflichen Kompetenzen für Unterricht und Erziehung, Beurteilung, Diagnostik, Beratung, Kooperation und

---

<sup>3</sup>Internationale Grundschul-Lese-Untersuchung

<sup>4</sup>Trends in International Mathematics and Science Study

<sup>5</sup>Programme for International Student Assessment

## 2. Die experimentellen Übungen für Lehramtsstudierende an der Universität zu Köln

Schulentwicklung sowie an den wissenschaftlichen und künstlerischen Anforderungen der Fächer. Dabei ist die Befähigung zur individuellen Förderung von Schülerinnen und Schülern und zum Umgang mit Heterogenität besonders zu berücksichtigen.”

und durch die “Ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen” [10, S. 38: Anforderungen für das Fach Physik]:

“Sie [Studienabsolventinnen und -absolventen] verfügen über erste reflektierte Erfahrungen im Planen und Gestalten strukturierter Lehrgänge (Unterrichtseinheiten) sowie im Durchführen von Unterrichtsstunden.”

Anforderungen, die hierüber hinaus eine zukunftsorientierte Lehrerbildung ausmachen, werden im Abschlussbericht der Kultusministerkonferenz erläutert (vgl. [84]): Hier werden – neben strukturellen Überlegungen und Diskussionen über das Verhältnis von Theorie und Praxis in der Ausbildung – unter anderem auch neuere Anforderungen durch interkulturelles Lernen und Neue Medien thematisiert. So ist es beispielsweise auch die Aufgabe der Fachdidaktik, den Einsatz von Medien unter Aspekten der Effektivität und der Erfordernis des Methodenwechsels kritisch zu prüfen. Dabei sollen die Lehrer und Lehrerinnen unter anderem die Fähigkeit erwerben, Medien didaktisch und methodisch sinnvoll einzusetzen, Lernsoftware nach pädagogischen Gesichtspunkten zu beurteilen und einzusetzen und neue Unterrichts- bzw. Lernformen zu entwickeln (vgl. [10]).

Trotz aller Anforderungen an die Lehrerausbildung wird an der bestehenden Lehrerausbildung vor allem die fehlende didaktische Konsistenz universitärer und schulischer Lehr-Lern-Formen bemängelt (z. B. [110, 104]). Denn die Lehrerausbildung orientiert sich häufig nicht an den Qualitätsmerkmalen, die sie für guten Schulunterricht ansetzt und die die Studienabsolventinnen und -absolventen in ihren Unterricht umsetzen sollen. Dabei ist die Annahme naheliegend, dass der angehende Lehrer oder die angehende Lehrerin die Befähigung, beispielsweise zur individuellen Förderung und zur Diagnostik, besser erlernt, wenn er oder sie damit auch selbst im Studium Erfahrungen gemacht hat (z. B. [5, S. 5f.]).

## 2.5. Zusammenfassung

Erfassung der Probleme bei den experimentellen Übungen		
Studierende Probleme durch...	Dozenten Probleme durch...	Studienordnung Probleme durch...
1. unklare Anforderungen 2. fachliche Schwierigkeiten 3. zeitlicher Aufwand	1. mangelnde Vorbereitung 2. heterogenes Vorwissen	1. Lehramtsspezifische Anforderungen werden zu wenig berücksichtigt.

Tabelle 2.1.: Zusammenfassung der Probleme bei den bestehenden experimentellen Übungen.

Neben den studienbedingten und organisatorischen Rahmenbedingungen, sowie den fachlichen Inhalten der experimentellen Übungen wurden subjektiv wahrgenommene Probleme mit dem bestehenden System erörtert. Bei einer Gegenüberstellung der angegebenen Probleme der Studierenden und der Probleme der Dozenten ist Folgendes auffällig:

Das jeweils vorrangigste Problem, unklare Anforderungen auf Seiten der Studierenden und mangelnde Vorbereitung der Studierenden seitens der Dozenten, lassen sich ineinander überführen. Die Vermutung liegt nahe, dass die Studierenden oft nicht gut vorbereitet waren, da die Anforderungen des Versuches nicht transparent waren oder sie zu wenig Hilfestellungen erhalten haben.

Zudem fehlt den Studierenden aufgrund ihres geringen physikalischen Vorwissens, das Wissen darüber, welche physikalischen Kenntnisse in den jeweiligen Versuchen bedeutsam sind (vgl. Kapitel 1.3.5). Dies zeigte sich zum Beispiel bei den Vorbesprechungen zu den Versuchen. Häufig beschäftigten sich die Studierenden mit Detailproblemen, die jedoch wenig Bedeutung haben. Für die Versuche wichtige physikalische Grundlagen wurden hingegen überlesen oder nicht ausreichend bearbeitet. Die Dozenten erlangten so (irrtümlich) den Eindruck, dass die Studierenden sich nicht ausreichend vorbereitet hätten.

Die emotionalen Probleme der Studierenden sind in der Tabelle 2.1 nicht aufgeführt worden, da sie wahrscheinlich aus der Verunsicherung durch fachliche Schwierigkeiten und unklare Anforderungen resultieren.

Die didaktische Inkonsistenz universitärer und der angestrebten schulischen Lehr-Lern-Formen findet sich auch in den experimentellen Übungen wieder. So werden in der bestehenden Veranstaltung unter anderem keine Möglichkeiten der Diagnostik und der individuellen Förderung der Studierenden verwirklicht.

# 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

Im 2. Kapitel wurde die Ausgangssituation der bestehenden experimentellen Übungen unter besonderer Berücksichtigung der Zielsetzungen, des Vorwissens der Studierenden und der Rahmenbedingungen erläutert. In der Zusammenfassung am Ende des 2. Kapitels wurden die aus den Beobachtungen und Umfragen aufgefundenen Probleme zusammengefasst sowie auf mögliche Entstehungsursachen der Probleme aufmerksam gemacht.

Bei der Umgestaltung der experimentellen Übungen soll angelehnt an das Modell der vollständigen Handlung [26, S. 68-78] nach folgenden Schritten vorgegangen werden (vgl. hierzu Abbildung 3.1):

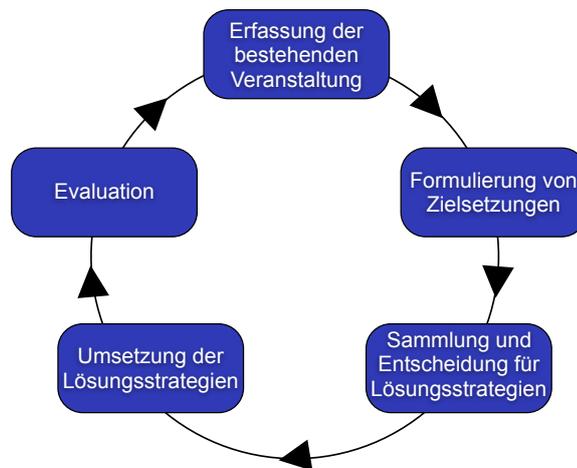


Abbildung 3.1.: Vorgehensweise bei der Umstrukturierung der experimentellen Übungen.

Die aus der bestehenden Veranstaltung herausgearbeiteten Probleme (Kapitel 2) dienen als Grundlage zur Formulierung von Zielsetzungen, die bei der Umstrukturierung der Übungen besonders berücksichtigt werden sollen (Kapitel 3.1). Anschließend sollen denkbare Lösungsstrategien zur Erreichung der Zielsetzungen gesammelt (Kapitel 3.2) und nach Abwägen der verschiedenen Möglichkeiten eine Lösungsstrategie entwickelt und umgesetzt werden (Kapitel 3.3). Abgeschlossen wird dieser Prozess mit einer Bewertung und Reflexion der nun umgestalteten experimentellen Übungen sowie einer abschließen-

den Befragung der Studierenden zur Überprüfung der eingangs formulierten Zielsetzungen (Kapitel 3.4). Begleitet wird die Bewertungsphase durch die Evaluation ausgewählter Forschungsfragen (Kapitel 4).

## 3.1. Formulierung der Zielsetzungen zur Umgestaltung der experimentellen Übungen

Die **fachlichen Ziele** (vgl. Kapitel 2.4.1) wurden in der bereits bestehenden Veranstaltung in hinreichender Form umgesetzt. Dies geht hervor aus der Befragung der Studierenden (vgl. Kapitel 2.2.3).

Die Auswertung der Befragung der Studierenden (vgl. Kapitel 2.2.3) und der Dozenten (vgl. Kapitel 2.2.4) zeigte jedoch auch **Defizite** der bestehenden experimentellen Übungen. Auf Grundlage dieser Problembeschreibung sollen bei der Umgestaltung der experimentellen Übungen folgende Zielsetzungen besonders berücksichtigt werden:

1. *Die Versuche sollen stärker auf die bestehende Grundlagenvorlesung abgestimmt werden.*
2. *Der zeitliche Aufwand der Versuche soll erfasst und eventuell minimiert werden.*
3. *Den Studierenden sollen die Anforderungen des Versuches transparent gemacht werden.*
4. *Den Studierenden sollen Lernhilfen angeboten werden, die ihnen helfen, fachliche Schwierigkeiten zu überwinden.*
5. *Das sehr heterogene Vorwissen der Studierenden soll angeglichen werden.*
6. *Das Vorwissen soll in der Vorbereitung auf die Versuche stärker aktiviert werden.*

Bei der Umsetzung dieser Zielsetzungen sollen die **lehramtsspezifischen Ziele** (vgl. Kapitel 2.4.2), die für eine Professionalisierung für den Lehrerberuf unverzichtbar sind, berücksichtigt werden. Sicherlich wird man hier nicht alle wichtigen Anforderungen, die der spätere Lehrerberuf hat, im Rahmen der (studienbedingten und organisatorischen) Möglichkeiten der experimentellen Übungen anbahnen können.

Das Ziel sollte aber sein, die bereits beschriebene didaktische Inkonsistenz der universitären und schulischen Lehr-Lern-Formen im Rahmen dieser Veranstaltung aufzulösen, indem Lehr-Lernformen verwendet werden, die grundsätzlich auch in der Schulpraxis realisiert werden könnten. Eine Untersuchung der tatsächlichen Übertragbarkeit auf den Schulalltag wird jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit sein.

## 3.2. Mögliche Lösungsstrategien zur Verwirklichung der Zielsetzungen

Bei der Erfüllung der Zielsetzungen (vgl. Kapitel 3.1, S. 48) müssen selbstverständlich die Rahmenbedingungen der experimentellen Übungen berücksichtigt werden. So sollte bei allen Lösungsansätzen bedacht werden, ob diese im Rahmen der Studienstruktur auch umsetzbar sind. Dabei spielen der zeitliche Aufwand für Studierende und der Dozenten aber auch die räumlichen Gegebenheiten eine wichtige Rolle. Eine weitere Rahmenbedingung ist der prinzipielle Ablauf der Veranstaltung, bestehend aus Kolloquium und Versuchsdurchführung, der in der Studienordnung verankert ist. Demnach können auch in diesem Bereich keine grundsätzlichen strukturellen Veränderungen erfolgen.

Veränderungen sind hingegen denkbar beim fachlichen Inhalt der Versuche sowie bei der Art und Weise, wie das Kolloquium und die Versuchsdurchführung gestaltet und vorbereitet werden.

Die erste Zielsetzung (vgl. Kapitel 3.1) –*Die Versuche sollen stärker auf die bestehende Grundlagenvorlesung abgestimmt werden.*– lässt sich durch einen Abgleich der Vorlesungsinhalte und der behandelten Versuchsinhalte realisieren. Die zweite Zielsetzung –*Der zeitliche Aufwand der Versuche soll erfasst und verringert werden*– kann prinzipiell auf verschiedene Weisen realisiert werden:

- indem die Gesamtanzahl der Versuche reduziert wird.
- indem die Versuchsaufgaben/Experimentieraufgaben verringert werden.
- indem bei der fachlichen Vorbereitung der Studierenden Abstriche gemacht werden.

Welche dieser Möglichkeiten im Hinblick auf die Ausbildung der Studierenden sinnvoll ist, wird im Abschnitt 3.3.1 diskutiert.

Die Forderungen 3. bis 6. (vgl. Kapitel 3.1) beziehen sich auf den Wunsch nach einer besseren Vorbereitung, bei der die von den Studierenden erwarteten Leistungen transparenter gemacht werden. Zur Verbesserung der Vorbereitung mit Texten, hier insbesondere Versuchsbeschreibungen, findet sich in der Literatur nur ein geeignetes wirksames Instrument, nämlich textbegleitende Fragen/ Aufgaben<sup>1</sup>. Eine Metaanalyse aus dem Jahre 1986 von Hamaker [45] konnte belegen, dass textbegleitend erfragte Inhalte besser behalten werden, als Textinhalte, die nur gelesen wurden. Auch andere, neuere Studien bestätigen diese Ergebnisse (z. B.: [134, 39]).

---

<sup>1</sup>Eine Aufgabe umfasst neben ihrem Stamm, der Frage, immer noch einen Antwortbereich. Da jedoch mit einer textbegleitenden Fragestellung stets eine Bearbeitung dieser Frage verbunden ist, werden im Folgenden die beiden Begriffe “textbegleitende Fragen” und “textbegleitende Aufgaben” gleichbehandelt.

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

Hinzu kommt, dass die Entwicklung und der richtige Umgang mit Aufgaben für angehende Lehrerinnen und Lehrer unverzichtbar sind: Aufgaben werden in der alltäglichen Schulpraxis in Form von Erarbeitungsaufgaben, Übungsaufgaben und Überprüfungsaufgaben (vgl. [4]) verwendet. Große Vergleichsstudien wie PISA, TIMSS, IGLU & Co verwenden aufwändig konstruierte Aufgaben zur Erfassung der Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler in allen schulrelevanten Bereichen.

Aufgaben, die an Universitäten verwendet werden, haben meist die Form von regelmäßig abzugebenden Übungsaufgaben oder von Klausuraufgaben zur Leistungsbewertung von Studierenden.

Die Möglichkeiten des Einsatzes von Aufgaben ist damit an der Universität keineswegs erschöpft und sollte erweitert werden, um nicht zuletzt angehenden Lehrern durch eigene Erfahrungen mit dem “Werkzeug” Aufgaben vertraut zu machen. Denn Aufgaben können weit mehr leisten und bewirken als bisher hier dargestellt wurde [108, 158]. Aus diesem Grund sollen die nun folgenden Abschnitte einen Überblick über verschiedene Funktionen und Potenziale von Aufgaben für den Lernprozess geben. Auch wichtige Faktoren, die die Wirksamkeit von Aufgaben beeinflussen, wie zum Beispiel das Aufgabenformat, Aufgabeninhalte und verschiedene Feedback-Funktionen, werden diskutiert.

#### 3.2.1. Potenziale von Aufgaben für Lernprozesse

##### Funktionen von Aufgaben

Josef Leisen kritisiert unter Verweis auf ein BLK-Gutachten [11], dass Aufgaben in aller Regel in Form von Rechenaufgaben zur Vorbereitung auf eine Leistungsüberprüfung eingesetzt werden [89]. Bezogen auf den schulischen Unterricht regt er an, dass der Stellenwert der Aufgaben neu überdacht werden sollte. Aufgaben sollten demnach nicht allein zur Vertiefung des erworbenen Wissens dienen, sondern auch in anderen Phasen des Unterrichtsgeschehens stärker integriert werden. Insbesondere in der Erarbeitungsphase sollten verstärkt Aufgaben eingebunden werden, die herausfordernd sind, an das Vorwissen der Schüler anknüpfen, in sinnstiftende Kontexte eingebunden werden und nach Möglichkeit verschiedene Lösungsstrategien zulassen [90]. In Passung auf die jeweilige Unterrichtsphase schlägt er verschiedene Aufgabentypen vor [89]:

- Rechenaufgabe,
- Denkaufgabe,
- komplexere Rechenaufgabe,
- Anwendungs- und Kontextaufgabe,

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

- Experimentieraufgabe und
- die Strukturierungsaufgabe (z. B. die Erstellung einer Mind-Map).

Diese Ideen einer neuen Aufgabenkultur sind primär auf den schulischen Kontext ausgerichtet. Eine allgemeinere Beschreibung der Funktionen von Aufgaben für den Lernprozess wird aber auch von Josef Leisen gegeben. Er sowie andere Autoren [20, 91] schlagen eine grobe Unterteilung der Funktionen von Aufgaben in zwei Kategorien vor:

Unter “**Aufgaben zum Leisten**” werden alle Aufgaben zusammengefasst, die einen (“IST”-) Lernstand erheben. Zu diesen Aufgaben gehören Aufgaben zur Leistungsbewertung, wie zum Beispiel Klausur- und Prüfungsaufgaben, Diagnoseaufgaben aber auch typische Aufgaben der Studien PISA und TIMSS, die das Ziel verfolgen, Kompetenzen der Lernenden zu messen.

Davon unterschieden werden “**Aufgaben zum Lernen**”. Aufgaben zum Lernen initiieren Lernprozesse, indem sie Lernprozesse vorbereiten und/oder zu lernende Informationen einüben und vertiefen. Zu diesem Aufgabentyp gehören unter anderem: Übungsaufgaben, Wiederholungsaufgaben, Vertiefungsaufgaben und Strukturierungsaufgaben.

Bei dieser Unterteilung in *Aufgaben zum Leisten* und *Aufgaben zum Lernen* handelt es sich nicht um disjunkte Mengen. Natürlich können Aufgaben, die ursprünglich zur Leistungskontrolle entwickelt wurden, auch dazu verwendet werden, Lernprozesse zu steuern. Ebenso können Lernaufgaben dazu geeignet sein, Leistungen zu messen.

Eine differenzierte Aufteilung der Aufgabenfunktionen findet man zum Beispiel bei Körndle et al. [75], Niegemann et al. [117, Kapitel 21.1], Glowalla [39] und Neber [114]. Hier wurden die Funktionen einer Aufgabe auf die jeweilige Lernphase bezogen. Die Abbildung 3.2 [79] fasst die Ergebnisse der verschiedenen Darstellungen zusammen.

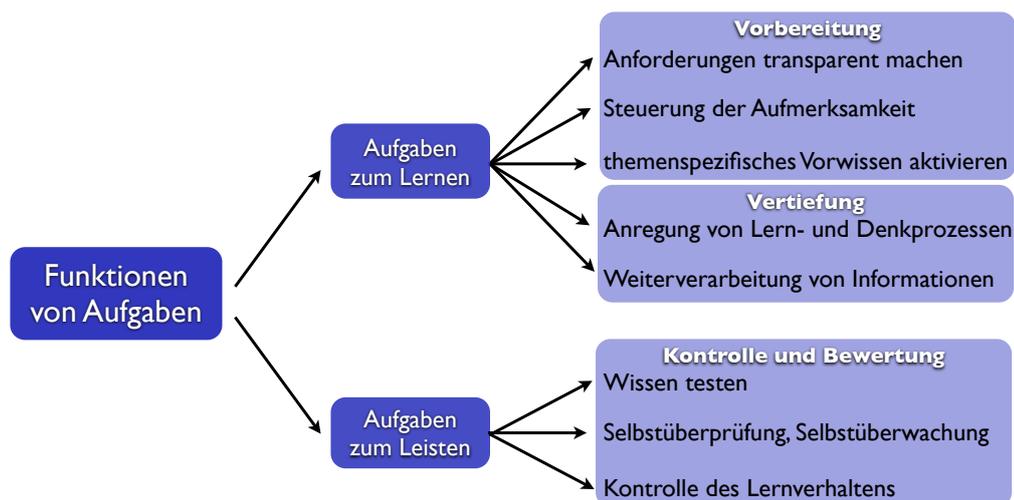


Abbildung 3.2.: Übersicht über die verschiedenen Funktionen, die mit einer Aufgabe verbunden sein können [77].

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

Die vorangegangene Befragung der Studierenden hat gezeigt, dass oftmals Probleme entstehen, weil die Studierenden nicht einschätzen können, welche Inhalte der Versuchsbeschreibungen bedeutsam sind (vgl. Kapitel 2.2.3). Erklärbar ist dies durch das oft geringe bereichsspezifische Vorwissen der Studierenden in den ersten Fachsemestern: Haben die Studierenden wenig Vorwissen, so werden alle Informationen mit der gleichen Aufmerksamkeit bearbeitet, wodurch die kognitive Belastung enorm steigt. Fortgeschrittene Lernende verfügen über mehr Vorwissen. Sie können ihr Wissen und die Schemata aus dem Langzeitgedächtnis nutzen, um neue Informationen zu strukturieren und zu bewerten (vgl. Kapitel 1.3.5).

Die **Vorbereitungsphase** der experimentellen Übungen kann man aufgrund dieser Erkenntnisse nun verbessern:

- Durch eine geeignete inhaltliche Auswahl textbegleitender Fragen zu den Versuchsbeschreibungen kann die Aufmerksamkeit der Studierenden mit wenig Vorwissen implizit gesteuert werden. Dadurch kann der individuelle Lernprozess besser unterstützt und strukturiert werden (z. B.: [117, 75]).
- Durch die Auswahl der textbegleitenden Aufgaben werden die fachlichen Inhalte, die die Studierenden beherrschen sollen, transparent.
- Hinweise durch Verweise auf Inhalte der Grundlagenvorlesung oder anderen Veranstaltungen können in den Aufgaben enthalten sein, wodurch manche physikalische Zusammenhänge, die vielleicht nicht unmittelbar offensichtlich sind, verdeutlicht werden.
- Ein wichtiges Ziel der textbegleitenden Aufgaben ist es, das bestehende Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis zu aktivieren, damit neue Informationen aufgenommen und mit bestehenden Informationen verknüpft werden können.

Neben dieser aktivierenden Funktion von Aufgaben können sie auch eine sichernde Funktion haben. Während der **Phase der fachlichen Vertiefung** ermöglichen Lernaufgaben:

- Eine Wiederholung und Vertiefung des Lernstoffes, wodurch Lern- und Denkprozesse angeregt werden, mit dem Ziel: Wissen soll dauerhaft gespeichert werden [75].
- Nebenbei können Aufgaben auch Informationen darüber enthalten, wie komplexe Aufgaben stufenweise gelöst werden können. Üblicherweise werden hierzu mehrere Aufgaben gestellt, bei denen Teillösungen erfragt werden, die anschließend dann zur vollständigen Lösung der komplexen Aufgabe führen.

Wie bereits erläutert bieten Aufgaben zudem eine wichtige Grundlage zur **Bewertung und Rechtfertigung von Leistungen**. Dabei wird die Lösung der Aufgaben nach festgelegten Vorgaben bewertet. In aller Regel erfolgt diese Bewertung am Ende einer Lernein-

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

heit zur Erfassung des Lernstandes. Die Kontrolle des Lernstandes durch die Verwendung von Aufgaben muss jedoch nicht zwingend immer am Ende einer Lernphase stehen. Kenntnisse über die richtige beziehungsweise falsche Bearbeitung von Aufgaben können auch von Lehrenden als Grundlage für die Planung des weiteren Unterrichtsverlaufs genutzt werden. Denn durch diese wertvollen Informationen kann der Lehrende das Vorwissen der Lernenden abschätzen und die Regulation und Steuerung von Lernprozessen hieran anpassen [75]. So können bereits zu Beginn einer Lerneinheit falsche Vorstellungen (vgl. Kapitel 1.3.6) der Lernenden herausgefunden werden, um diese gezielt während des Lernprozesses anzusprechen.

Nicht nur Lehrende erhalten Informationen durch Aufgaben, auch der Lernende. Bei der Bearbeitung der Aufgaben erhält auch er Rückmeldung über seinen Leistungsstand. Die Einschätzung des Leistungsstandes ist insbesondere dann aussagekräftig, wenn unmittelbar im Anschluss eine Rückmeldung über die richtige oder falsche Bearbeitung erfolgt. Auf der Grundlage dieser Informationen kann der Lernende bei der Vorbereitung auf die experimentellen Übungen Rückschlüsse darauf ziehen,

- a) welche Anforderungen durch den Dozenten an ihn gestellt werden,
- b) ob er alle wichtigen physikalischen Grundlagen bearbeitet und verstanden hat und
- c) an welcher Stelle fachliche Probleme bestehen, die nachgearbeitet werden müssen.

#### **Aufgabeninhalte**

Bevor man textbegleitende Aufgaben entwickelt, sollte eine Analyse und Strukturierung des relevanten Wissensbereiches vorangestellt werden. Dabei sollte systematisch anhand eines Modells vorgegangen werden. Körndle, Narciss und Proske [75] schlagen ein Modell vor, bei dem der Lehrtext zunächst im Hinblick auf elementare Begriffe, nach übergeordneten Konzepten, Gesetzmäßigkeiten, Prinzipien und Modellen analysiert werden sollten. Auf der Basis dieser Ergebnisse können unterschiedlich anspruchsvolle Aufgaben entwickelt werden.

Wird auf eine systematische Entwicklung von Aufgaben verzichtet und Aufgaben ohne großen Aufwand intuitiv erstellt, so überwiegen meistens Aufgaben zur Reproduktion von Fakten, die im Lehrtext enthalten sind. Verständnisfragen, die zum Beispiel auf zusätzliche Informationen aufmerksam machen, oder Anwendungsfragen, bei denen das Wissen übertragen werden soll, werden meist nicht verwendet [75]. Doch gerade die Aufgaben, die den Denkprozess anregen, fördern den Lernprozess stärker als das Erfragen von Fakten, die wortwörtlich aus den Text entnommen werden können [74, Kapitel 7.1].

Eine angemessene inhaltliche Auswahl von textbegleitenden Aufgaben setzt voraus, dass der Autor über genügend themenspezifisches Vorwissen verfügt. So zeigte eine Untersu-

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

chung, bei der die Wirkung von Studierendenfragen<sup>2</sup> erhoben wurde, dass Studierende aufgrund ihres geringen bereichsspezifischen Vorwissens vorwiegend Fragen zu Lerninhalten entwickeln, die ihnen präsent sind und die sie selber gut verstanden haben [39, 94]. Hieraus wird die Empfehlung abgeleitet, beim Erlernen von genau festgelegten fachlichen Inhalten, auf Fragen von Lehrenden (auch "Autorenfragen" genannt) zu vertrauen.

#### **Aufgaben-Stellung im Lehrtext**

An welcher Stelle die textbegleitenden Aufgaben im Lehrtext gestellt werden, hat einen Einfluss auf die Wirksamkeit. Grundsätzlich werden in der Literatur zwei verschiedene Varianten diskutiert: *Vorangestellte Aufgaben* und *nachgestellte Aufgaben*.

Textbegleitende Aufgaben, die vor einen Lehrtext gestellt werden, bewirken, dass der Text nach den notwendigen Informationen zur Beantwortung dieser Aufgaben abgesucht wird. Informationen, die nicht zur Lösung der Aufgaben beitragen, werden demnach kaum beachtet. Diese Vorgehensweise führt dazu, dass erfragte Inhalte sehr gut wiedergegeben werden können. Aufgaben, bei denen jedoch noch weitere im Text enthaltene Informationen verwendet werden müssen, werden schlechter beantwortet [45, 74].

Textbegleitende Aufgaben, die am Ende eines Lehrtextes angeordnet werden, verhindern im Gegensatz zu vorangestellten Aufgaben, dass der Text von Anfang an unter einem sehr eingeschränkten Blickwinkel bearbeitet wird. Denn erst im Anschluss an den Text wird der Lernende angehalten, bestimmte Aspekte genauer zu analysieren. Dieser positive Effekt nachgestellter Aufgaben gegenüber vorangestellten Aufgaben lässt sich dadurch erklären, dass der Lernende bei nachgestellten Aufgaben wiederholt dazu angeregt wird, die Informationen im Arbeitsgedächtnis zu verarbeiten.

Sollen die Lernenden demnach nicht nur ganz bestimmte Aspekte eines Textes bearbeiten und aufzählen können, sollten nachgestellte Aufgaben verwendet werden.

#### **Aufgaben-Typen**

Eine Aufgabe besteht normalerweise aus den folgenden Komponenten:

- Dem Aufgabenstamm, hierzu kann eine Fragestellung oder eine Aussage zählen, die die zur Lösung der Aufgaben notwendigen Vorgehensschritte expliziert.
- Dem Antwortbereich, mit Eingabefeldern für die Lösungsschritte beziehungsweise verschiedenen Bedienelementen.
- Optional: Dem Feedback, das Hinweise über die richtige beziehungsweise falsche

---

<sup>2</sup>Mit Studierendenfragen sind Fragen gemeint, die sich die Studierenden bei der Bearbeitung des Textes selbstständig überlegen.

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

Bearbeitung der Aufgaben gibt.

Die Klassifikation von Aufgaben erfolgt meist anhand des Aufgabenformats (z. B. [95, 73, 117]). Unter Aufgabenformaten versteht man die Art der Aufgabenstellung und daraus resultierend die der Aufgabenbeantwortung. Üblicherweise werden hierbei drei verschiedene Typen unterschieden (vgl. [136]):

- **Aufgaben mit gebundenem (oder: geschlossenem) Antwortformat:** Bei Aufgaben mit gebundenem Antwortformat sind sowohl dem Auswerter<sup>3</sup> als auch den Lernenden die Antworten bekannt. Die Aufgabe des Lernenden besteht darin, aus einer endlichen Menge von möglichen Antworten die richtige/n Antwort/en auszuwählen. Typisches Beispiel: Multiple Choice Aufgaben.
- **Aufgaben mit halboffenem Antwortformat:** Dem Auswerter sind die richtigen Antworten bekannt, den Lernenden jedoch nicht. Ein typisches Beispiel wäre einen Satz sinnvoll zu ergänzen.
- **Aufgaben mit offenem Antwortformat:** Weder den Lernenden noch dem Auswerter werden die Antworten vorgegeben. Als Antwort ist vom Lernenden ein freier Text einzugeben.

Eng mit der Wahl des Aufgabenformates und damit der Präsentation der Lösungsergebnisse verbunden, ist die inhaltliche Ausrichtung der Aufgabe. Je nach Aufgabenstellung können verschiedene Parameter verfügbar sein (vgl.: [28, 83]):

- Die Ausgangsdaten (Daten sind gegeben vs. Daten sind nicht gegeben),
- der Lösungsweg (ein möglicher Lösungsweg vs. mehrere Lösungswege)
- und das Ergebnis (ein mögliches Ergebnis vs. mehrere sinnvolle Ergebnisse).

Handelt es sich zum Beispiel um eine Aufgabe bei der mehrere Ergebnisse sinnvoll sein können, muss je nach Aufgabenstellung ein halboffenes oder offenes Antwortformat gewählt werden. Sind hingegen die Ausgangsdaten bekannt, der Lösungsweg und das Ergebnis eindeutig, dann bietet sich das gebundene Antwortformat an. Insgesamt sind durch die Variation der drei Parameter 7 verschiedene Aufgaben denkbar, für die jeweils das geeignetste Antwortformat ausgewählt werden sollte.

Zusätzlich zur inhaltlichen Ausrichtung der Aufgaben müssen bei der Wahl des Aufgabenformats weitere Aspekte berücksichtigt werden:

1. Das Lernziel, das mit dieser Aufgabe erreicht werden soll.

---

<sup>3</sup>In aller Regel ist der Auswerter der Lehrende.

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

2. Der Aufwand zur Konstruktion der Aufgaben.

3. Der Aufwand zur Bewertung der Aufgaben.

Diese Aspekte sollen nun für die drei Kategorien der Antwortformate diskutiert werden:

Zu der Kategorie der Aufgaben mit **gebundenem Antwortformat** gehören eine Vielzahl von verschiedenen Typen. Der am häufigsten verwendete Typ ist die Multiple-Choice-Aufgabe. Andere Typen im gebundenen Antwortformat sind zum Beispiel: Antwortauswahlaufgaben, Zuordnungsaufgaben, Alternativaufgaben und Umordnungsaufgaben (z. B. [136]). Gemeinsam ist diesen Aufgaben, dass dem Lernenden mehrere Antwortalternativen dargeboten werden, aus denen die richtige/n ausgewählt werden muss/müssen. Die Aufgaben sollten dabei so konstruiert werden, dass die Auswahl der richtigen Lösung/en eindeutig ist.

Da sich die Antworten eindeutig in richtige oder falsche Lösungen kategorisieren lassen, ist eine einfache und objektive Auswertung möglich [73, 117]. Eine Auswertung der Aufgaben im gebundenen Antwortformat kann auch von einem Computer erfolgen, sodass der Aufwand für den Auswerter bei diesem Format als gering einzuschätzen ist.

Die Konstruktion von Aufgaben im gebundenen Antwortformat ist jedoch beliebig komplex. Es gibt zahlreiche Kriterien, die man bei der Auswahl von guten Aufgaben, insbesondere von Multiple-Choice-Aufgaben, beachten muss. Hinweise über die richtige Konstruktion von Aufgaben wurden unter anderem veröffentlicht von Bühner [21], Gronlund [41] beziehungsweise in einer deutschen Zusammenfassung von Jacobs [62].

Der Hauptnachteil bei diesem Aufgabenformat ergibt sich aus der Tatsache, dass man durch bloßes Raten zufällig die richtige Lösung auswählen kann (vgl. [73]). Aus diesem Grund sollten möglichst viele Distraktoren<sup>4</sup> angeboten werden, um die Wahrscheinlichkeit der zufälligen Auswahl der richtigen Lösung zu minimieren. Jedoch muss man einschränkend erwähnen, dass die Entwicklung guter Distraktoren sehr schwierig ist. Denn die Distraktoren sollten so plausibel sein, dass Lernende, die die richtige Lösung nicht kennen, die Distraktoren mit der gleichen Wahrscheinlichkeit auswählen wie die richtige Antwort.

Häufiges Ziel dieses Aufgabentyps ist die Überprüfung von Faktenwissen. Jedoch können ebenso kognitive Operationen auf einem höheren Lernzielniveau überprüft werden [62, 117]. Wie vielseitig dieser Aufgabentyp eingesetzt werden kann, zeigten Gage und Berliner, indem sie für alle fünf Stufen der Bloomschen "Taxonomie kognitiver Lernziele" Aufgaben mit Auswahlantworten entwickelten [35, S. 651-653]. Dabei erfolgte die Entwicklung der Aufgaben stets nach bestimmten Regeln (hierzu eine Einführung ab Seite 69). Will man zum Beispiel Aufgaben entwickeln, die das zugrunde liegende Verständnis überprüfen, so verwendet man häufig vorkommende falsche Vorstellungen aus früheren Untersuchungen als Distraktoren [117]. Die Verwendung von Distraktoren wird jedoch auch von einigen

---

<sup>4</sup>Distraktoren sind falsche Auswahlantworten.

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

Autoren als kritisch gesehen, da die Lernenden durch die Präsentation plausibler falscher Auswahlantworten eventuell falsche Zusammenhänge erlernen (vgl. [134]). Ungeeignet sind Aufgaben mit gebundenem Antwortformat, wenn sehr komplexe Operationen, wie zum Beispiel die Argumentationsfähigkeit oder die Kommunikationsfähigkeit, der Lernenden bewertet werden sollen.

Aufgaben mit **halboffenen Antwortformat** verlangen von den Lernenden eine kurze freie Antwort, man bezeichnet diese Aufgaben auch als Short-Answer-Aufgaben. Weitere halboffene Aufgaben sind Lückentextaufgaben, Ergänzungsaufgaben und Assoziationsaufgaben (vgl. [136]).

Aufgaben mit halboffenem Antwortformat gelten als relativ einfach zu konstruieren, wobei darauf geachtet werden sollte, dass die Aufgaben so formuliert werden, dass nur eine Lösung richtig ist (vgl. [117]).

Die Auswertung der Aufgaben gestaltet sich ebenfalls als relativ einfach, sofern die Antworten kurz und eindeutig sind. Im Gegensatz zu Aufgaben im gebundenen Antwortformat muss bei der computergestützten Auswertung berücksichtigt werden, dass Tippfehler oder andere Formulierungen dazu führen können, dass die richtige Antwort nicht als solche erkannt wird. Auf der anderen Seite ist die Wahrscheinlichkeit, dass man bei Aufgaben mit halboffenem Antwortformat die richtige Lösung errät, geringer als bei Aufgaben mit Antwortalternativen.

Die Ziele, die man mit Aufgaben im halboffenen Format erreichen kann, beschränken sich auf die Prüfung von Faktenwissen und einfachen mathematischen Fähigkeiten, wie zum Beispiel die Lösung einer Aufgabe oder das Ergänzen einer Zahlenreihe (vgl. [117]). Eine Ausnahme bilden die Short-Answer-Aufgaben, hier kann man auch Zusammenhänge abfragen.

Vergleicht man die Wirksamkeit von textbegleitenden Multiple Choice Aufgaben und textbegleitenden Short-Answer-Aufgaben, dann zeigt sich eine leichte Überlegenheit von Short-Answer-Aufgaben gegenüber Multiple Choice Aufgaben [45, 74].

Als **offenes Antwortformat** bezeichnet man Aufgaben, deren Zielsetzung und/oder Mittel zur Erreichung der Zielsetzung nicht exakt festgelegt sind [129]. Im Gegensatz zu halboffenen Aufgaben kann die Lösung demnach nicht immer eindeutig in richtig oder falsch kategorisiert werden. Zu den offenen Aufgabenformaten zählen unter anderem die Diskussionsaufgaben, die eine Stellungnahme zu einer gegebenen These fordern [117].

Die Konstruktion dieser Aufgaben ist relativ einfach. Hingegen gibt es bei der Auswertung und Bewertung der Antworten oftmals keine festen Vorgaben, sodass die Bewertungen von verschiedenen Auswertern voneinander abweichen können. Automatisierte, computergestützte Systeme können diesen Auswertungsprozess zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht unterstützen [73]. Der Hauptnachteil offener Aufgaben ist daher die sehr zeitaufwändige und nicht immer objektive Bewertung der Antworten. Um akzeptable Übereinstimmungen zu erhalten, empfiehlt es sich, vor der abschließenden Bewertung einen Erwartungshori-

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

zont in Form einer Musterlösung zu entwickeln [32].

Verzichtbar sind offene Aufgabenformate jedoch nicht: Manche Lernziele, gerade die prozessorientierten und handlungsorientierten Lernziele des Konstruktivismus, lassen sich nur mit diesem Format erreichen. Zu diesen Aufgaben zählen zum Beispiel differenzierte Analyse-Aufgaben und Aufgaben, bei denen es nicht nur auf die Lösung, sondern vor allem auf den Lösungsweg ankommt.

In der Abbildung 3.1 sind die wichtigsten Unterschiede der verschiedenen Aufgabentypen gegenübergestellt.

<b>Aufgaben-Typen</b>			
	gebundene Aufgaben	halboffene Aufgaben	offene Aufgaben
Überprüfung von:	<b>Faktenwissen &amp; Anwendungswissen</b>	<b>Faktenwissen &amp; selten: Anwendungswissen</b>	<b>Faktenwissen &amp; Anwendungswissen &amp; Komplexe Lernziele</b> (z.B.: Handlungsorientierte Lernziele)
Aufwand der Konstruktion	<b>Hoher Aufwand:</b> Zahlreiche Kriterien müssen für eine gute Aufgabe beachtet werden. Die Auswahl geeigneter Distraktoren ist häufig schwierig.	<b>Mittlerer Aufwand:</b> Wichtig ist darauf zu achten, dass <u>nur</u> eine Antwort eindeutig richtig ist.	<b>Geringer Aufwand:</b> Da die Antworten nicht eindeutig richtig/falsch sein müssen, ist der Aufwand im Vergleich zur gebundenen/halboffenen Aufgaben geringer.
Aufwand der Bewertung	<b>Geringer Aufwand:</b> Da die Antworten eindeutig richtig oder falsch sind, ist der Aufwand der Bewertung gering. Automatische Auswertung durch den Computer möglich.	<b>Mittlerer Aufwand:</b> Sofern die Antworten kurz und eindeutig sind ist der Aufwand gering.  Automatische Auswertung durch den Computer eingeschränkt möglich.	<b>Hoher Aufwand:</b> Die Bewertung ist sehr zeitaufwändig, da es keine eindeutig richtig/falsche Lösung gibt. Automatische Auswertung durch den Computer nicht möglich.
Beispiel	Multiple-Choice-Aufgabe, Zuordnungsaufgabe, Single-Choice-Aufgabe	Lückentextaufgabe, Ergänzungsaufgabe, Short-Answer-Aufgabe	Diskussionsaufgabe

Tabelle 3.1.: Gegenüberstellung der verschiedenen Aufgabentypen.

### Aufgaben-Feedback

In der Lehr-Lernforschung wird Feedback allgemein definiert als jede Art der Rückmeldung, die den Lernenden im Anschluss an eine Aufgabenbearbeitung über die Qualität seiner Antwort informiert (z. B. [59]). Feedback dient dabei der Bestätigung beziehungsweise der Korrektur von bestehenden Vorstellungen. Von diesem klassischen Feedback-Verständnis, bei der die Informationen von außen (extern) bereitgestellt werden, unterscheidet man

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

das interne Feedback. Internes Feedback wird vom Lernenden selbst generiert. Es dient insbesondere der Planung, Überwachung und Regulation des eigenen Lernverhaltens. Neben der beschriebenen externen und internen Kontrolle des Lernverhaltens kann Feedback auch eine motivierende Wirkung auf den Lernenden haben. [59, 117]

Da jedoch internes Feedback sowie die motivierende Wirkung von Feedback bei der Gestaltung der experimentellen Übungen nicht unmittelbar beeinflusst werden kann, soll das klassische (externe) Feedback nun in den Mittelpunkt der Diskussion rücken.

Sinnvoll gestaltete Aufgaben mit externem Feedback bieten den Lehrenden und Lernenden wichtige diagnostische Informationen über die Leistung bei der Bearbeitung von Aufgaben sowie über typische Fehler, die den Lernprozess beeinflussen. Die verschiedenen Feedback-Typen werden ähnlich wie Testaufgaben nach ihrer Darstellungsart klassifiziert.

Typische Feedback-Arten sind (vgl. [59, 117, 75]):

- *Knowledge of performance* (P): Nach der Bearbeitung der Aufgabe wird ein summarisches Feedback gegeben (z.B. "Sie haben 60% der Aufgaben richtig gelöst.").
- *Knowledge of result/response* (KR): Nach der Bearbeitung der Aufgabe wird nur angegeben, ob die Lösung völlig richtig oder falsch ist.
- *Knowledge of correct answer* (KCR): Nach der Bearbeitung der Aufgabe kann die richtige Lösung eingesehen werden.
- *Answer until correct or multiple try feedback* (AUC/MTF): Falsche Antworten können erneut bearbeitet werden, bis die richtige Antwort gefunden wurde (AUC) beziehungsweise bis zu einer bestimmten Anzahl von Versuchen (MTF).
- *Informatives tutorielles Feedback* (ITF): Wiederholte Bearbeitung der Aufgabe mit Hilfe von tutoriellen Informationen. Diese Informationen beinhalten zum Beispiel Hinweise auf mögliche Fehler bei der Bearbeitung oder zeigen ähnliche Aufgaben mit Lösungsbeispielen.

Die zentrale Bedeutung des Feedbacks für den Lernerfolg konnte in verschiedenen Studien belegt werden (vgl. Metastudie von Bangert-Drowns et al.[9]). So hat sich herausgestellt, dass unabhängig von der Darstellungsweise Aufgaben mit Feedback immer lernwirksamer sind als die Bearbeitung von Aufgaben ohne Rückmeldung [134]. Selbst bei dem Feedback mit dem geringsten Informationswert (KR) ist dieser Effekt noch deutlich nachweisbar. Welcher Feedbacktyp am geeignetsten ist, konnte bisher noch nicht sicher belegt werden, da in den verschiedenen Untersuchungen die Effektstärken wahrscheinlich als Folge einheitlicher Rahmenbedingungen unterschiedlich ausgefallen sind [59].

Man sollte jedoch annehmen, dass informelles, tutorielles Feedback bessere Ergebnisse erzielt als lediglich die Information über eine richtige/falsche Bearbeitung der Aufgaben. Allerdings ist die Qualität dieses Feedbacks abhängig davon, inwieweit die darin enthal-

tenen Hilfestellungen den Lernenden bei der Korrektur des ihrer Fehler nützen. Zudem gestaltet sich die Entwicklung von informativem, tutoriellen Feedback als umfangreich: Bei der Entwicklung müssen zunächst die inhaltlichen und kognitiven Anforderungen der Aufgabe herausgearbeitet werden. Anschließend müssen mögliche Fehlerquellen bei der Bearbeitung der Aufgabe aufgrund empirischer Analysen identifiziert werden, um davon abhängig spezifische Hilfestellungen anzubieten.

Grundsätzlich sollte bei der Verwendung von Feedback jedoch beachtet werden:

- Das Feedback sollte erst erscheinen, nachdem die Aufgabe mindestens einmal bearbeitet wurde.
- Das Feedback sollte möglichst zeitnah nach der Bearbeitung der Aufgaben erfolgen.
- Informelles tutorielles Feedback sollte nicht zusammen mit der richtigen Lösung präsentiert werden.

### 3.2.2. Potenziale elektronisch gestellter Aufgaben und Lernplattformen

#### Elektronisch gestellte Testaufgaben

In den vorangegangenen Kapiteln wurde bereits auf die elektronische Realisierbarkeit einzelner Aufgaben- und Feedbacktypen hingewiesen. Elektronische Testaufgaben<sup>5</sup> bieten eine Reihe von Vorzügen für den Lernenden und den Lehrenden, die nun kurz erläutert werden [40, 92, 79]:

**(1) Lernende können die Aufgaben unabhängig bearbeiten.** Durch eine webbasierte Lernumgebung können die Lernenden selbstständig den genauen Zeitpunkt und den Ort für die Bearbeitung der Aufgaben bestimmen. Zudem kann der Lernende die Bearbeitungsdauer und damit auch das Lerntempo selber festlegen. Dieser letzte Aspekt ist insbesondere dann bedeutsam, wenn die Lerngruppe ein heterogenes Vorwissen aufweist.

**(2) Aufgaben können multimedial angereichert werden.** Die verschiedenen Aufgaben können durch hochauflösende Bilder, Simulationen und Hyperlinks auf relevante Abschnitte der Vorlesung oder Internetseiten angereichert werden. Durch diese Vernetzungen können die Aufgaben nicht nur attraktiver gestaltet werden, sondern es können auch inhaltliche Zusammenhänge herausgestellt werden.

**(3) Lernende erhalten zeitnahe Rückmeldung.** Bei Aufgaben im gebundenen Test-

---

<sup>5</sup>Der Begriff "elektronische Aufgaben" beschreibt elektronisch gestellte Aufgaben, die auf einem Learning-Management-System integriert sind. Die Bearbeitung der Aufgaben erfolgt webbasiert.

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

format erhalten die Lernenden in der Regel ein zeitnahes Feedback über ihren Lernstand. Dies ermöglicht ein selbstreguliertes Lernen, bei dem Informationen über den Leistungsstand zur Überwachung, Planung und Gestaltung des eigenen Lernverhaltens genutzt werden können.

**(4) Automatisierte Datenauswertung.** Von der Plattform zentral erfasste Daten ermöglichen eine automatisierte Datenauswertung. Diese Datenauswertung kann beliebig differenziert erfolgen. Nicht nur Daten über das individuelle Lernverhalten einzelner Lernenden kann abgerufen werden (z. B. “Aufgabe 1: 30%, Aufgaben 2: 100%”). Auch statistische Kennwerte der Aufgaben, wie zu Beispiel der Itemschwierigkeit und der Trennschärfe, können bestimmt werden. Diese Daten erlauben dem Lehrenden einen schnellen Einblick über den Lernstand sowie über die Qualität der gestellten Aufgaben.

**(5) Objektive Erfassung von Tracking-Daten.** Tracking-Daten erlauben Aufschlüsse über das Nutzungsverhalten des Lernenden. Die meisten E-Learning Plattformen erlauben es, Daten abzurufen, wie zum Beispiel die Bearbeitungsdauer einzelner Aufgaben oder des gesamten Tests. Durch eine Analyse dieser Daten kann man Rückschlüsse darauf ziehen, wie umfangreich die gesamte Vorbereitungszeit für die Lernenden ist. Diese Daten haben sich bei der Festlegung von Leistungspunkten im Zuge der Bachelor-Master-Reform bereits als überaus nützlich erwiesen.

**Nachteil elektronischer Testaufgaben.** Voraussetzung zur Nutzung der Vorteile elektronischer Aufgaben ist, dass die Lernenden mit dem Computer und mit der Bearbeitung von elektronischen Aufgaben vertraut sind und über einen Internetzugang verfügen.

Eine zeitnahe Rückmeldung verbunden mit einer automatisierten Auswertung ist nur bei Aufgaben mit geschlossenem Antwortformat und eventuell halboffenem Aufgabenformat realisierbar. Offene Aufgaben, die das Bearbeitungsmittel und das Ergebnis offen lassen, erfordern eine Rückmeldung und Bewertung durch den Lehrenden. Gerade diese Aufgaben, die nicht nur ergebnisorientiert sind, sondern auch einen kreativen Lösungsweg erfordern, sind solche Aufgaben mit einem hohen Anforderungsniveau. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass *nur* Aufgaben mit geringem Anforderungsniveau, wie Übungs- und Anwendungsaufgaben, alle Vorteile von elektronischen Aufgaben nutzen können.

#### Elektronische Lernplattformen

Die Umsetzung von elektronischen Aufgaben wird heute häufig über webbasierte Lernplattformen (learning management systems: LMS) wie zum Beispiel Moodle, ILIAS<sup>6</sup> oder Blackboard<sup>7</sup> realisiert.

---

<sup>6</sup>Moodle und ILIAS sind beides Open-Source-Produkte.

<sup>7</sup>Blackboard gehört zu den kommerziellen Plattformen.

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

Allgemein zeichnet sich eine Lernplattform durch ihre verschiedenen Funktionsbereiche aus. Dabei müssen nach Schulmeister [144, S. 10] folgende Funktionalitäten mindestens integriert sein, damit man von einer Lernplattform sprechen kann:

- Eine Benutzerverwaltung,
- Kursverwaltung (Kurse, Verwaltung der Inhalte, Dateienverwaltung),
- Rollen- und Rechtevergabe mit differenzierten Rechten,
- Kommunikationsmethoden (u.a Email, Foren, Wiki, Chat),
- Darstellung der Kursinhalte, Lernobjekte und Medien (u.a Skripte, Präsentationen, Podcasts, Tests, Umfragen).

Je nach Schwerpunkt innerhalb der Lernplattform ändert sich die Namensgebung in *learning content management* (Dateienverwaltung), *course management system* (Kursverwaltung) oder *managed learning system* (zusätzliche Integration einer Verwaltungssoftware). Diese Bezeichnungen werden jedoch nicht einheitlich verwendet, da eine genauere Abgrenzung zwischen den Lernplattformen häufig nicht gelingt [119, S. 16].

#### Einsatz von Lernplattformen

Beim Einsatz von Lernplattformen kann man eine grobe Unterteilung in zwei mögliche Lernszenarien vornehmen [143, 102, 121]:

- a. Ausschließlich virtuell,
- b. begleitend beziehungsweise integriert in eine Präsenzveranstaltung.

Der erste Ansatz beschreibt eine ausschließlich virtuelle Nutzung der Lernplattform. Unter dem zuletzt genannten Ansatz versteht man das Konzept des *Blended Learning* (übersetzt: “gebundenes”, “gemischtes” oder “hybrides” Lernen). Blended Learning strebt eine didaktisch sinnvolle Verknüpfung von traditionellen Präsenzveranstaltungen mit modernen Formen des E-Learnings an. Dabei vereint das Konzept die Vorteile der Effektivität und Flexibilität von elektronischen Lernformen mit den sozialen Aspekten der Face-to-Face-Kommunikation. Eine Metastudie des U.S. Department of Education [101] konnte belegen, dass eine Kombination aus Face-to-Face-Kommunikation und Online-Angeboten erfolversprechender ist, als ausschließlich Face-to-Face-Kommunikation ( $p < 0.001$ ,  $d = +0.35$ ). Dieser Effekt zeigte sich unabhängig vom Inhalt, vom Lernertyp und vom Alter der Versuchspersonen. Des Weiteren ist die Kombination aus Online-Angeboten und Präsenzveranstaltung den ausschließlich virtuellen Lehr-Lernformen überlegen<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup>Hierzu werden keine Kenngrößen angegeben. Es wird jedoch darauf verwiesen, dass zwischen Face-to-Face-Kommunikation und reinen Online-Angeboten kein statistisch bedeutsamer Unterschied besteht

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

Obwohl diese Ergebnisse sehr eindeutig erscheinen, setzt eine erfolgreiche Nutzung von Lernplattformen eine sinnvolle didaktisch-methodische Integration der Online-Angebote voraus. Erst dann können die Vorteile einer Lernplattform genutzt werden. Ein häufiges Problem ist die reduzierte Nutzung der Lernplattform ausschließlich zum Austausch von Dokumenten.

“Es gibt viele Beispiele dafür, daß (sic) Autoren ihr Lehrmaterial nur in die Plattform einstellen und die Studierenden darauf “loslassen”. (...) Die Brücke zu den Inhalten, die der Dozent in der Präsenzveranstaltung behandelt, müssen die Studierenden selbst schlagen.” [144, S. 152]

Bei einer solch reduzierten Nutzung unterscheidet sich die Lernplattform nicht von einem Lehrbuch oder einem Vorlesungsskript. Für die Gestaltung der Lehrplattform gibt es nicht das allgemein gültige Erfolgsrezept. Vielmehr kommt es auf eine sinnvolle Integration der Online-Angebote und der Präsenzangebote an, bei der sich beide Komponenten sinnvoll ergänzen und befruchten.

## 3.3. Entscheidung und Umsetzung

Im vorangegangenen Abschnitt wurden verschiedene Möglichkeiten zur Umgestaltung der experimentellen Übungen vorgestellt. Auf der Grundlage dieser Sammlung von möglichen Lösungen wurde in einem nächsten Schritt eine begründete Entscheidung auf Grundlage lernpsychologischer Überlegungen getroffen.

### 3.3.1. Inhaltliche und organisatorische Veränderungen

**Die Inhalte der experimentellen Übungen.** Die Inhalte der Grundlagenvorlesungen und der Versuchsinhalte wurden durch einen Abgleich der Inhalte besser aufeinander abgestimmt (siehe Anhang C). Bei der Auswahl der Versuche wurde darauf geachtet, dass Wissen aus den Grundlagenvorlesungen anhand der Versuche vertieft und erweitert wird. Folgende Kriterien wurden zusätzlich als Anlass genommen, Versuche zu ersetzen:

- Die verwendete Messmethode ist veraltet.
- Die Messergebnisse weichen (aufgrund der Messmethode) deutlich von den Literaturwerten ab.
- Der Versuch ähnelt einem Versuch aus der Veranstaltung “Experimentelle Übungen

---

( $p = 0.46$ ,  $d = +0.05$ ).

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

für Fortgeschrittene”<sup>9</sup>.

- Didaktische Fragestellungen werden vernachlässigt.

Hinzugefügt wurden die Versuche “*Die Kirchhoffschen Gesetze*” und “*Der schiefe Wurf*”, die den Kanon der Versuche durch einen besonderen Fokus auf lehramtsspezifische Ziele (vgl. Kapitel 2.4.2) erweitern.

Im Versuch “*Kirchhoffsche Gesetze*” werden die Studierenden dazu angehalten, modellgeleitet die elektrischen Größen *Spannung*, *Stromstärke* und *Widerstand* in Reihen- und Parallelschaltungen zu messen. Dabei werden Erklärungs-Modelle sowie falsche Vorstellungen, die immer wieder bei Schülern im Kontext von “elektrischen Stromkreisen” auftreten und zu Verständnisschwierigkeiten führen (vgl. Kapitel 4.3), diskutiert.

Im Versuch “*Der schiefe Wurf*” wird der Einsatz von Hochgeschwindigkeitskameras und die computergestützte Auswertung der Bilder demonstriert. Eine Computersimulation ermöglicht zudem, Vorstellungen zu prüfen, die man unter realen Bedingungen nicht untersuchen kann (vgl. Kapitel 4.4).

**Der zeitliche Aufwand der experimentellen Übungen.** Der zeitliche Aufwand der Versuche wird durch eine Verringerung der Gesamtanzahl der Versuche, eine Überprüfung und gegebenenfalls durch Kürzung der Versuchsaufgaben erreicht. Vor der Umstrukturierung mussten von den Studierenden 23 Versuche bearbeitet werden. Nach einem Abgleich der Vorlesungsinhalte und der Versuchsinhalte wurden 7 Versuche gestrichen. Dafür kamen jedoch zwei neue Versuche hinzu, sodass sich die Gesamtanzahl der Versuche auf 18 verringerte.

Aus den folgenden Gründen wurden die Anforderungen der Studierenden bezüglich der fachlichen Versuchsvorbereitung nicht verringert:

- Gerade am Anfang des Studiums verfügen die Studierenden über wenig fachspezifisches Vorwissen (vgl. Kapitel 2.3). Dieses Wissen ist jedoch nötig, um neue Eindrücke angemessen strukturieren und verarbeiten zu können (vgl. Kapitel 1.3.5). Werden die Studierenden nicht dazu angehalten, Wissen über die fachlichen Inhalte und den Ablauf des Versuches zu aktivieren, kann nur sehr schwer ein modellgeleitetes Arbeiten erfolgen. Diese mangelnde Vorbereitung äußert sich häufig in dem Eindruck, dass die Studierenden nicht wissen, was sie warum messen und auswerten sollen.
- Experimentieren sollte stets verantwortungsvoll und sicherheitsgerecht erfolgen. Um jedoch sicherheitsgerecht zu arbeiten, ist ein Verständnis der physikalischen Prinzipien erforderlich zur Einschätzung möglicher Gefahren. Gerade angehende Lehrer und Lehrerinnen sollten diesen Aspekt der sorgfältigen Vorbereitung auf die Ver-

---

<sup>9</sup>Die Veranstaltung experimentelle Übungen für Fortgeschrittene umfasst 4 SWS und findet im Hauptstudium statt.

suchsdurchführung deshalb nicht umgehen.

#### 3.3.2. Entscheidung über Einsatz von Aufgaben

Die Forderung nach einer besseren und transparenteren Vorbereitung soll durch die Verwendung von textbegleitenden Aufgaben realisiert werden. Zum einen, weil Aufgaben eine enorme Bedeutung im schulischen Kontext haben. So können Lernende durch die Bearbeitung von Aufgaben im Grundstudium bereits eigene Erfahrungen sammeln, die dann im Hauptstudium in der Fachdidaktikvorlesung vertieft werden. Zum anderen hat sich gezeigt, dass das Vorwissen der Studierenden sehr heterogen ist und zudem häufig falsche Vorstellungen zu physikalischen Phänomenen bestehen (Kapitel 2.3). Für diese Zielgruppe eignen sich insbesondere Aufgaben, da sie die Aufmerksamkeit auf wichtige Inhalte lenken, wodurch relevantes Vorwissen aktiviert werden kann. Die kognitive Belastung, die nachweislich einen negativen Effekt auf die Lernleistung hat, kann so reduziert werden (vgl. Kapitel 1.3.1 und 1.3.5).

Die Kapitel 3.2.1 und 3.2.2 haben einen Überblick gegeben über die verschiedenen Möglichkeiten, wie man Aufgaben gestalten kann und welche Vorteile und Nachteile damit verbunden sind. Auf der Grundlage dieser Darstellung soll nun das gewählte Format der textbegleitenden Aufgaben begründet werden.

**Entscheidung über den Aufgabentyp.** Eine Entscheidung über den Aufgabentyp (offen, halboffen oder gebunden) ist immer verbunden mit den Inhalten und der Zielsetzungen, die mit den Aufgaben erreicht werden sollen.

Die **behavioristische Lerntheorie** (vgl. Kapitel 1.2.1) beschreibt Lernen als eine Verhaltensänderung, die durch die Verstärkung von Reiz-Reaktionsschemata entstanden ist. Physikalisches Faktenwissen kann auf diese Weise gelernt werden, indem man dem Lernenden physikalische Formelzeichen präsentiert, auf die er mit Angabe der entsprechenden Einheiten reagieren soll (Abb. 3.3). Da die Zuordnung eindeutig ist, kann dem Lernenden unverzüglich zurückgemeldet werden, ob seine Reaktion auf den Reiz richtig ist und verstärkt werden soll. Dadurch kann im behavioristischen Sinn Wissen erlernt werden. Aufgaben dieser Art können ohne weiteres in gebundenem Antwortformat erfolgen.

Aufgaben, die hingegen kognitive Prozesse hinterfragen und anregen sollen, würde man eher den **kognitivistischen Lerntheorien** (vgl. Kapitel 1.2.2) zuordnen. Auch bei diesen Fragen ist es durch eine geschickte Wahl der Aufgaben möglich, diese im gebundenen oder halboffenen Antwortformat zu realisieren. Aufgaben dieser Art können zum Beispiel Konzeptfragen sein (Eine Möglichkeit, wie man diesen Aufgabentyp erstellen kann sowie Beispiele werden im Kapitel 3.3.3 vorgestellt). Bei den Konzeptfragen werden üblicherwei-

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

#### Die elektrische Spannung

In welcher Einheit wird die elektrische Spannung  $U$  gemessen?

- In Ohm
- In Coulomb
- In Volt
- In Ampère



#### Beschleunigung

Woraus ergibt sich die Beschleunigung  $a$ ? Aus der...

- zweiten Ableitung des Weges nach der Zeit.
- zweiten Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit.
- ersten Ableitung des Weges nach der Zeit.
- ersten Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit.



Abbildung 3.3.: Beispiele für die Darstellung von Aufgaben, die Faktenwissen prüfen.

se häufig vorkommende falsche Vorstellungen als Distraktoren gewählt. Durch die Wahl der Antwort kann dann auf das zugrunde liegende Argumentationsmodell des Lernenden geschlossen werden. Voraussetzung für die Entwicklung von Konzeptfragen ist, dass dem Autor die falschen Vorstellungen bekannt sind, um die hierzu passenden Distraktoren entwickeln zu können. Kennt man die typischen falschen Vorstellungen nicht, so müssen Aufgaben im offenen Antwortformat verwendet werden.

Je nach **konstruktivistischer Strömung** (vgl. Kapitel 1.2.3) ist es fraglich, ob man den Lernprozess überhaupt von außen durch Aufgaben steuern kann. Im konstruktivistischen Sinn findet Lernen in einer möglichst authentischen Umgebung statt, in der der Lernende sein Wissen selbstständig konstruiert. Da es bei diesem Ansatz nicht allein auf das Ergebnis ankommt, sondern auf den Konstruktionsprozess, also den Weg zur Lösung, erweist sich die Verwendung von gebundenen beziehungsweise halboffenen Antwortformaten als ungeeignet. Die Aufgaben und deren Beantwortung sollten demnach sehr offen gestaltet werden, damit Kompetenzen, wie zum Beispiel die Problemlösefähigkeit, geschult werden können (z. B.: Abb. 3.4).

#### Die Erdbeschleunigung

Arbeitsauftrag für eine Kleingruppe bestehend aus 2-3 Studierenden:

**Überlegen Sie sich gemeinsam, wie man mithilfe eines iPhones die Erdbeschleunigung  $g$  bestimmen kann!**



Abbildung 3.4.: Beispiel für die Darstellung einer Aufgabe, bei der es nicht auf die Lösung sondern auf den Lösungsweg ankommt. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, diese Aufgabe zu lösen.

**Probleme mit dem bestehenden Praktikum** sind vor allem in der Vorbereitungspha-

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

se auf die Versuche deutlich geworden. In der Vorbereitungsphase sollen die Studierenden mit den Versuchsunterlagen die wichtigsten physikalischen Inhalte erarbeiten, und anschließend werden sie in einem Kolloquium mit dem Versuchsbetreuer hierzu befragt. Die Studierendenbefragung (Kapitel 2.2.3) hat gezeigt, dass es bei diesem Übergang häufig zu Problemen gekommen ist, da oft nicht deutlich wurde, welche Inhalte der Versuchsanleitung wichtig sind und daher vertieft bearbeitet werden müssen. Diese Lücke zwischen der selbstständigen Vorbereitung mit den Versuchsunterlagen und dem Kolloquium soll nun durch die Verwendung von textbegleitenden Aufgaben gefüllt werden (Abbildung 3.5).

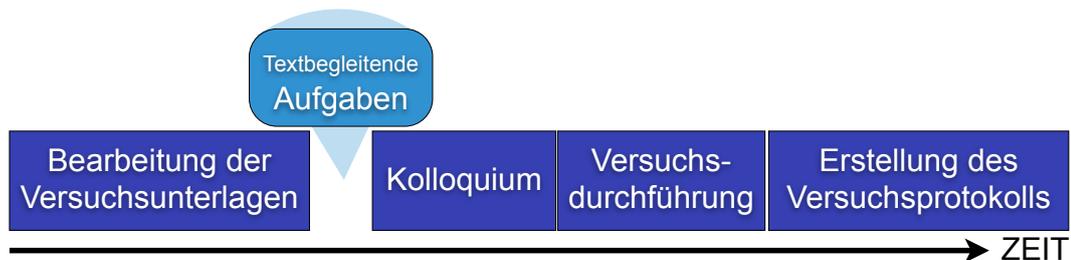


Abbildung 3.5.: In den ursprünglichen Ablauf der experimentellen Übungen wird verpflichtend die Bearbeitung von textbegleitenden Aufgaben integriert.

**Kompetenzmodell zu den experimentellen Übungen.** Was die Studierenden inhaltlich in der Vorbereitungsphase lernen sollen, wurde in einem Kompetenzmodell festgelegt. Angelehnt an das Kompetenzmodell der KMK [85] sollen die Studierenden Kompetenzen im Bereich Fachwissen, Kommunikation und Erkenntnisgewinnung [78] bei der Vorbereitung auf die experimentellen Übungen erlangen (siehe Tabelle 3.2).

Das Kompetenzmodell wurde wegen der großen Bedeutung für den schulischen Kontext bewusst ähnlich dem Kompetenzmodell der KMK gestaltet. Jedoch wurde wegen der in der universitären Lehrerausbildung üblichen Unterteilung in Mechanik, Wärmelehre, Elektrizität, Optik, Atomphysik auf die Basiskonzepte Energie, Materie, Wechselwirkung und System verzichtet. Dem Kompetenzbereich „Bewertung“ wurde eine andere Bedeutung zugeteilt: Es wird hier weniger die historische und gesellschaftliche Bedeutung betrachtet, stattdessen wird größeren Wert auch die Diskussion der Messwerte gelegt (vgl. [78] sowie Anhang 5.8).

Textbegleitende Aufgaben können den Erwerb von Kompetenzen fördern, indem sie physikalisches Faktenwissen (Fachwissen I) und Anwendungswissen testen (Fachwissen II). Im Kompetenzbereich *Kommunikation* kann man Aufgaben entwickeln, indem zum Beispiel Werte und Daten aus Grafiken entnommen werden müssen (Kommunikation I), im Bereich *Erkenntnisgewinnung* Aufgaben, die das methodische Vorgehen bei der Versuchsdurchführung hinterfragen (Erkenntnisgewinnung I). Alle diese Aufgaben haben ein geringes Anforderungsniveau und lassen sich in einem gebundenen Aufgabenformat und offenen Antwortformat realisieren. Schwierig wird es hingegen, wenn Sachbereiche fach-

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

Kompetenzbereiche	Anforderungsbereiche		
	I	II	III
<b>Fachwissen</b>	<b>Wissen wiedergeben:</b> Fakten und physikalische Sachverhalte aus der Vorlesung und den Versuchsunterlagen reproduzieren.	<b>Wissen anwenden:</b> Physikalisches Wissen am Versuch anwenden, Sachverhalte identifizieren und nutzen, Modelle und Analogie benennen. Sicherer Umgang mit versuchsrelevanten Bestimmungsgleichungen. <i>Sich bewusst werden über die eigenen bestehenden Vorstellungen und Modelle</i>	
<b>Kommunikation</b>	<b>Mit vorgegebenen Darstellungsformen arbeiten:</b> Sachverhalte schriftlich wiedergeben können, vorgegebene Grafiken nachvollziehen, zuordnen, beschreiben und darstellen können.	<b>Geeignete Darstellungsformen nutzen:</b> Sachverhalte fachsprachlich korrekt und strukturiert darstellen, auf Beiträge und Fragen sachgerecht eingehen, Aussagen sachlich begründen.	
<b>Erkenntnisgewinnung</b>	<b>Fachmethoden beschreiben:</b> Physiktypische experimentelle Arbeitsweisen nachvollziehen und beschreiben.		

Tabelle 3.2.: Beschreibung der Kompetenzen, die bei der Vorbereitung auf die experimentellen Übungen erworben werden sollen.

sprachlich korrekt dargestellt werden müssen und Aussagen sachlich begründet werden sollen (Kommunikation II). Hier ist ein offenes Antwortformat unumgänglich.

Bei der konkreten Gestaltung der Aufgaben wurden überwiegend Aufgaben mit gebundenem Antwortformat verwendet. Diese Entscheidung basiert auf einer einfachen **Aufwands-Nutzen-Rechnung**: Die meisten Inhalte dieser Aufgaben lassen sich sowohl in einem offenen als auch in einem gebundenen Antwortformat realisieren. Der Aufwand, Aufgaben mit gebundenem Antwortformat zu korrigieren, ist jedoch erheblich geringer im Vergleich zu Aufgaben mit offenem Antwortformat.

**Entscheidung für den Einsatz von elektronischen Aufgaben.** Da überwiegend textbegleitende Aufgaben mit gebundenem Antwortformat eingesetzt werden, bietet es sich an, diese Aufgaben elektronisch zu realisieren. So können die Vorteile elektronischer Aufgaben, wie die automatische Datenauswertung, die zeitliche Unabhängigkeit der Bearbeitung, die Verwendung von Hyperlinks und die sofortige Rückmeldung des Ergebnisses genutzt werden.

An der Universität zu Köln ist das Learning Management System ILIAS<sup>10</sup> bereits in vielen Veranstaltungen integriert. Die Studierenden erhalten bereits bei der Einschreibung an der Universität zu Köln einen Zugangscode zum ILIAS-Server. Auch in den physikalischen Grundlagenvorlesungen wird ILIAS zum Bereitstellen von Vorlesungsskripten und Übungsaufgaben verwendet [57, 18]. Die Studierenden, die an den experimentellen Übungen teilnehmen, sind daher schon mit dem System vertraut, sodass hier keine Probleme bei der Bedienung, beim Herunterladen oder beim Bereitstellen von Materialien zu

<sup>10</sup>Integriertes Lern-, Informations- und Arbeitskooperations-System

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

erwarten sind.

Wie bereits erwähnt, wurden zu Beginn der Umgestaltung der experimentellen Übungen neben Aufgaben mit gebundenem Antwortformat auch vereinzelt Aufgaben mit offenem Antwortformat verwendet. Dieser Aufgabentyp hat sich jedoch als weniger geeignet herausgestellt. Denn bei der Erstellung der Aufgaben müssen einzelne Schlagwörter definiert werden, die in den Antworten vorkommen sollen. Wenn eines der Schlagwörter im Antworttext enthalten ist, vergibt das System ILIAS automatisch die volle Punktzahl. Dabei wird der Zusammenhang, indem das Wort erscheint, nicht berücksichtigt (siehe hierzu Abbildung 3.6). Im Nachhinein kann der Administrator die Punktzahl korrigieren. Dies hat jedoch bei den Studierenden zur Verwirrung geführt, da das System zunächst eine andere Bewertung gegeben hatte.

Auf Grund dieser Erfahrung werden Zusammenhänge von physikalischen Größen, bei denen Sachverhalte fachsprachlich korrekt dargestellt werden sollen, im nach wie vor bestehenden Kolloquium gefördert und getestet. Elektronische Aufgaben sind hierzu weniger geeignet.

Klemmenspannung

Wie verändert sich die Klemmenspannung  $U_K$ , wenn ein zusätzlicher Widerstand  $R_2$  parallel (vgl. Abb.) hinzugefügt wird? Begründen Sie ihre Überlegungen!

Die Stromstärke wird kleiner, weil der Widerstand größer wird. Die Klemmenspannung wird dann größer.

**Wird vom System als richtig gewertet!**

Klemmenspannung

Wie verändert sich die Klemmenspannung  $U_K$ , wenn ein zusätzlicher Widerstand  $R_2$  parallel (vgl. Abb.) hinzugefügt wird? Begründen Sie ihre Überlegungen!

Die Stromstärke steigt, weil sich der Gesamtwiderstand verringert. Dadurch verringert sich die Klemmenspannung.

**Wird vom System als richtig gewertet!**

Verwendete Schlagwörter: „Widerstand“, „kleiner“, „Stromstärke“, „größer“, „Klemmenspannung“

Abbildung 3.6.: Das System vergibt immer dann Punkte, wenn eines der Schlagwörter im Text enthalten ist. Der Zusammenhang, in dem das Schlagwort erscheint, kann nicht automatisch ausgewertet werden.

#### 3.3.3. Ansätze zur Entwicklung von elektronischen Aufgaben

Bei der Entwicklung von Aufgaben sollte modellgeleitet und nicht intuitiv vorgegangen werden, denn nur dann können Aufgaben den Lernprozess optimal unterstützen. Bevor man mit der eigentlichen Aufgabenentwicklung beginnt, sollte zunächst eine Analyse und Strukturierung des zu lernenden Inhaltes erfolgen. Hierzu wird in der Regel das Wissensgebiet in kleinere Wissensbausteine zerlegt und anschließend die Relationen dieser Bausteine

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

zueinander herausgearbeitet (z. B. [75]). Es gibt verschiedene Ansätze, wie man bei der Analyse der Wissensgebiete vorgehen kann. Als Gliederungsvorschlag wird häufig eine Unterteilung von Haladyna [44, S. 90 ff.] angeführt, in der eine Untergliederung des Wissensgebietes in Fakten, Ereignisse, Begriffe und Regeln vorgeschlagen wird. Auch andere Analysevorschlage, wie zum Beispiel von Korndle, Narciss und Proske [75, S. 4] sind sehr allgemein gehalten und deshalb für die Verwendung im naturwissenschaftlichen Kontext und insbesondere im Rahmen der experimentellen Übungen nur bedingt verwendbar. Aus diesem Grund wurden für die Konstruktion von Aufgaben die zwei Ansätze “Der objektorientierte Ansatz” und “Der konzeptorientierte Ansatz” verwendet und auf die speziellen Anforderungen angepasst.

Im Anhang D (S. 200) befindet sich ein Handbuch zur Konstruktion von Aufgaben. Dieses Handbuch diente als Grundlage für alle Aufgaben, die für die experimentellen Übungen entwickelt wurden.

Im Rahmen der Hauptstudiumsvorlesung “Grundlagen der Fachdidaktik” wurde das Handbuch auch mit den Studierenden erprobt. Hierzu bekamen die Studierenden das Handbuch ausgehändigt und sollten anschließend auf der Lernplattform ILIAS eine Aufgabe nach dem objektorientierten Ansatz (S. 70) und eine Aufgabe nach dem konzeptorientierten Ansatz (S. 73) entwickeln. Die von den Studierenden entworfenen Aufgaben waren durchweg sehr zufriedenstellend und auch die verlangten Begründungen zeigten sinnvolle und reflektierte Überlegungen. Eine abschließende Befragung der insgesamt 24 Studierenden zeigte eine positive Bewertung des Handbuches (vgl. Anhang A.5). Die Bewertung erfolgte auf einer Likert-Skala von 1 “Zustimmung” bis 5 “Ablehnung”.

- Hat Ihnen das Handbuch bei der Entwicklung von Aufgaben geholfen? MEDIAN: 2
- Haben Sie mit dem Handbuch Ihr Wissen über die Konstruktion von Aufgaben erweitern können? MEDIAN: 2
- Wie verständlich war die Beschreibung des objektorientierten Ansatzes? MEDIAN: 2
- Wie verständlich war die Beschreibung des konzeptorientierten Ansatzes? MEDIAN: 2

In den folgenden Abschnitten werden die Ansätze zur Entwicklung von Aufgaben erläutert.

#### **Der objektorientierte Ansatz**

Die Idee des objektorientierten Ansatzes stammt aus der objektorientierten Analyse und Modellbildung in der Softwareentwicklung [14]. Die objektorientierte Modellbildung geht von der Annahme aus, dass jedes (strukturierte) System in Objekte zerlegt werden kann. Dabei können wiederum jedem Objekt Eigenschaften und Methoden zugeordnet werden. Die Anwendbarkeit dieser Annahme für physikalische Zusammenhänge konnte A. Bresges im Rahmen seiner Dissertation belegen [17]. Der Begriff “Objekt” ist häufig mit einem physikalisch existenten Objekt verbunden, muss aber nicht zwangsläufig einen realen Ge-

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

genstand beschreiben. Entscheidend ist allein, dass zu einem Objekt eine sinnvolle und allgemeingültige Zuordnung der Eigenschaften und Methoden möglich ist. Dies ist zum Beispiel auch mit den physikalischen Konstrukten “virtuelles Bild”, “ideale Spannungsquelle” oder “harmonischer Oszillator” möglich.

Unter “**Eigenschaften**” werden alle feststehenden Merkmale zusammengefasst. Das kann zum Beispiel die Farbe oder das Material eines Objektes sein.

“**Methoden**” beschreiben hingegen zum Beispiel, wie sich ein Objekt bewegt oder sich unter bestimmten Bedingungen verhält.

**Die Zielsetzung der objektorientierten Methode:** Aufgaben, die mit dem objektorientierten Ansatz entwickelt werden, sollen prüfen, ob die Studierenden die Methoden und Eigenschaften den Objekten richtig zuordnen können. Diese bisher sehr abstrakte Darstellung des objektorientierten Ansatzes soll nun anhand eines konkreten Beispiels veranschaulicht werden: Bei dem Versuch “Temperaturabhängigkeit von Widerständen” sollen die Studierenden die Temperaturabhängigkeit eines PTC<sup>11</sup> und eines NTC<sup>12</sup> untersuchen. Hierbei soll in einer Versuchsreihe der Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt werden. Zur Vorbereitung auf den Versuch sollen die Studierenden die theoretischen Grundlagen erwerben. Dazu gehört unter anderem auch das Wissen, wie sich der elektrische Widerstand eines PTC / NTC bei steigender Temperatur verändert.

**Die Festlegung der Aufgabeninhalte** kann wie folgt aussehen: Zunächst müssen die physikalischen Begriffe beziehungsweise Objekte, die für das Verständnis des Versuches wichtig sind, herausgearbeitet werden. In unserem Beispiel wären das unter anderem die Objekte “PTC” und “NTC”. Anschließend werden diesen Objekten Methoden und Eigenschaften zugeordnet (vgl. Abbildung 3.7).

Auf diese Weise erhält man einen Überblick über die physikalischen Zusammenhänge und kann auf dieser Grundlage entscheiden, welche Objekte, Methoden und Eigenschaften für das Verständnis des Versuchs bedeutsam sind. Zu allen bedeutsamen Zusammenhängen werden Aufgaben entwickelt. Wichtig ist, dass man die Relation der Objekte, Methoden und Eigenschaften herausarbeitet, **bevor** man mit der Aufgabenentwicklung beginnt, denn nur dann kann man sicher sein, dass man alle wichtigen Inhalte bei der Aufgabenerstellung berücksichtigt. Dieses vorgestellte Beispiel ist natürlich beliebig erweiterbar. Im Anschluss könnte man zum Beispiel den PTC und den NTC mit dem Bändermodell betrachten und herausarbeiten, warum sich der elektrische Widerstand abhängig von der Temperatur unterschiedlich verhält.

**Die Entwicklung der Aufgabe** kann in verschiedenen Antwortformaten erfolgen. Der Aufgabenstamm, also die Aufgabenstellung, ergibt sich aus den einzelnen Verbindungen

---

<sup>11</sup>Widerstand mit Positive Temperature Coefficient: Der Widerstand steigt mit zunehmender Temperatur

<sup>12</sup>Widerstand mit Negative Temperature Coefficient: Der Widerstand sinkt mit zunehmender Temperatur.

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

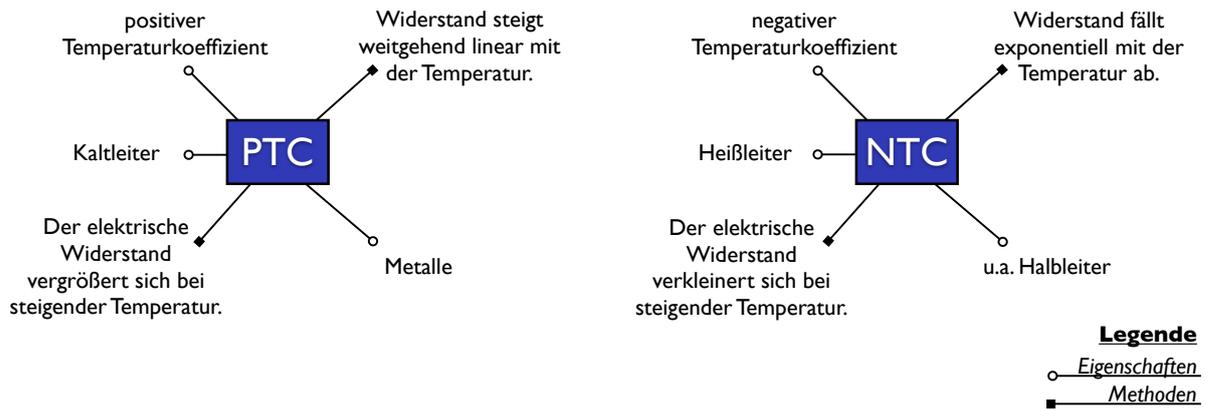


Abbildung 3.7.: Den Objekten “NTC” und “PTC” werden Methoden und Eigenschaften zugeordnet.

zwischen den Objekten, den Methoden und den Eigenschaften. Im Prinzip kann zu jeder Verbindung eine einzelne Aufgabe entwickelt werden.

Eine Aufgabe im offenen Antwortformat, könnte lauten: *“Wie verhält sich der PTC bei steigender Temperatur? Begründe!”* oder *“Wie verändert sich der Widerstand beim Heißleiter bei sinkender Temperatur? Begründe!”*.

Bei Aufgaben im *gebundenen Antwortformat* erhält man sinnvolle Distraktoren unter anderem aus einer falschen Zuordnung der Methoden und Eigenschaften zu den Objekten (vgl. Abbildung 3.8).

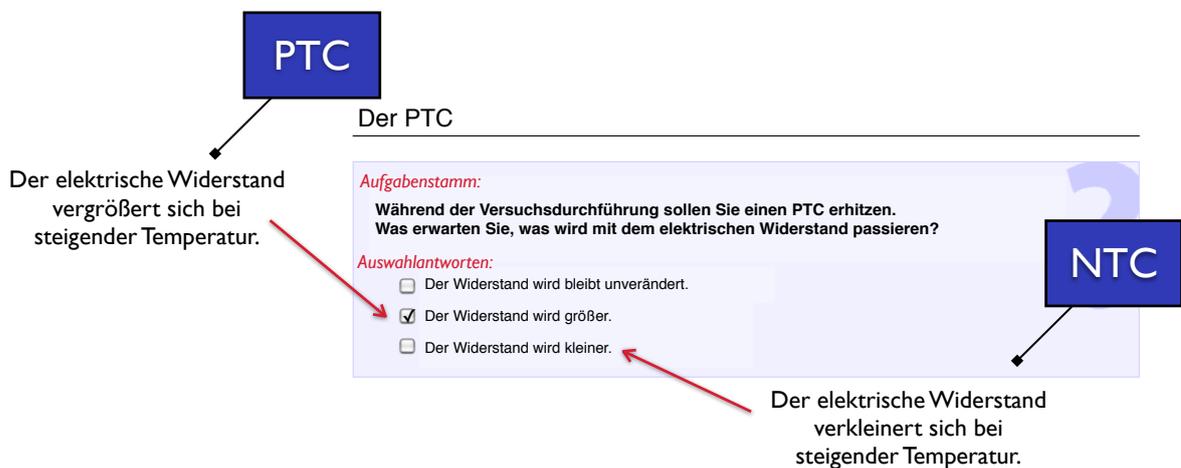


Abbildung 3.8.: Beispiel für die Erstellung einer Aufgabe mit gebundenem Antwortformat mit dem objektorientierten Ansatz.

**Der Vorteil der objektorientierten Methode** besteht darin, dass die Aufgaben nicht intuitiv, sondern strukturiert ausgewählt und entwickelt werden. Zusätzlich wird die

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

größte Schwierigkeit bei der Aufgabenentwicklung, die Auswahl sinnvoller Distraktoren, mit dieser Methode erleichtert. Nachteilig bei dieser Methode ist sicherlich, dass es einige Zeit dauert, bis man alle Objekte, Methoden und Eigenschaften herausgearbeitet hat. Hingegen geht die Entwicklung der Aufgaben im Anschluss wesentlich schneller.

#### **Der konzeptorientierte Ansatz**

Konzeptfragen werden in der fachdidaktischen Forschung häufig eingesetzt zur Erhebung von themenspezifischem Vorwissen. Der wohl bekannteste Konzepttest ist der FCI<sup>13</sup>. Im Gegensatz zum objektorientierten Ansatz werden als Ausgangspunkt für die Entwicklung der Aufgaben nicht die Objekte, Methoden und Eigenschaften betrachtet, sondern die Vorstellungen, die die Lernenden zu den physikalischen Themen mitbringen.

**Die Zielsetzung der konzeptorientierten Methode:** Ziel von konzeptorientierten Aufgaben ist die Analyse der zugrunde liegenden Argumentationsmodelle und damit verbunden eine Diagnostik von falschen Vorstellungen. Auch der konzeptorientierte Ansatz soll anhand eines Beispiels nun konkretisiert werden: Im Versuch “Der schiefe Wurf” sollen die Studierenden mithilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera und entsprechender Bildbearbeitungssoftware die Erdbeschleunigung  $g \approx 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  ermitteln.

**Bei der Festlegung der Aufgabeninhalte** sollte zunächst herausgefunden werden, welche falschen Vorstellungen zu den physikalischen Inhalten des Versuchs bestehen. Die Kenntnis über diese falschen Vorstellungen ist deshalb von enormer Bedeutung, da falsche Vorstellungen das Lernen der Studierenden stark beeinflussen können (vgl. Kapitel 1.3.6). Die Entwicklung der konzeptorientierten Aufgaben beginnt deshalb in den meisten Fällen mit einer Literaturrecherche über häufig vorkommende falsche Vorstellungen bei der Altersgruppe der Lernenden. Da im Bereich von falschen physikalischen Vorstellungen bereits seit mehr als 40 Jahren intensiv geforscht wird, findet man in der Literatur zahlreiche Hinweise auf Fehlvorstellungen zu nahezu allen Themen der klassischen Physik. Im Kontext “Schiefer Wurf” findet man unter anderem die Vorstellung, dass während des Fluges (ohne Luftreibung) mindestens zwei Kräfte auf den geworfenen Gegenstand wirken [77]:

- Die Erdanziehungskraft und eine Kraft in Wurfrichtung, oder
- die Erdanziehungskraft und eine weitere Kraft, die so gerichtet ist, dass die Vektoraddition dieser beiden Kräfte immer in Bewegungsrichtung des Wurfobjektes zeigt.

**Mit der Entwicklung der Aufgaben** wird das zugrunde liegende Modell, dass der Lernende verwendet, hinterfragt. Beispiele für Aufgaben mit offenem Antwortformat könnten sein: “Warum wirkt auf den Ball keine Kraft in Wurfrichtung? Begründen Sie ihre Über-

---

<sup>13</sup>Force Concept Inventory

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

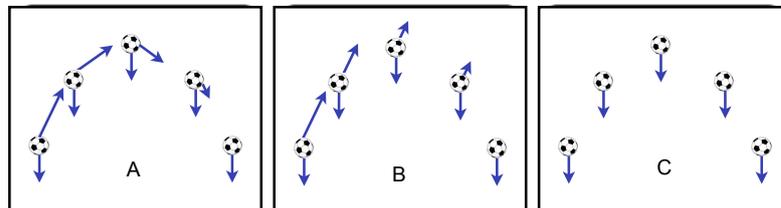
legungen!“.

Bei Aufgaben im gebundenen Antwortformat ergeben sich die Distraktoren aus den häufig vorkommenden falschen Vorstellungen. Eine entsprechende Multiple Choice Aufgabe ist in der Abbildung 3.9 abgebildet. Die Lösungsvarianten A und B wurden aus den Ergebnissen einer Untersuchung [77] bei Studierenden entwickelt, in der die Studierenden die Kräfte bei Wurfbewegungen einzeichnen sollten.

**A:** Auf den Ball wirkt eine Kraft in Bewegungsrichtung, die zunehmend “verbraucht” wird, bis die Erdanziehungskraft überwiegt.

**B:** Wenn nur die Erdanziehungskraft wirken würde, würde der Ball sofort senkrecht nach unten fallen. Es muss noch eine weitere Kraft wirken, sodass die Resultierende dieser beiden Kräfte in Bewegungsrichtung zeigt.

#### Kräfte im Flug



Welche der folgenden Abbildungen gibt die Kraft/ die Kräfte, die auf einen Ball während des Fluges wirken, am besten wieder?

- A
- B
- C
- D: Keine Abbildung ist richtig.

Abbildung 3.9.: Beispiel für die Darstellung einer Aufgabe, die physikalische Vorstellungen prüft. Häufig findet man auf die Frage, *welche Kräfte im Flug auf einen Körper wirken* die falschen Vorstellungen A oder B.

**Der Vorteil der konzeptorientierten Methode** besteht vor allem darin, dass man mit diesem Aufgabentyp falsche Vorstellungen identifizieren kann. Die Kenntnis über bestehende Vorstellungen erlaubt es dann, die Materialien so anzupassen, dass man diese Vorstellungen thematisieren und eventuell auch korrigieren kann. Nachteilig ist jedoch die aufwändige Vorbereitungsphase, bei der man typische falsche Vorstellungen herausarbeiten muss.

## Zusammenfassung

Die fertigen Aufgaben, die mit dem konzeptorientierten und dem objektorientierten Ansatz entstanden sind, unterscheiden sich manchmal kaum. Dennoch ist eine Unterscheidung dieser beiden Ansätze wichtig und sinnvoll, da die Ziele, die Konstruktion und der Umgang mit den Ergebnissen unterschiedlich sind. Während man beim objektorientierten Ansatz die Antworten der Aufgaben in „richtig/ falsch“ kategorisieren kann, stellt sich beim konzeptorientierten Ansatz die Frage, welche Antwort mit welchem Verständnis verknüpft ist und wie man am besten hierauf reagieren kann.

	<b>Objektorientierter Ansatz</b>	<b>Konzeptorientierter Ansatz</b>
<b>Ziel</b>	Die Zuordnung der Methoden und Eigenschaften zu Objekten soll überprüft werden.	Eine Analyse des zu Grunde liegenden Modells und Diagnostik von Fehlvorstellungen.
<b>Anwendbar</b>	Immer.	Mögliche fehlerhafte Vorstellungen müssen bekannt sein!
<b>Aufgabenkonstruktion</b>		
offenes Antwortformat	Sukzessives Abfragen der Methoden und Eigenschaften der Objekte.	Erfragen der Modellvorstellungen anhand hierzu ausgewählter Aufgabenstellungen.
Wahl der Distraktoren im gebundenen Antwortformat	Distraktoren ergeben sich aus einer falschen Kombination der Objekte, Methoden und Eigenschaften.	Distraktoren ergeben sich aus häufigen falschen Vorstellungen.
<b>Umgang mit Antworten</b>	Die Antworten werden mit richtig/ falsch bewertet.	Es schließen sich Überlegungen an, wie und mit welchen Mitteln man falsche Modellvorstellungen korrigieren kann.

Tabelle 3.3.: Gegenüberstellung des konzeptorientierten und objektorientierten Ansatzes.

## Allgemeine Hinweise

Bei der Zusammenstellung der Aufgaben für einen Versuch sollten stets verschiedene Aufgabentypen verwendet werden: Aufgaben, die Faktenwissen (Definitionen/ Vereinbarungen) prüfen; Aufgaben, die das zugrunde liegende Modell hinterfragen; Aufgaben, die das Verständnis der Abhängigkeiten verschiedener physikalischer Größen prüfen.

Eine Zusammenstellung dieser inhaltlich verschiedenen Aufgabentypen ist sinnvoll, da die falsche Beantwortung einer Aufgabe verschiedene Ursachen haben kann, unter anderem:

- Eine falsche Modellvorstellung kann dafür verantwortlich sein, dass die Abhängigkeiten physikalischer Größen nicht erkannt werden.
- Aufgrund eines falschen Verständnisses der Abhängigkeiten physikalischer Größen

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

kann sich ein falsches Modellverständnis entwickelt haben.

- Da dem Studierenden das nötige Faktenwissen fehlt, hat er die Aufgabenstellung nicht richtig verstanden.

Um die Ursache und die Wirkung besser voneinander trennen zu können, werden daher alle drei Aufgabentypen verwendet.

#### Aufgaben zur Überprüfung von...

##### Faktenwissen

Die elektrische Stromstärke

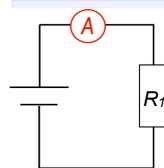
Wie ist der elektrische Strom  $I$  definiert?

$I =$    
  $dQ / dt$   
  $dQ \cdot dt$   
  $dQ / dt / dQ$

Entwicklung: Objektorientierten Ansatz

##### der Abhängigkeit phys. Größen

Der elektrische Widerstand



Wenn man den Widerstand  $R_1$  durch einen größeren Widerstand ersetzt, wie verändert sich die elektrische Stromstärke?

- Die elektrische Stromstärke wird größer.
- Die elektrische Stromstärke wird bleibt unverändert.
- Die elektrische Stromstärke wird kleiner.

Entwicklung: Objektorientierten Ansatz

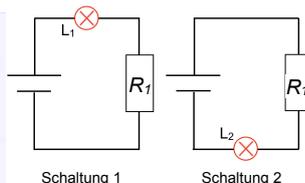
##### Modellvorstellungen

Verbrauchsvorstellung

Betrachten Sie die Schaltung 1 und die Schaltung 2. Die Lampen  $L_1$  und  $L_2$  sind baugleich.

Welche Aussage ist richtig?

- Die Lampe  $L_1$  leuchtet heller als die Lampe  $L_2$ .
- Die Lampe  $L_2$  leuchtet heller als die Lampe  $L_1$ .
- Die Lampen  $L_2$  und  $L_1$  leuchten gleich hell.



Entwicklung: Konzeptorientierten Ansatz

Abbildung 3.10.: Bei der Zusammenstellung der Aufgaben zur Vorbereitung auf die experimentellen Übungen werden verschiedene Aufgaben gestellt.

Bei der Entwicklung von Aufgaben mit gebundenem Antwortformat gibt es eine Vielzahl von Richtlinien, die man beachten sollte. Darunter zum Beispiel:

- Die Wahlantworten sollten möglichst homogen sein (Grammatik und Textlänge).
- Die Distraktoren sollten keine Hinweise auf richtige Lösungen enthalten.
- Die richtigen und falschen Lösungen sollten eindeutig sein.
- Es sollten so viele Informationen wie möglich in der Aufgabenstellung enthalten sein.

Schlecht:	Besser:
<p>Welche der folgenden Aussagen ist richtig?</p> <p><input type="checkbox"/> Der Mond dreht sich in 24 Stunden um die Erde.</p> <p><input type="checkbox"/> Der Mond dreht sich in 365 Tagen um die Erde.</p> <p><input type="checkbox"/> Der Mond dreht sich in 28 Tagen um die Erde.</p>	<p>Der Mond dreht sich um die Erde in:</p> <p><input type="checkbox"/> 24 Stunden</p> <p><input type="checkbox"/> 365 Tagen</p> <p><input type="checkbox"/> 28 Tagen</p>

Tabelle 3.4.: Hinweis zur Formulierung von Aufgabenstellungen: Möglichst viele Informationen sollten in der Aufgabenstellung enthalten sein.

Eine Übersicht der wichtigsten Richtlinien, zum Teil mit Beispielen, wurde in einem Handbuch zur Aufgabenentwicklung (siehe Anhang D) zusammengestellt. Grundlage für dieses Handbuch waren Veröffentlichungen von N.E. Gronlund [41] und T.M. Haladyna [44]. Darüber hinaus findet man Gestaltungshinweise für Aufgaben mit naturwissenschaftlichen Inhalten, zum Beispiel:

- Wenn Formeln, die in einem Lehrtext enthalten sind, abgefragt werden sollen, sollten die Gleichungen umgeformt werden. Auf diese Weise kann verhindert werden, dass die Formeln nur aus dem Text abgeschrieben werden, ohne dass sich über den Inhalt Gedanken gemacht wird.

**Beispiel:** Üblicherweise wird die Abbildungsgleichung von idealen Linsen angegeben mit  $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ . Eine Aufgabe hierzu könnte lauten:

*Welche Gleichungen gibt die Abbildungsgleichung für Linsen richtig wieder:*

$f = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$

$f = \frac{b \cdot g}{b + g}$

$\frac{1}{f} = \frac{b}{g}$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{g + b}$

$f = g + b$

### 3.3.4. Möglichkeiten von Aufgaben-Feedback

Da Aufgaben mit Feedback immer lernwirksamer sind als Aufgaben ohne Feedback, soll auch bei den textbegleitenden Aufgaben diese Funktion genutzt werden [134]. Damit sich die Studierenden mit den Aufgaben auf den Versuch und das Kolloquium vorbereiten können, sollen ihnen mehrere Testdurchläufe zur Verfügung stehen. So haben die Studierenden Gelegenheit, ihr Wissen anhand der Aufgaben zu testen. Falsch bearbeitete

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

Aufgaben können in einem weiteren Testdurchlauf erneut bearbeitet werden. Wenn die Studierenden die Option haben, die Aufgaben mehrmals zu bearbeiten, macht es natürlich wenig Sinn nach jedem Testdurchlauf die richtige Lösung zu präsentieren. Aus diesem Grund wurde für die experimentellen Übungen der Feedbacktyp *Knowledge of performance* (vgl. 3.3.4) gewählt. Die Studierenden bekommen vom System angegeben, wie viel Prozent der maximal erreichbaren Punkte sie bei jeder Aufgabe erreicht haben (Tabelle 3.5).

Reihenfolge	Titel	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl	Prozent gelöst
1	Entstehung des Magnetfeldes	2	2	100.00%
2	Magnetfeldlinien	1	1	100.00%
3	Deklination	1	1	100.00%
4	Inklination (1)	1	1	100.00%
5	Inklination (2)	1.5	0	0.00%
6	Permeabilität (1)	2	0	0.00%
7	Permeabilität (2)	1	0.5	50.00%
8	Kompass (1)	1	1	100.00%
9	Kompass (2)	2	1.5	75.00%
10	Statische Methode (1)	1	0	0.00%
11	Statische Methode (2)	2	0	0.00%
12	Statische Methode (3)	2	2	100.00%
13	Dynamische Methode (1)	1	1	100.00%
14	Dynamische Methode (2)	2	2	100.00%
15	Dynamische Methode (3)	2	0	0.00%
16	Bestimmung der Stärke des Magnetfeldes	2	2	100.00%
<b>Gesamt</b>		<b>24,5</b>	<b>15</b>	<b>61,22%</b>

Tabelle 3.5.: Darstellung der Ergebnisse nach der Beendigung eines Testdurchlaufes.

Um zu vermeiden, dass die Studierenden die Aufgaben so lange bearbeiten bis sie die richtige Lösung erraten haben, wurde die Anzahl der Testdurchläufe auf zwei reduziert. In einem Testdurchlauf müssen die Studierenden 70% der maximalen Punktzahl erreichen. Erst wenn diese Punktzahl erreicht worden ist, dürfen die Studierenden zum Kolloquium und zur Versuchsdurchführung kommen.

Zwar könnte ein informatives, tutorielles Feedback auch in ILIAS realisiert werden, jedoch wurde hierauf verzichtet. Denn die Ursachen, die zu einer falschen Lösung führen, können bei jedem Studierenden so unterschiedlich sein, dass die Entwicklung der Hilfestellungen zu aufwändig wäre. Stattdessen sollen Verständnisprobleme im Rahmen des Kolloquiums gemeinsam mit dem Betreuer geklärt werden.

So wie die Studierenden sich dazu verpflichten, die textbegleitenden Aufgaben in ILIAS zu bearbeiten, so verpflichten sich die Betreuer, sich auf das Kolloquium auf Grundlage der eingesehenen Testergebnisse vorzubereiten.

Die E-Learning Plattform ILIAS bietet verschiedene Darstellungsoptionen der Testergebnisse:

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

- Auswertung für alle NutzerInnen: Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse aller Teilnehmer (vgl. Anhang C.5).
- Detaillierte Statistik für einzelne Teilnehmer: Hier kann genau eingesehen werden, was der einzelne Studierende bei jeder Aufgabe als Lösung angegeben hat (vgl. Abbildung 3.11).
- Aggregierte Testergebnisse: Zusammenfassung der Ergebnisse zu den einzelnen Aufgaben (vgl. Anhang C.6).
- Ergebnisse zu den Einzelfragen: Hier können alle Teilnehmerlösungen zu einer Aufgabe exportiert werden.

#### 4. Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung (1)

Wodurch zeichnet sich eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung aus?

- Die Geschwindigkeit  $v(t)$  bleibt konstant.
- Die Geschwindigkeit  $v(t)$  verändert sich in jeder Sekunde um einen konstanten Wert.
- Die Beschleunigung  $a(t)$  verändert sich in jeder Sekunde um einen konstanten Wert.
- Die Beschleunigung  $a(t)$  bleibt immer konstant.



#### 5. Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung (2)

Mit welcher/n der folgenden Gleichungen können Sie die gleichmäßig beschleunigte Bewegung berechnen?

- $v = v_0 + 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot t$  ✓
- $s = s_0 + 0,5 \cdot a \cdot t^2$  ✗
- $v = v_0 + s / t$  ✓

Abbildung 3.11.: Auszug aus der detaillierten Statistik. Das rote Kreuz weist auf einen Fehler bei der Bearbeitung hin. Im vorliegenden Fall hätte  $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$  ausgewählt werden müssen.

Das versuchsbegleitende Kolloquium nimmt einen Zeitraum von etwa 30 Minuten ein und hat im wesentlichen zwei Funktionen:

1. Es wird **überprüft**, ob die Studierenden die elektronischen Aufgaben selbstständig bearbeitet haben.
2. Die Studierenden sollen gezielt auf Grundlage der Testergebnisse **gefördert** werden.

Anhand der Testergebnisse kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Test von den Studierenden nicht selbstständig bearbeitet wurde. Mit dem passenden ILIAS-Login kann theoretisch jeder Studierende den Test bearbeiten, ohne dass dies anhand der Teststatistik auffallen würde. Aus diesem Grunde werden im Kolloquium Fragen zu den bear-

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

beiteten Aufgaben gestellt. Studierenden, die selbstständig die Aufgaben bearbeitet haben, sollten erklären können, warum ihre angekreuzte Antwort richtig ist. Falls auffällt, dass der Studierende wiederholt die angegebenen Lösungen nicht begründen kann, wird der Studierende von der Versuchsdurchführung ausgeschlossen. Kommt ein vergleichbarer Täuschungsversuch erneut vor, führt dies zu einem Ausschluss aus den experimentellen Übungen für ein Semester.

Diese scheinbar harte Auflage geht einher mit dem Versprechen, dass der Versuchsbetreuer nur die ILIAS-Aufgaben als Gegenstand der Diskussion im Kolloquium berücksichtigt. Ein Studierender hat demnach die Möglichkeit sich optimal auf das Kolloquium vorzubereiten. Durch die Festlegung der Aufgaben werden somit auch die Anforderungen des Kolloquiums offengelegt, wodurch der Forderung der Studierenden nach mehr Transparenz nachgegangen wird (vgl. [78] und Kapitel 2.2.3).

Die Aufgaben dienen jedoch nicht nur zur Kontrolle, sie können auch zur gezielten Förderung der Studierenden genutzt werden. Durch eine Analyse der Testergebnisse und der Teststatistiken kann der Versuchsbetreuer bereits vor dem Kolloquium die Stärken und Schwächen der Studierenden abschätzen.

Neben Fragen, die feststellen, ob der Test selbstständig bearbeitet wurde, werden im Kolloquium insbesondere die Aufgaben besprochen, bei deren Beantwortung die Studierenden Probleme hatten. Da der Betreuer diese Probleme bereits vor dem Kolloquium kennt, hat er ausreichend Gelegenheit, geeignete Modelle oder Aufgaben zu konstruieren, die bei der Lösung des Problems helfen könnten. Die Zeit während des Kolloquiums kann so für alle Beteiligten wesentlich effizienter genutzt werden.

Während des Kolloquiums kann der Umgang mit den bestehenden Problemen in zwei Stufen erfolgen:

1. *Der Betreuer lenkt das Gespräch zwischen den Studierenden.* Eine Versuchsgruppe besteht in der Regel aus zwei bis drei Studierenden. Wenn zum Beispiel ein Studierender eine Aufgabe in ILIAS falsch und ein anderer Studierender die Aufgaben richtig beantwortet hat, kann diese Information im Kolloquium genutzt werden. Der Studierende, der die Aufgabe offensichtlich richtig gelöst hat, kann es dem Studierenden erklären, der mit der Aufgabe Probleme hatte. Das Kolloquium besteht dann nicht mehr aus einem "Frage-Antwort-Spiel" zwischen Studierenden und Betreuer, sondern stellt eine kooperative Lernsituation dar (z. B. [58, S. 4 ff.]). Auf diese Weise können kooperative Lernstile der Studierenden angeregt und gefördert werden.
2. *Der Betreuer versucht, Hilfestellungen zu geben.* Kann innerhalb einer Versuchsgruppe eine bestimmte Aufgabe von keinem Studierenden gelöst werden oder sind die Erklärungen unzureichend, so muss der Betreuer Denkanstöße geben, die zur Lösung der Aufgaben führen. Diese Denkanstöße können sehr unterschiedlich sein: Denkbar ist die Konfrontation mit Aufgaben oder Experimenten, die einen kognitiven Kon-

flikt bei den Studierenden hervorrufen und so zu einem Modellwechsel führen [30], ebenso wie das gemeinsame Suchen eines Rechenfehlers bei der Bearbeitung einer Aufgabe.

Ein weiteres Potenzial der elektronischen Aufgaben besteht in der **Diagnostik von falschen Modellvorstellungen**. Anhand von Konzeptaufgaben kann man auf das Erklärungsmodell der Studierenden schließen. Im Kolloquium kann man im Gespräch diese Vorstellungen gezielt hinterfragen und diskutieren.

## 3.4. Evaluation: Studierendenbefragung

Nach Abschluss der Umstrukturierung im WS (2010/2011) sollte nun eine erneute Befragung der Studierenden Aufschluss über den Erfolg der Umstrukturierung der experimentellen Übungen geben. Die Studierenden sollten, wie in der ersten Befragung (WS 2008/2009)<sup>14</sup>, Aussagen treffen zur Selbsteinschätzung der eigenen Motivation (4 Items), der Anforderungen der Versuche (3 Items), der fachlichen Vertiefung durch die Versuche (9 Items) und zur organisatorischen Umsetzung der experimentellen Übungen (3 Items). Der Grad der Zustimmung zu jeder Aussage wurde auf einer Likert-Skala von “1 - trifft zu” bis “6 - trifft nicht zu” dokumentiert. Hinzu kamen drei Fragen mit freiem Antwortformat, in denen die Studierenden die Vorteile und die Nachteile der nun umgestalteten experimentellen Übungen benennen sollten, sowie eine Frage zur Akzeptanz der ILIAS-Aufgaben. Die Antworten der Studierenden wurden nach qualitativen Methoden kategorisiert und anschließend durch eine Häufigkeitsanalyse [98] zusammengefasst. An der Umfrage haben 22 Studierende teilgenommen, die die experimentellen Übungen im Wintersemester 2010/2011 belegt hatten.

Die Ergebnisse zu den einzelnen Items können im Anhang A.2 eingesehen werden. Bei den ordinalskalierten Items zur Einschätzung der experimentellen Übungen zeigte sich bei keinem Item eine Verschlechterung gegenüber der ersten Befragung. Zwei der drei Items, die bei der ersten Befragung von einer guten bis mittleren Beurteilung abwichen, erreichten bei der erneuten Befragung am Ende der Umgestaltung eine deutlich bessere Beurteilung. Hierzu gehörte das Item *“Die Versuchsanleitungen waren ausreichend zur Durchführung der Versuche und zum Erstellen des Versuchsprotokolls”* mit einem Median von 2 (statt 4)<sup>15</sup> und das Item *“Manchmal wurde erst bei der Durchführung des Versuches deutlich, welche theoretischen Grundlagen bedeutsam sind”* mit einem Median von 4 (statt 2)<sup>16</sup>. Dabei muss der Median immer auf einer Skala von “1- trifft zu” bis “6 - trifft nicht zu” bezogen werden. Durch eine statistische Analyse mit dem parameterfrei-

---

<sup>14</sup>Die Ergebnisse der ersten Befragung wurden im Kapitel 2.2.3 vorgestellt.

<sup>15</sup>im WS 08/09

<sup>16</sup>ebd.

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

en Mann-Whitney-U-Test für zwei unabhängige Stichproben (siehe Tabelle 5.3, S. 191), konnte zudem belegt werden, dass dieser Unterschied zwischen den Antworten vor und nach der Umgestaltung signifikant ist (mit  $\alpha = 0.05$ ).

#### Grundidee des Mann-Whitney-U-Test:

Ordinalskalierten Daten lassen vergleichende Aussagen wie zum Beispiel *gut/besser/schlechter* oder *gleich/ungleich* zu. Der Abstand zwischen den Einschätzungen ist jedoch nicht konstant. Wenn man zum Beispiel eine Skala von 1-“sehr gut” bis 6-“sehr schlecht” wählt, dann ist die Einschätzung 2 nicht zwingend doppelt so gut wie die Einschätzung 4 [21, S. 74]. Ordinalskalierte Daten können deshalb nur mit nicht-parametrischen Tests ausgewertet werden. Ein Test zur Auswertung von zwei unabhängigen Stichproben ist der “Mann-Whitney-U-Test”. Der *U*-Test überprüft, ob die Unterschiede in zwei Gruppen (vor und nach der Umstrukturierung) bezüglich einer abhängigen Variablen zufällig sind oder auf systematische Unterschiede hinweisen. Die Analyse der Daten erfolgt über die zugeordneten Rangplätze: Hierzu werden zunächst alle Angaben der Studierenden (von 1 bis 6) zu einem Item abhängig der Größe nach sortiert. Alle Messwerte bilden nun eine gemeinsame Rangreihe. Die Gruppenzugehörigkeit spielt dabei zunächst keine Rolle. Jedem einzelnen Messwert wird in einem nächsten Schritt eine Rangplatznummer zugewiesen. Dadurch ist es möglich, für jede der beiden Gruppen die Summe der Rangplätze sowie den mittleren Rangplatz zu ermitteln. Ob die Unterschiede der beiden Größen nun signifikant sind, lässt sich durch den *U*-Wert beantworten. Hierzu wird für jeden Rangplatz einer Person der Gruppe A gezählt, wie viele Personen aus der Gruppe B diesen Rangplatz überschreiten. Der *U*-Wert ergibt sich dann aus der Summe der Rangplatzüberschreitungen.[125]

Unterscheiden sich die beiden Gruppen nicht durch systematische Effekte, dann sind sowohl die mittleren Rangplätze, die Rangsummen, sowie die Rangplatzüberschreitungen nahezu gleich. Unterscheiden sich die beiden Gruppen hingegen deutlich voneinander, so ist ein systematischer Unterschied wahrscheinlich. Die Signifikanz dieses Unterschiedes kann bei (relativ) gleich großen Gruppen mithilfe des *z*-Wertes und der Standardnormalverteilung bestimmt werden.

$$z = \frac{U - \mu}{\sigma} \quad (3.1)$$

*U* = *U*-Wert einer Gruppe,  $\sigma$  = Streuung um den Mittelwert,  $\mu$  = erwarteter Mittelwert [125, S. 152]

Nach wie vor zeigt das Item *“Manchmal wird erst bei der Durchführung der Versuche deutlich, welche theoretischen Grundlagen bedeutsam sind”* mit einem Median von 2, dass manche fachlichen Inhalte erst während des Gespräches im Kolloquium verstanden werden. Dies spricht dafür, dass die direkte Kommunikation und Diskussion ein wahrscheinlich unersetzbares Element beim Lernen im Kontext der experimentellen Übungen ist. Dieser Lernprozess kann demnach nicht vollständig durch elektronische Testfragen und Anleitungen abgedeckt werden. Denn Lernen besteht oftmals auch aus einem Austausch von Problemen und möglichen Lösungsstrategien bei der Interaktion mit Anderen.

Dennoch haben elektronische Aufgaben bei der Vorbereitung auf die experimentellen Übungen eine bedeutsame Rolle. So haben die Studierenden angegeben, dass die elektronischen Testaufgaben ihnen geholfen haben, sich auf den Versuch vorzubereiten.<sup>17</sup> Die

<sup>17</sup>Das Item *“Die ILLIAS-Testfragen haben mir geholfen, mich auf den Versuch vorzubereiten”* – wurde

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

Antworten der Studierenden auf die Frage *“Welche Vor-Nachteile sehen Sie bei der Verwendung der ILIAS-Testfragen?”* geben hierzu detailliertere Hinweise. Die folgenden Kategorien und Zitate von Studierenden sollen einen Eindruck geben über die Nutzung und die Akzeptanz der ILIAS-Aufgaben.

#### Vorteile:

##### 1) **Überprüfung von Wissen.** Beispiele aus den Antworten der Studierenden:<sup>18</sup>

“Gute Kontrolle des Gelesenen aus den Versuchsanleitungen”

“Darüber hinaus kann man erkennen, ob man die theoretischen Grundlagen verstanden hat und übertragen kann. Man hat somit eine gute Selbstüberprüfung, da man sofort seine Ergebnisse sieht.”

“Es dient als Rückmeldung für einen selbst, wie fit man ist und ob man alle wesentlichen Aspekte bedacht hat.”

“Sicheres Gefühl für das anstehende Kolloquium nach erfolgreichem Bestehen der Testfragen”

##### 2) **Inhaltliche Vertiefung.** Beispiele aus den Antworten der Studierenden:<sup>19</sup>

“Die Testfragen erleichtern es herauszufinden, welche Inhalte besonders wichtig sind.”

“Man ist gezwungen, sich mit den Inhalten gründlich auseinander zu setzen.”

“Intensive Beschäftigung mit dem Thema.”

“Die Testaufgaben in Ilias haben zum allgemeinen Verständnis des Themas sehr geholfen.”

##### 3) **Organisatorische Vorteile.** Beispiele aus den Antworten der Studierenden:<sup>20</sup>

“Förderung des Lernens durch freie Zeiteinteilung; man kann den Test beginnen (ohne Zeitdruck) und auch Pause einlegen, bei Verständnisproblemen kann man parallel im Internet nach Lösung suchen ► Ehrgeiz wird geweckt.”

“Im Allgemeinen fand ich das gut, sich zu Hause so vorbereiten zu können.”

#### Nachteile:

##### 1) **Zeitlicher Aufwand und organisatorische Probleme.** Beispiele aus den Antworten der Studierenden:<sup>21</sup>

“Ein Nachteil ist also, dass der Test extra Zeit kostet.”

“Es kann durchaus mal länger dauern, bis man den Test bestanden hat.”

##### 2) **Systembedingte Probleme bzw. Probleme aufgrund der Aufgabenkonzeption.** Beispiele aus den Antworten der Studierenden:<sup>22</sup>

“Richtige Lösung wird nicht bekannt gegeben, das heißt, dass man nur weiß, dass etwas falsch ist - aber nicht was richtig ist.”

“Der Nachteil ist, dass man das Abgefragte in den Vordergrund stellt und die anderen Aspekte des Versuchs außer Acht lässt.”

---

mit einem Median von 2 bewertet.

<sup>18</sup>Insgesamt konnten zehn Aussagen dieser Kategorie zugeordnet werden.

<sup>19</sup>Insgesamt konnten elf Aussagen dieser Kategorie zugeordnet werden.

<sup>20</sup>Insgesamt konnten vier Aussagen dieser Kategorie zugeordnet werden.

<sup>21</sup>Insgesamt konnten sechs Aussagen dieser Kategorie zugeordnet werden.

<sup>22</sup>Insgesamt konnten sechs Aussagen dieser Kategorie zugeordnet werden.

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

Insgesamt haben 16 Studierende diese Frage beantwortet. Alle Studierenden haben Vorteile der ILIAS-Aufgaben benannt. Die meisten Antworten konnten der Kategorie *“Überprüfung von Vorwissen”* (63%) und der Kategorie *“inhaltliche Vertiefung”* (69%) zugeordnet werden. Die Studierenden bestätigen mit ihren Äußerungen, dass die ILIAS-Aufgaben entscheidend dazu beigetragen haben, die Anforderungen transparent zu machen und die fachlichen Inhalte zu vertiefen.

Dieser Eindruck bestärkt sich auch durch die Antworten auf die Frage *“Welche Probleme sind bei der Versuchsvorbereitung, der Versuchsdurchführung und beim Erstellen des Protokolls aufgetreten?”*:

Vor der Umgestaltung der experimentellen Übungen beklagten die Studierenden vor allem die unklaren und uneinheitlichen Anforderungen insbesondere im Bezug auf das Kolloquium (Kapitel 2.2.3). Vergleichend hierzu beklagte sich nach der Umgestaltung kein Einziger über unklare beziehungsweise uneinheitliche Anforderungen. Die Forderung nach mehr Transparenz und fachlicher Unterstützung (vgl. 3.1) konnte demnach durch Verwendung von ILIAS-Aufgaben erreicht werden.

Die angegebenen Probleme sind nach der Umgestaltung wesentlich heterogener, als vor der Umgestaltung: Vier Studierende beschreiben, dass sie Probleme beim Erstellen des Protokolls haben, vier Studierende bemerken, dass es vereinzelt bei den ILIAS-Aufgaben Probleme gegeben hat, drei Studierende weisen auf fachliche Probleme hin und die meisten, 7 Studierende, beklagten sich über den zeitlichen Aufwand der Versuche.

#### **Probleme mit den ILIAS-Aufgaben aus Sicht der Studierenden.**

Die geäußerten Probleme mit den ILIAS-Aufgaben konnten in zwei Kategorien sortiert werden:

Systembedingte Probleme: Systembedingte Probleme beschreiben alle Probleme, die sich auf die Umsetzung in ILIAS zurückführen lassen, zum Beispiel die Verwendung von *“Freitextaufgaben”* (S. 69) oder auf die Art der Aufgabenkonstruktion. Sechs Studierende weisen auf Probleme dieser Art hin.

Zeitliche Probleme: Ungefähr ein Drittel der Studierenden bemängelten, dass die ILIAS-Aufgaben viel Zeit in Anspruch nehmen.

Zur Erhebung des zeitlichen Aufwands der experimentellen Übungen gab es noch eine weitere Frage: *“Wie groß schätzen Sie den stündlichen Zeitaufwand für die Vorbereitung und Nachbereitung eines Versuchs im Durchschnitt ein?”*. Vor der Umgestaltung gaben die Studierenden einen Median von 11 Stunden an, nach der Umgestaltung einen Median von 6.5 Stunden (vgl. Anhang A.2). Demnach konnte trotz eines weiteren Pflichtbestandteils (Bearbeitung der ILIAS-Aufgaben) die Arbeitslast der Studierenden nach ihrer subjektiven Einschätzung reduziert werden. Dieser Umstand kann dadurch erklärt werden, dass

- a) (vereinzelt) Versuchsaufgaben gekürzt wurden,

### 3. Umgestaltung der experimentellen Übungen

- b) sich die Qualität der Vorbereitung verbessert hat. Die Vermutung besteht, dass die Studierende sich strukturierter vorbereiten, da die ILIAS-Aufgaben durch die Theorie leiten und die wichtigen Inhalte betonen. Gerade Studierende mit wenig Vorwissen erhalten so einen “roten Faden”, der ihnen bei der Vorbereitung zu den experimentellen Übungen hilft.

Auf eine Umfrage der Betreuer zur Evaluation der experimentellen Übungen wurde verzichtet, da lediglich drei Betreuer die experimentellen Übungen betreuen. Die Betreuer waren zudem an den inhaltlichen und organisatorischen Umgestaltung der experimentellen Übungen beteiligt<sup>23</sup>, sodass insgesamt die Gefahr bestehen würde, dass die Angaben nicht genügend objektiv sind.

#### **Anmerkungen zu den ILIAS-Aufgaben**

Aus persönlichen Erfahrungen und auch aus den Äußerungen der Studierenden lässt sich ableiten, dass die Studierenden die ILIAS-Aufgaben zur Vorbereitung auf die experimentellen Übungen nutzen. Die Verwendung von textbegleitenden Aufgaben führt dazu, dass die Aufmerksamkeit der Studierenden sehr stark auf bestimmte Inhalte gelenkt wird. Hierdurch werden die Erwartungen und Anforderungen des Betreuers transparent. Deshalb ist es wichtig, dass alle inhaltlich relevanten physikalischen Fakten und Beziehungen durch die Aufgaben abgedeckt werden. Denn die Qualität<sup>24</sup> der Aufgaben ist entscheidend für den Lernerfolg der Studierenden!

---

<sup>23</sup>Die ILIAS-Aufgaben wurden überwiegend nach einem vorgegebenen Leitfaden von den Versuchsbetreuern selbstständig entwickelt.

<sup>24</sup>Mit Qualität ist die a) inhaltliche Qualität und b) Qualität der Aufgabenkonstruktion gemeint.

## 4. Untersuchungen

Auf Grundlage der im ersten Kapitel enthaltenen Überlegungen über Einflussfaktoren auf den Lernerfolg beim Experimentieren wurden im zweiten und im dritten Kapitel dieser Arbeit die experimentellen Übungen umgestaltet. Neben der Integration eines Learning Management System wurde insbesondere ein Schwerpunkt auf die Verwendung und die Konzeption von elektronisch gestellten „ILIAS-Aufgaben“ zur Vorbereitung auf die experimentellen Übungen gelegt. Die theoretischen Überlegungen (vgl. Kapitel 1), die Analyse der Studierendengruppe (vgl. Kapitel 1.3.5) und die anschließende Umfrage der Studierenden nach der Umgestaltung (vgl. Kapitel 3.4) lassen vermuten, dass elektronisch gestellte Aufgaben ein erfolgversprechendes Werkzeug zur Verbesserung der Vorbereitung auf die experimentellen Übungen sind.

Ergänzend zu den hier angeführten Überlegungen findet man in der Literatur verschiedene Studien, die die Effektivität von (textbegleitenden) Aufgaben untersuchen. Diese Studien zeigen, dass textbegleitende Aufgaben sich positiv auf den Lernerfolg auswirken (vgl. Kapitel 3.2, S. 49).

Aufgaben, die im Rahmen der experimentellen Übungen verwendet werden, müssen mehr leisten als eine alleinige Wiedergabe von Textinhalten, wie das bei „herkömmlichen“ textbegleitenden Aufgaben die Regel ist. Die hier verwendeten Aufgaben müssen zudem ermöglichen, physikalische Konzepte zu hinterfragen, physikalische Beziehungen herauszuarbeiten sowie das theoretische Wissen mit der Versuchsmethode und der Versuchsdurchführung zu verbinden. Inwiefern sich dieses Wissen mit elektronisch gestellten Aufgaben im Rahmen von experimentellen Übungen transportieren lässt, ist bislang noch nicht in Studien untersucht worden. Ebenso offen ist die Frage nach der Größe des Effekts – und damit unmittelbar verbunden – die Frage nach der Effizienz: Lohnt sich der Aufwand der Aufgabenentwicklung im Verhältnis zum erwarteten Lernerfolg der Studierenden?

Eine Gesamtevaluation der umgestalteten experimentellen Übungen im Vergleich zu dem zuvor bestehenden System konnte aus folgenden Gründen nicht durchgeführt werden:

- Die Anzahl der Studierenden pro Semester ist zu gering, sodass keine Einteilung der Studierenden in eine homogene Versuchs- und Kontrollgruppe möglich war.
- Es kann nicht sichergestellt werden, dass die Studierenden die Informationen (zum Beispiel die „ILIAS-Aufgaben“) an andere Studierenden nicht im Laufe eines Seme-

sters weitergeben.

- Der organisatorische und vor allem personelle Aufwand wäre zu groß gewesen, um beide Systeme gleichzeitig adäquat durchzuführen.

Zur Evaluation folgen deshalb nun verschiedene Untersuchungen, die Teilaspekte der umgestalteten experimentellen Übungen untersuchen.

Die erste Untersuchung *“Effektivität von elektronisch gestellten Aufgaben“* prüft im Versuchs-Kontrollgruppen-Design den Effekt der webbasierten elektronischen Testaufgaben zur Vorbereitung auf experimentelle Übungen bei Studierenden des Lehramts Physik. Andere Neuerungen, wie zum Beispiel die Chancen, die sich durch die Kenntnis der Stärken und Schwächen der Studierenden im Kolloquium ergeben (vgl. Kapitel 3.3.4), werden bei dieser Untersuchung nicht berücksichtigt.

In einer zweiten Untersuchung soll im Versuchs-Kontrollgruppen-Design nachgewiesen werden, inwiefern der Versuch *“Die Kirchhoffschen Gesetze“* hilft, falsche Vorstellungen zum elektrischen Stromkreis abzubauen. Hier soll insbesondere darauf eingegangen werden, welche Rollen die einzelnen Komponenten der experimentellen Übungen (Versuchsvorbereitung mit elektronischen Aufgaben, Kolloquium, Versuchsdurchführung, Versuchsauswertung) ausfüllen.

In einer dritten Untersuchung soll nachgewiesen werden, inwiefern der Versuch *“Der schiefe Wurf“* hilft, falsche Vorstellung zu Kräften, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen abzubauen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt hier in der Verbindung eines realen Experimentes mit einer Computersimulation.

### **4.1. Die Effektivität elektronisch gestellter Aufgaben zur Vorbereitung auf experimentelle Übungen (Vorstudie)**

Die nun vorgestellte Untersuchung ist in zwei Abschnitte unterteilt. In einer Vorstudie wurden zunächst Hinweise über mögliche Variablen und Einflussgrößen von textbegleitenden Aufgaben gesammelt. In der hieran anschließenden Hauptstudie wurde unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse eine größere Anzahl von experimentellen Versuchen untersucht. Die Ergebnisse der Vorstudie wurden bereits in Auszügen veröffentlicht [79].

### 4.1.1. Hypothese

Die bisherigen theoretischen Überlegungen – in Verbindung mit dem Umfrageergebnis der Studierenden und den Forschungsergebnissen vergleichbarer Studien – geben Aufschluss über die Wirksamkeit von elektronisch gestellten Aufgaben mit Feedback. So ist aufgrund dieser Erkenntnisse davon auszugehen, dass Studierende, die neben den Versuchsunterlagen zusätzlich elektronische Aufgaben<sup>1</sup> lösen, bessere Leistungen zeigen als Studierende, die nur die Versuchsunterlagen bearbeiten.

*Hypothese: Studierende, die neben den Versuchsunterlagen verbindlich dazu aufgefordert werden, textbegleitende Aufgaben zu bearbeiten, sind besser vorbereitet, als Studierende, die nur die Versuchsunterlagen bearbeiten.*

### 4.1.2. Methode

#### Rahmenbedingungen

An der Universität zu Köln finden die experimentellen Übungen semesterbegleitend statt. Jede Studierendengruppe führt in einem rotierenden System in jeder Woche einen anderen Versuch durch. Durch diese Organisation ist es schwer, eine Untersuchung unter festgelegten Rahmenbedingungen zu ermöglichen. Darüber hinaus wurde als problematisch bewertet, dass die Studierenden im Rahmen der Umstrukturierung bereits einzelne Versuche mit “*ILIAS - Aufgaben*” bearbeitet hatten, sodass nicht ausgeschlossen werden konnte, dass diese Erfahrungen das Untersuchungsergebnis beeinflusst hätten. Aufgrund der hier angeführten Gründe wurde die Untersuchung an der Universität Koblenz-Landau/Campus Landau durchgeführt. Die Lehramtsstudierenden an dieser Universität sind im Rahmen ihres Physikstudiums weder mit Learning Management Systemen noch mit elektronischen Aufgaben zur Vorbereitung auf die experimentellen Übungen konfrontiert worden. Eine vergleichbare Beeinflussung der Untersuchungsergebnisse war daher auszuschließen. Zudem konnten die Rahmenbedingungen an der Universität Koblenz-Landau/Campus Landau besser kontrolliert werden, da die experimentellen Übungen als Blockveranstaltung im Umfang von einer Woche organisiert sind.

---

<sup>1</sup>Unter elektronischen Aufgaben werden fortan elektronisch gestellte Aufgaben auf der Lernplattform ILIAS verstanden.

## Entwicklung der Materialien

Im Sommersemester 2010 umfasste das experimentelle Praktikum an der Universität Koblenz-Landau/Campus Landau die physikalischen Themengebiete Mechanik und Wärmelehre. Hierzu zählten sieben Versuche zur Mechanik und sechs Versuche zur Wärmelehre. Zu allen diesen Versuchen existierte eine kurze Anleitung mit den theoretischen Hintergründen, den Zielsetzungen sowie Hinweise zur Versuchsmethode und Auswertung<sup>2</sup>. Aus diesem Pool von Versuchen wurden in einer ersten Studie je zwei Versuche aus dem Bereich der Mechanik und der Wärmelehre ausgewählt und hierzu passende elektronische Aufgaben mit gebundenem Antwortformat auf der Lernplattform *ILLIAS* entwickelt. Als inhaltliche Basis der Aufgaben dienten die Versuchsunterlagen. Bei der Gestaltung der Aufgaben war das entwickelte Handbuch “Entwicklung von Aufgaben in den Naturwissenschaften” maßgeblich (vgl. Anhang D, S.200 ff.).

Die verwendeten Versuche sind aus dem Bereich der Mechanik:

**M1: Hydrostatischer Druck & M2: Bestimmung der Federkonstanten**

und aus dem Bereich der Wärmelehre:

**W1: Mischungskalometrie & W2: Gleichung des idealen Gases**

### Auszug aus den Unterlagen zum Experimentalpraktikum

#### Grundlagen:

Sofern die Temperatur eines idealen Gases konstant ist, gilt:

$$p \sim 1/V \text{ (Boyle-Mariottesches-Gesetz).}$$

### Hierzu entwickelte Frage in ILLIAS

Bei einer isothermen Zustandsänderung bleibt die Temperatur konstant. Für diesen Fall folgt das Boyle-Mariottesches-Gesetz.

**Welchen Verlauf der Messwerte erwarten Sie, wenn Sie den Druck in Abhängigkeit vom Volumen auftragen?**

- A
- B
- C
- D

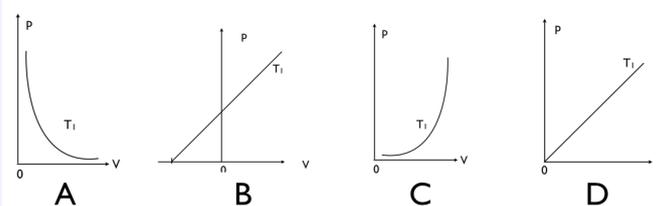


Abbildung 4.1.: Aufgabenbeispiel aus den ILLIAS-Tests.

Als Konzepttests wurde ein bewährter Test zur Wärmelehre [161] und zur Mechanik verwendet [53].

<sup>2</sup>Der Umfang der Versuchsanleitungen beträgt circa 2 Seiten pro Versuch.

## Untersuchungsdesign

Die durchgeführte Studie wies ein Versuchs-Kontrollgruppen-Design auf. Hierzu wurden die Studierenden zunächst in zwei homogene Gruppen eingeteilt. Als Kriterium wurden das Geschlecht, die Fachsemesteranzahl, die Abiturnote und die bereits bestandenen Prüfungen in Fach Physik berücksichtigt. Jede der beiden Gruppen diente für jeweils einen Mechanik- und einen Wärmeleherversuch als Versuchsgruppe beziehungsweise als Kontrollgruppe (Abbildung 4.2). Durch die abwechselnde Einteilung der Studierenden in Versuchs- und Kontrollgruppe und die Berücksichtigung des Vorwissens der Studierenden (Kontrollvariable) kann bei der Betrachtung aller vier Versuche ausgeschlossen werden, dass ein bezüglich der Hypothese positiver oder negativer Befund ausschließlich auf die Inhomogenität der Gruppeneinteilung zurückzuführen ist.

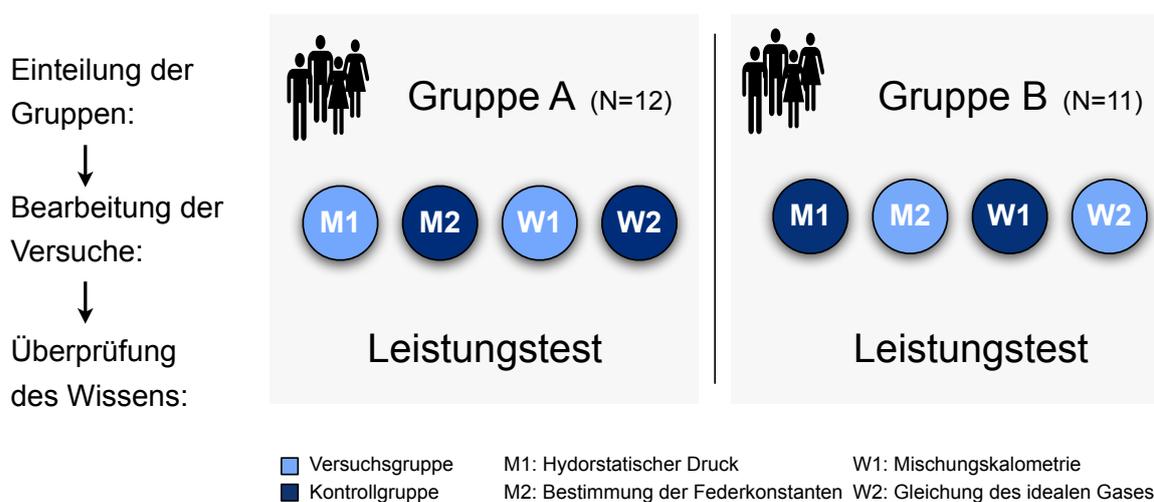


Abbildung 4.2.: Darstellung des Untersuchungsdesigns in der Vorstudie.

Die Studierenden, die als Versuchsgruppe diente, musste neben den Versuchsunterlagen zusätzlich verpflichtend textbegleitende Aufgaben in *ILIAS* bearbeiten. Um sicherzustellen, dass die Aufgaben ernsthaft bearbeitet wurden, mussten die Studierenden 70% der maximalen Punktzahl in zwei Testdurchläufen erreichen. Der Beste der beiden Testdurchläufe wurde gewertet. Die Kontrollgruppe hatte nur die Versuchsunterlagen zur Verfügung. Da die Aufgaben inhaltlich an die Versuchsunterlagen gebunden waren, haben die Studierenden der Versuchsgruppe keine zusätzlichen Informationen gegenüber der Kontrollgruppe erhalten.

Unmittelbar vor der Versuchsdurchführung wurden die Studierenden aufgefordert, zu allen vier Versuchen einen Leistungstest zu bearbeiten. Da der Leistungstest zuvor nicht angekündigt wurde, ist davon auszugehen, dass neben individuellen Merkmalen (wie zum Beispiel den Physikvorleistungen) allein die Art der Vorbereitung einen Einfluss auf das Ergebnis des Leistungstests hatte. Unabhängig von der Gruppeneinteilung haben alle

Studierenden den gleichen Test bearbeitet. Inhaltlich orientierten sich die Testfragen an den Versuchsunterlagen und beinhalteten Fragen zu den theoretischen Grundlagen und zur Versuchsdurchführung. Die Beantwortung der Fragen erfolgte im offenen Format, in sogenannten "Freitextaufgaben". Bei der Auswertung der Antworten diente als Orientierung ein zuvor festgelegter Erwartungshorizont in Form einer Musterlösung (Anhang E.3).

#### Variablen der Untersuchung

Als *abhängige Variable* diente die Anzahl der erreichten Punkte im Leistungstest. Es wird davon ausgegangen, dass Studierende, die im Sinne der Hypothese besser vorbereitet waren, auch mehr Punkte im Leistungstest erreichten. Beim Leistungstest handelte es sich im Bezug auf die Vorbereitung zu den experimentellen Übungen um einen *ILLIAS*-Posttest.

Als *unabhängige Variablen* wurde die Art der Vorbereitung berücksichtigt. Es ist davon auszugehen, dass die Vorbereitung durch webbasierte, textbegleitende Aufgaben einen Einfluss auf die abhängige Variable hatte. Ob ein Zusammenhang bestand und wie groß dieser Effekt war, sollte in der Untersuchung nachgewiesen werden. Zusätzlich wurde das Geschlecht der Studierenden erfasst.

In der Lehr-Lern-Forschung besteht einheitlicher Konsens darüber, dass der Lernerfolg durch vielfältige Faktoren beeinflusst wird [116, 51]. Unter Berücksichtigung dieser empirisch gewonnenen Ergebnisse wurden neben dem Einfluss durch textbegleitende Aufgaben noch weitere *Moderatorvariablen* (Kontrollvariablen) bei dieser Untersuchung berücksichtigt. Als mögliche Einflussfaktoren wurden folgende Merkmale der Studierenden erfasst:

- Themenspezifisches Vorwissen  
Das themenspezifische Vorwissen der Studierenden hat sich als eine sehr wichtige Variable zur Einschätzung des Lernerfolgs erwiesen. Diese Erkenntnis folgt aus den Ergebnissen der Lehr-Lern-Forschung, die einheitlich die Bedeutung des themenspezifischen Vorwissens als eine der bedeutendsten Einflussgrößen für den Lernerfolg betonen [51, 74, 76, 81, 135].
- Abiturnote  
Nur insgesamt 18 Studierende haben hierzu Angaben gemacht. Aus diesem Grund wurde diese Variable bei der Auswertung nicht berücksichtigt.
- Fachsemesteranzahl  
Auf die Berücksichtigung der Fachsemester wurde verzichtet, da die Studierenden alle zu Beginn ihres Studiums standen und so davon auszugehen war, dass sich

## 4. Untersuchungen

ihr Vorwissen kaum unterschied: 1. Semester ▷ zwölf Studierende; 2. Semester ▷ sechs Studierende; 3. Semester ▷ drei Studierende. Zwei Studierende haben keine Angaben gemacht.

	<b>Variable</b>	<b>Erläuterung</b>
AV	Leistung in (%)	Leistungstest nach der Vorbereitung mit/ ohne ILIAS
UV	Art der Vorbereitung Geschlecht	mit ILIAS-Aufgaben/ohne ILIAS-Aufgaben männlich/weiblich
MV	Themenspezifisches Vorwissen	Erfasst durch Konzepttests (FCI/ TCI)

Tabelle 4.1.: Variablen der Untersuchung. Erläuterung: AV: Abhängige Variable, UV: Unabhängige Variable, MV: Moderatorvariable (Kontrollvariablen)

### Stichprobe

Die Untersuchung wurde an der Universität Koblenz-Landau/Campus Landau durchgeführt. An dieser Untersuchung haben 23 Physik-Lehramtsstudierende teilgenommen. Die Stichprobe zeichnete sich durch die folgenden Merkmale aus:

Aufteilung nach Geschlecht: 10 Studentinnen (43%) und 13 Studenten (57%).

Einschätzung über das Vorwissen der Teilnehmer: Alle Studierenden standen noch am Anfang ihres Studiums (Median: 1. Semester). Es ist demnach davon auszugehen, dass das themenspezifische Vorwissen der Studierenden als gering einzuschätzen war. Diese Annahme wird unterstützt durch die Ergebnisse der beiden verwendeten Konzepttests. Beide Konzepttests bestehen aus sehr grundlegenden Aufgaben, die nur Inhalte der Mittelstufenphysik berücksichtigten. Im Konzepttest zur Mechanik wurden im Durchschnitt 42% der Aufgaben richtig gelöst, im Konzepttest zur Wärmelehre waren es 66%.

### Datenerhebung/ Organisation

Im Vorfeld zur Untersuchung wurden die Studierenden über den Ablauf der Untersuchung und über das LMS "ILIAS" informiert. Hierzu wurden den Studierenden verschiedene Informationsblätter ausgehändigt, die im Anhang E.1 zu finden sind. Zur Einteilung der Studierenden in zwei möglichst homogene Gruppen wurden die Studierenden darum gebeten einen personenbezogenen Fragebogen auszufüllen. Dieser Fragebogen mit Hinweisen über die Verwendung der Daten ist im Anhang E.2 dargestellt. Auf Grundlage dieser Daten wurden die Studierenden in die zwei Gruppen A und B (vgl. Abb. 4.2) eingeteilt. Innerhalb von *ILIAS* wurde diese Unterteilung durch zwei verschiedene Kurse realisiert.

#### 4. Untersuchungen

Studierende der Gruppe A wurden dem *ILIAS-Kurs A* zugefügt, Studierende der Gruppe B dem *ILIAS-Kurs B*. Im jeweiligen Kurs befanden sich nur die Materialien, die die Studierenden im Rahmen der Untersuchung bearbeiten sollten. Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass die Studierenden den *ILIAS-Test* der jeweils anderen Gruppe mit ihrem *ILIAS-Login* nicht einsehen konnten. Die Studierenden hatten zwei Wochen vor Beginn des Praktikums Zeit, die Aufgaben in ILIAS zu bearbeiten und zu bestehen. Hierzu benötigten sie 70 % der maximalen Punktzahl und konnten zwei Testdurchläufe absolvieren.

Vor Beginn der Blockveranstaltung zum “Experimentalpraktikum für Lehramtsstudierende und Umweltwissenschaftler”<sup>3</sup> wurden die Studierenden aufgefordert die Leistungstests zu den vier verschiedenen Versuchen, sowie die beiden Konzepttests zu bearbeiten.

Im Anschluss bearbeiteten die Studierenden die einzelnen Versuche in gewohnter Weise und fertigten abschließend ein Versuchsprotokoll mit den Messergebnissen an.

#### **Auswertungsverfahren**

Die Berechnung der Daten erfolgte mit dem Statistik Programm *SPSS 19*. Zur Auswertung der Daten wurde das Verfahren der einfaktoriellen Varianzanalyse beziehungsweise der Kovarianzanalyse (Erläuterung auf Seite 109) verwendet. Zunächst wurden die Voraussetzungen der Varianzanalyse getestet und im Anschluss wurde die statistische Signifikanz geprüft.

Da die Stichprobe für eine statistische Untersuchung vergleichsweise klein ist, wurde zur Absicherung der Ergebnisse noch ein Test durchgeführt, der an weniger Voraussetzungen gebunden ist: der “Mann-Whitney-U-Test”. Die Grundidee dieses Testes ist auf der Seite 82 erläutert.

---

<sup>3</sup>Bezeichnung der Veranstaltung an der Universität Koblenz-Landau/ Campus Landau innerhalb der die experimentellen Übungen stattfinden. Die Veranstaltung unterteilt sich in Grundpraktikum 1 und Grundpraktikum 2. Die hier verwendeten Daten stammen aus dem Grundpraktikum 1.

## 4. Untersuchungen

### Grundidee der Varianzanalyse [6, 63, 65, 111, 125]

Die Varianzanalyse dient der Überprüfung von Mittelwertsunterschieden. Anders wie zum Beispiel beim T-Test werden hierzu nicht die Verteilung der Mittelwerte, sondern die Varianz der Daten analysiert. Dazu vergleicht man die Varianz *zwischen verschiedenen Gruppen* (hier: Kontrollgruppe und Vergleichsgruppe) mit der Varianz *innerhalb dieser Gruppen*. Unter der Nullhypothese unterscheiden sich die beiden Varianzen nur zufällig. Ist die Varianz zwischen den Gruppen deutlich größer als die Varianz innerhalb der Gruppen, so spricht dies dafür, dass die Unterschiede zwischen den Gruppen systematisch sind. Ob sich die Gruppen signifikant voneinander unterscheiden, lässt sich mit dem F-Test überprüfen [111, 125, 65].

$$F = \frac{\hat{\sigma}_{zw}^2}{\hat{\sigma}_{in}^2} = \frac{QS_{zw}}{QS_{in}} \frac{df_{zw}}{df_{in}} \quad (4.1)$$

$\hat{\sigma}_{zw}/\hat{\sigma}_{in}$  = "Varianz zwischen den Gruppen" / "Varianz innerhalb der Gruppen"

$QS_{zw}/QS_{in}$  = Quadratsumme zwischen/innerhalb den Gruppen

$df_{zw}/df_{in}$  = Freiheitsgrade zwischen/innerhalb den Gruppen

Folgende zwei Fälle kann man nun unterscheiden:

1.  $F=1$ : Die Gruppenmittelwerte unterscheiden sich nur geringfügig. Dann ist die Varianz zwischen den Gruppen allein durch unsystematische Einflüsse zu erklären.
2.  $F>1$ : Die Gruppenmittelwerte unterscheiden sich (deutlich). Dann ist die Varianz zwischen den Gruppen sowohl durch unsystematische als auch systematische Einflüsse zu erklären. [125, S. 22]

Ein Vergleich des Quotienten mit der F-Verteilung unter Festlegung eines kritischen Wertes ermöglicht eine Aussage darüber, ob die Nullhypothese abgelehnt oder beibehalten werden muss.

Häufig beeinflusst neben der unabhängigen Variablen (hier: die Art der Vorbereitung) noch weitere Einflussgrößen die abhängige Variable (hier: Punkte im Leistungstest). Aus diesem Grund werden Kovariaten in die Berechnung der Signifikanz und der Effektgrößen mit berücksichtigt. Man spricht dann von einer "Kovarianzanalyse" [6, S. 142].

Als Voraussetzung für eine Varianzanalyse gelten folgenden Kriterien [63, S. 357]:

- Die abhängige Variable muss Intervallskalenniveau haben.
- Die abhängige Variable muss normalverteilt sein.
- Es muss mindestens eine unabhängige Variable geben, die eine Einteilung in Gruppen ermöglicht.
- Die verwendeten Messwerte (hier: Punkte im Leistungstest) müssen unabhängig voneinander sein.
- Die Varianzen der Messwerte in den jeweiligen Gruppen müssen homogen sein.

Skalenniveau	Voraussetzungen	Maß der zentralen Tendenz	Beispiel
<i>nominalskaliert</i>	Die Merkmale lassen sich in gleiche oder unterschiedliche Klassen einteilen. (Gleichheit/Verschiedenheit)	Modalwert	Geschlecht
<i>ordinalskaliert</i>	Die Merkmale kann man anhand ihrer Ausprägung einstufen. (Größer-Kleiner-Relation)	Median	Zensuren
<i>intervallskaliert</i>	Die Ausprägungen zwischen den Merkmalen sind gleich groß. Ein (relativer) Nullpunkt ist festgelegt. (Gleichheit der Differenzen)	arithmetisches Mittel	Temperaturskala

Darstellung der wichtigsten Skalenniveaus (vgl. [60, 65, 124])

### 4.1.3. Ergebnisse

Soweit nicht anders angegeben, wurde für die Hypothesentests ein Alpha-Niveau von  $\alpha = 0,05$  gewählt. Zur Berechnung der Effektstärke wurde  $\omega^2$  verwendet, das wie folgt berechnet wurde [125, S. 38]:

$$f^2 = \frac{(F - 1) \cdot df}{N} \quad (4.2)$$

$$\omega^2 = \frac{f^2}{1 + f^2} \quad (4.3)$$

$f^2$  = Schätzt aus den empirischen Daten das Verhältnis von systematischer Varianz zu Residualvarianz [124, S. 73]

$df$  = Anzahl der Freiheitsgraden

$F$  = F-Wert (vgl. S. 109)

$N$  = Anzahl der untersuchten Personen

Zur Einschätzung der Effektgrößen wird auf folgende allgemein verwendete Konvention zurückgegriffen [125, S. 38]:

$\omega^2 \geq 0,01$ : kleiner Effekt;  $\omega^2 \geq 0,06$ : mittlerer Effekt;  $\omega^2 \geq 0,14$ : großer Effekt

### Zusammenstellung der Deskriptiven Daten

Zusammensetzung der Gruppen:

	Anzahl N	Weiblich	Männlich
Gruppe A	12	5	7
Gruppe B	11	5	6

Tabelle 4.2.: Zusammenstellung der Gruppen in der Vorstudie

Erreichte Punktzahl in den Konzepttests (in %):

	Konzepttests:	Mechanik (FCI)	Wärmelehre (TCI)
Gruppe A	Mittelwert	42,33	65,77
	Standardabweichung	17,94	14,31
Gruppe B	Mittelwert	40,82	66,68
	Standardabweichung	19,85	17,93

Tabelle 4.3.: Ergebnisse der Konzepttests in der Vorstudie: Mittelwerte und Standardabweichungen.

## 4. Untersuchungen

Erreichte Punktzahl in den Leistungstests (in %):

		Versuche:	M1	M2	M3	M4
Gruppe A	Mittelwert		28,33	20,67	46,67	43,25
	Standardabweichung		11,50	22,21	18,48	27,36
Gruppe B	Mittelwert		14,18	44,18	25,91	45,18
	Standardabweichung		18,51	25,05	18,22	28,54

Tabelle 4.4.: Ergebnisse der Leistungstests in der Vorstudie: Mittelwerte und Standardabweichungen. Jeweils grau unterlegt sind die Ergebnisse der Versuchsgruppe.

### Einfluss der Art der Vorbereitung (UV) auf den Lernerfolg im Leistungstest (AV)

Das Diagramm 4.1 zeigt die durchschnittlich erreichte Punktzahl im Leistungstest der Versuchsgruppe (hellblau) im Vergleich zur Kontrollgruppe (dunkelblau).

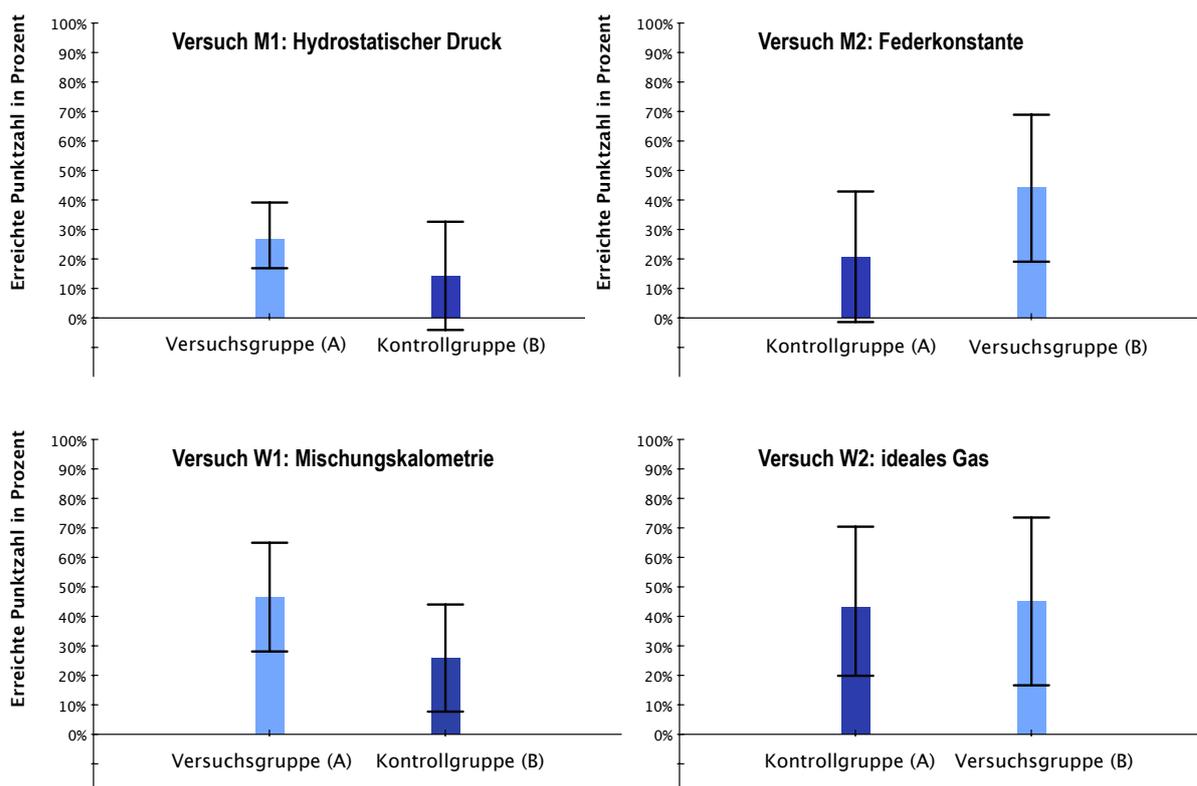


Diagramm 4.1: Darstellung der Mittelwerte der Versuchs- und Kontrollgruppen.

Deutliche Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe waren jedoch bei dieser deskriptiven Analyse beim Versuch M1, M2 und W1 erkennbar. Der Versuch W2 zeigte keine Überlegenheit der Versuchsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe.

#### 4. Untersuchungen

Die Voraussetzungen der Varianzanalyse auf Normalverteilung der abhängigen Variable waren bei allen Versuchen erfüllt. Jedoch war die Bedingung der Varianzhomogenität<sup>4</sup>, unter Berücksichtigung der beiden unabhängigen Variablen (Gender und Gruppe) nur bei den Versuchen M1, W1 und W2 erfüllt. Aus diesem Grund wurde bei dem Versuch M2 “Federkonstante” nur eine unabhängige Variable (Gruppe) berücksichtigt. Unter dieser Bedingung war die Voraussetzungen einer Varianzanalyse auch bei diesem Versuch erfüllt.

Die Tabelle 4.5 zeigt die Ergebnisse der Varianzanalyse unter Berücksichtigung der Kovariaten ( $N=23$ ).

	<b>M1: Hydrostatischer Druck</b>			<b>M2: Federkonstante</b>			<b>W1: Mischungskalometrie</b>			<b>W2: Ideales Gas</b>		
	<i>df</i>	<i>F</i>	$\omega^2$	<i>df</i>	<i>F</i>	$\omega^2$	<i>df</i>	<i>F</i>	$\omega^2$	<i>df</i>	<i>F</i>	$\omega^2$
<b>Haupteffekte</b>												
Gruppe (Art der Vorbereitung)	1	<b>6,232*</b>	<b>0,19</b>	1	<b>6,548**</b>	<b>0,19</b>	1	<b>9,916**</b>	<b>0,28</b>	1	0,29	0
Gender	1	2,270	0,05	---	---	---	1	<b>8,330**</b>	<b>0,24</b>	1	0,084	0
Gruppe x Gender	1	2,766	0,07	---	---	---	1	0,132	0	1	0,193	0
<b>Moderatoren/ Kovariablen</b>												
Konzepttest FCI	1	1,086	0	1	2,545	0,06	---	---	---	---	---	---
Konzepttest TCI	---	---	---	---	---	---	1	1,958	0,04	1	1,409	0,02

Tabelle 4.5.: Darstellung der Ergebnisse der Varianzanalyse.

Erläuterung: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , Signifikanzniveau  $\alpha = 0.05$ .

Die Ergebnisse der Varianzanalyse zu den einzelnen Versuchen zeigten bei drei von vier Versuchen einen signifikanten Zusammenhang in Bezug auf die Art der Vorbereitung (M1:  $p = 0.011$  mit  $\omega^2 = 0.19$ ; M2:  $p = 0.009$  mit  $\omega^2 = 0.20$ ; W1:  $p = 0.003$  mit  $\omega^2 = 0.28$ ). Die Effektstärken  $\omega^2$  wiesen zudem bei diesen Versuchen auf einen großen Effekt hin. Demnach kann ein großer Teil der Gesamtvarianz zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe durch die Art der Vorbereitung aufgeklärt werden. Der Versuch W2 fällt aus dem Rahmen. Bei diesem Versuch war der Unterschied zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe nicht signifikant.

<sup>4</sup>Überprüft mit dem Levene-Test

#### 4. Untersuchungen

Die Ergebnisse der Varianzanalyse lassen sich durch den nicht parametrischen “Mann-Whitney U-Test” (Tabelle 4.6) bestätigen: Drei von vier Versuchen zeigten ein signifikantes Ergebnis. Die Berechnung der Effektstärke ist mit nicht parametrischen Tests nicht möglich. Dennoch kann man durch einen Vergleich der mittleren Ränge der VG und KG einen deutlichen Effekt durch die Art der Bearbeitung vermuten.

		Anzahl N	Mittlerer Rang	Rangsumme	z	Signifikanz p
<b>M1</b>	Kontrollgruppe	11	8,09	89,00	-2,675	p < 0,01
	Versuchsgruppe	12	15,58	187,00		
<b>M2</b>	Kontrollgruppe	12	8,88	106,50	-2,329	p < 0,01
	Versuchsgruppe	11	15,41	169,50		
<b>W1</b>	Kontrollgruppe	11	8,77	96,50	-2,190	p < 0,05
	Versuchsgruppe	12	14,96	179,50		
<b>W2</b>	Kontrollgruppe	12	11,63	136,50	-0,279	p > 0,05
	Versuchsgruppe	11	12,41	139,50		

Tabelle 4.6.: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Test.

Erläuterung: M1: Hydrostatischer Druck, M2: Federkonstante, M3: Mischungskalometrie, M4: Ideales Gas, Signifikanzniveau  $\alpha = 0.05$ .

#### **Einfluss des Geschlechts (UV) auf den Lernerfolg im Leistungstest (AV)**

Nur in einem einzigen Versuch (W1) zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Geschlecht der Studierenden und der abhängigen Variable (vgl. Tabelle 4.5). Dies wird jedoch relativiert durch die Ergebnisse der anderen beiden Versuche (M1 & W2), die kein signifikantes Ergebnis zeigten.

#### **Einfluss beider Hauptfaktoren “Gruppe x Gender” (UV) auf den Lernerfolg im Leistungstest (AV)**

Die Wechselwirkung der beiden Hauptfaktoren Gruppe und Gender “*Gruppe x Gender*” zeigte bei keinem der Versuche einen Einfluss auf die abhängige Variable.

### **Einfluss der Moderatorvariablen (MV) auf den Lernerfolg im Leistungstest (AV)**

Die Ergebnisse der Konzepttest sollten einen Hinweis auf das themenbezogene Vorwissen der Studierenden hinsichtlich der Inhalte der Versuche geben. Aus diesem Grund wurde der Konzepttest FCI bei den Mechanikversuchen berücksichtigt, der Konzepttest TCI bei den Versuchen zur Wärmelehre. Es zeigte sich jedoch kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Konzepttests und der abhängigen Variablen.

### **Diskussion der Ergebnisse**

Trotz der geringen Anzahl der Studierenden konnte in drei von vier Versuchen eine deutliche Überlegenheit der Versuchsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe nachgewiesen werden. Dies konnte sowohl durch die Varianzanalyse als auch durch den Mann-Whitney U-Test bestätigt werden. Beim Versuch W2 zeigte sich keine Über- aber auch keine Unterlegenheit der Versuchs- gegenüber der Kontrollgruppe. Es erscheint naheliegend, dass eine Klausur zur Wärmelehre, die kurz vor dem Experimentalpraktikum geschrieben wurde, das Ergebnis beeinflusst hat. So war die "Gleichung des idealen Gases" Gegenstand der Klausur und wurde deshalb von allen Studierenden kurz zuvor wiederholt. Die ILIAS-Aufgaben zum Versuch W2 konnten somit kein zusätzliches Wissen aktivieren, da dieses relevante Wissen bereits kurz zuvor aktiviert wurde. Für diese These spricht, dass die anderen drei Versuche einen sehr großen Effekt zeigten.

Eine Bestätigung der eingangs formulierten These – dass Studierende, die neben den Versuchsunterlagen zusätzliche elektronische Aufgaben bearbeiten, besser vorbereitet sind als Studierende, die nur die Versuchsunterlagen bearbeiten – scheint demnach plausibel. Dieses Ergebnis steht auch im Einklang mit vorherigen Untersuchungen, bei denen der Einfluss von textbegleitenden Aufgaben auf den Lernerfolg untersucht wurde [45]. Der positive Effekt von textbegleitenden Aufgaben lässt sich nach den bisherigen Ergebnissen auch auf die speziellen Anforderungen des Einsatzes in den experimentellen Übungen übertragen.

Die Ergebnisse der Untersuchung legen nahe, dass der zweite Hauptfaktor "Gender" keinen Effekt auf die abhängige Variable hat. Zwar zeigt ein Versuch ein signifikantes Ergebnis, dies kann jedoch durch die geringe Stichprobe verfälscht sein, sodass man diesen Effekt nicht überbewerten sollte. Hierfür spricht, dass die anderen drei Versuche keinen signifikanten Unterschied der Versuchs- gegenüber der Kontrollgruppe zeigten. Abschließende Klärung könnte nur eine Untersuchung mit einer deutlich größeren Anzahl von Versuchspersonen bringen.

Auch ein Effekt durch eine Wechselwirkung beider Hauptfaktoren – die zum Beispiel in der Überlegung zum Ausdruck kommt, dass die männlichen oder die weiblichen Studie-

#### 4. Untersuchungen

rende sich mit elektronischen textbegleitenden Aufgaben besser vorbereiten können und deshalb bessere Leistungen im Test zeigen – scheint nach den bisherigen Erkenntnissen nicht zutreffend zu sein. Es ist daher anzunehmen, dass das Treatment unabhängig vom Geschlecht wirkt.

Die verwendeten Moderatoren zeigten keinen Einfluss auf das Ergebnis im Leistungstest. Dies deutet darauf hin, dass die Reliabilitäten der Tests nicht ausreichend sind. Die Tests erfassen somit nicht hinreichend das konzeptionelle Wissen der Studierenden. Das kann wiederum daran liegen, dass der Konzepttest zur Mechanik sich überwiegend mit Fragen zum Kraftverständnis beschäftigt, die beiden Versuche M1 & M2 dies jedoch nur am Rande beinhalteten. Beim Konzepttest zur Wärmelehre und den entsprechenden Versuchen W1 & W2 finden sich ebenfalls nur wenige inhaltliche Übereinstimmungen. Sicherlich wäre es sinnvoller gewesen, thematisch mit den Versuchen stärker übereinstimmende Konzepttests einzusetzen, jedoch gibt es hierzu bislang keine. Aus diesem Grund wurde auf vorhandene Tests zurückgegriffen.

In einer folgenden Untersuchung soll die Anzahl der Versuche von vier auf zwanzig erhöht werden. Diese Erweiterung soll Aufschluss darüber geben, ob dieser Effekt auf verschiedene Themengebiete der Physik reproduzierbar ist. Darüber hinaus sollen weitere Moderatoren (z. B. die Bearbeitungszeit) berücksichtigt werden sowie untersucht werden, inwiefern sich dieser Effekt auch nach der Durchführung der Versuche nachweisen lässt.

## 4.2. Die Effektivität elektronisch gestellter Aufgaben zur Vorbereitung auf experimentelle Übungen (Hauptstudie)

Aufbauend auf der bereits beschriebenen Studie<sup>5</sup> und deren Ergebnisse<sup>6</sup> sollten nun in einer erweiterten Untersuchung (Hauptstudie) mehr Versuche zu unterschiedlichen Themengebieten berücksichtigt werden. Das methodische Vorgehen (vgl. Kapitel 4.1.2) unterschied sich im Vergleich zur ersten Studie kaum, sodass in den folgenden Erläuterungen in der Hauptsache die Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungen herausgestellt werden.

### 4.2.1. Hypothese

Wie in der Vorstudie sollte auch in der Hauptstudie die Hypothese geprüft werden, ob durch die Bearbeitung der ILIAS-Aufgaben die Qualität der Vorbereitung positiv beeinflusst wird. Die Ergebnisse der ersten Studie ließen erwarten, dass sich dieser Effekt unabhängig vom physikalischen Themengebiet reproduzieren lässt. Zudem wäre es denkbar, dass durch eine breit gefächerte Bearbeitung von ILIAS-Aufgaben auch das allgemeine Physikverständnis beeinflusst wird.

Im Unterschied zur ersten Untersuchung sollte in dieser Studie die Rolle des zeitlichen Umfangs der Vorbereitung näher diskutiert werden: Es war zu erwarten, dass die Studierenden, die zusätzlich ILIAS-Aufgaben bearbeiten, im Vergleich zu den anderen Studierenden, eine längere Vorbereitungszeit ableisten. Diesbezüglich ist bekannt, dass die gesamte Vorbereitungszeit (inkl. Vor- und Nachbereitung) positiv mit der Leistungsentwicklung zusammenhängt [156]. Zum einen sollte deshalb untersucht werden, wie viel größer der zeitliche Mehr-Aufwand durch die ILIAS-Aufgaben ist und zum anderen, inwiefern man den auftretenden Effekt auf eine längere Vorbereitungszeit zurückführen kann.

Zusammenfassend sollten folgende Thesen untersucht werden:

- *Studierende, die neben den Versuchsunterlagen verbindlich dazu aufgefordert werden, textbegleitende Aufgaben zu bearbeiten, sind unabhängig vom Themenbereich besser vorbereitet als Studierende, die nur die Versuchsunterlagen erhalten.*
- *Die textbegleitenden Aufgaben haben einen positiven Einfluss auf das allgemeine Physikverständnis.*
- *Die Studierenden mit ILIAS-Aufgaben bereiten sich länger vor als die Studierenden*

---

<sup>5</sup>Beschreibung ab S. 87.

<sup>6</sup>Beschreibung ab S. 95.

## 4. Untersuchungen

*ohne elektronische Aufgaben. Bessere Leistungen können zum (großen) Teil auf diese veränderte "Time on task" zurückgeführt werden.*

### 4.2.2. Methode

#### Rahmenbedingungen

Die Untersuchung fand im Sommersemester 2011 (Ende Juli bis Anfang August) statt. Die beiden Grundpraktika umfassten die Themengebiete Mechanik & Wärmelehre sowie Elektrodynamik & Optik. Die Veranstaltungen waren als einwöchige Blockveranstaltungen organisiert, mit täglich stattfindenden Experimenten.

#### Entwicklung der Materialien

Die ILIAS-Aufgaben wurden, wie bei der ersten Studie, auf Grundlage der Versuchsunterlagen zu den einzelnen Versuchen und dem "Handbuch zur Entwicklung von elektronischen Aufgaben" (Anhang D, S. 200 ff.) entwickelt. Dabei wurde darauf geachtet, dass nur die Inhalte durch Aufgaben abgedeckt wurden, die auch in den Versuchsunterlagen beschrieben wurden. Auf diese Weise konnte vermieden werden, dass sich ein positiver Effekt der Versuchsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe auf das Hinzufügen weiterer Informationen zurückführen lässt. Der Leistungstest beinhaltete Aufgaben mit offenem Antwortformat. Die Aufgaben bezogen sich auf Inhalte der Versuchsunterlagen, die jeder Studierende zur Verfügung hatte. Um die Objektivität der Auswertung zu gewährleisten, wurde bereits vor der Durchführung der Studie eine Musterlösung mit den entsprechenden Punkten zu den einzelnen Aufgaben angefertigt. Bei der Auswertung der Leistungstest wurde diese Musterlösung streng befolgt. Der Test zum allgemeinen Physikverständnis wurde von Mitarbeitern der Universität Landau bereitgestellt. Der Test bestand aus verschiedenen Aufgaben zu den entsprechenden Themengebieten. In diesen Aufgaben wurde kein Wissen getestet, das unmittelbar aus den Versuchen erworben werden konnte. Stattdessen wurden Aufgaben verwendet, deren Bearbeitung ein stärker vernetztes Denken voraussetzt<sup>7</sup>. Zudem wurden verschiedene Konzepttests eingesetzt, die das konzeptionelle Verständnis im Bereich Mechanik [53], Wärmelehre [161], Elektrodynamik<sup>8</sup> [122] und Optik [138] erfassten. Die Studierenden im Grundpraktikum 1 mussten die Konzepttests zur Mechanik und Wärmelehre bearbeiten, die Studierenden im Grundpraktikum 2 zur Optik und Elektrodynamik.

---

<sup>7</sup>Beispielaufgaben: Anhang E.7, S. 226

<sup>8</sup>Der Konzepttest zur Elektrodynamik wurde aus verschiedenen Quellen zusammengesetzt [33][55][56].

Die deutsche Übersetzung stammt zum Teil von H. Schecker und zum Teil von T. Poth.

## Untersuchungsdesign

Im Gegensatz zur ersten Studie wurden die ILIAS-Tests nun in zwei physikalischen Praktika eingesetzt: Grundpraktikum 1 (GP1) und Grundpraktikum 2 (GP2), die jeweils zwei physikalische Themengebiete behandelten. Die Einteilung in die Gruppe A und B erfolgte auf Grundlage des personenbezogenen Fragebogens (Anhang E.2). Eine Gruppe diente in einem Themengebiet als Versuchsgruppe und in dem entsprechend anderen Themengebiet als Kontrollgruppe:

Grundpraktikum	Versuchsgruppe	Kontrollgruppe
GP1: Gruppe A	Wärmelehre-Versuche	Mechanik-Versuche
GP1: Gruppe B	Mechanik-Versuche	Wärmelehre-Versuche
GP2: Gruppe A	Elektrodynamik-Versuche	Optik-Versuche
GP2: Gruppe B	Optik-Versuche	Elektrodynamik-Versuche

Tabelle 4.7.: Hauptstudie: Einteilung der Gruppen.

Sowohl direkt nach der Vorbereitung als auch nach dem Praktikum mussten die Studierenden verschiedene Leistungstests zu den einzelnen Themengebieten der Versuche bearbeiten. Diese Leistungstests wurden zuvor nicht angekündigt. Zu beiden Zeitpunkten handelte es sich um die gleichen Leistungstests. Auf diese Weise konnte der Lernzuwachs während der Versuchsdurchführung direkt ermittelt werden.

Das Design der Studie ist in einer Abbildung 4.3 dargestellt.

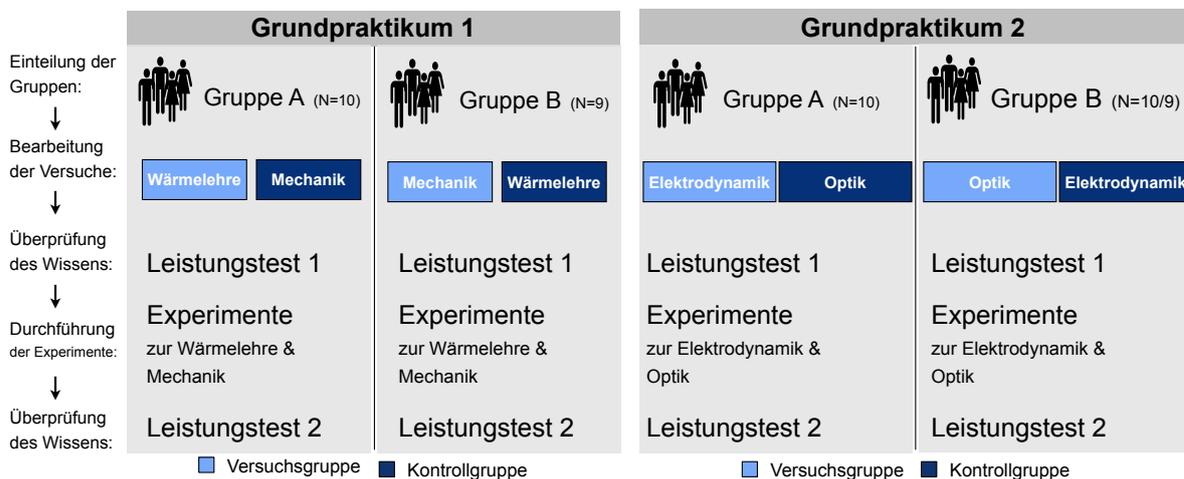


Abbildung 4.3.: Darstellung des Untersuchungsdesigns in der Hauptstudie.

### Variablen der Untersuchung

Die Tabelle 4.8 zeigt die in der Untersuchung berücksichtigten Variablen.

	Variable	Erläuterung
AV	Leistung in (%)	Leistungstest nach der Vorbereitung mit/ ohne ILIAS
UV	Art der Vorbereitung	mit ILIAS-Aufgaben/ohne ILIAS-Aufgaben
MV	Themenspezifisches Vorwissen	Erfasst durch Konzepttests (Mechanik, Wärmelehre, Elektrodynamik, Optik)
	Bearbeitungszeit	Erfasst durch einen Fragebogen an die Studierenden

Tabelle 4.8.: Variablen der Hauptstudie. Erläuterung: AV: Abhängige Variable, UV: Unabhängige Variable, MV: Moderatorvariable (Kontrollvariablen)

### Stichprobe

An der Untersuchung haben insgesamt 39 Lehramtsstudierenden teilgenommen, die das Fach "Physik" (Bachelor of Education) studierten. Die Stichprobe zeichnete sich durch folgende Merkmale aus:

Aufteilung nach Geschlecht: GP1: 9 Studentinnen (47%) und 10 Studenten (53 %).  
GP2: 9 Studentinnen (45%) und 11 Studenten (55%)<sup>9</sup>.

Einschätzung über das Vorwissen der Teilnehmer: In Grundpraktikum 1 sind die meisten Studierenden im ersten oder zweiten Fachsemester (84%). Aufgrund der geringen Fachsemesteranzahl ist davon auszugehen, dass das themenspezifische Wissen als gering einzuschätzen ist. Anders ist es bei den Studierenden des Grundpraktikums 2. Diese Studierenden sind überwiegend im 3. bis 5. Fachsemester (90%) und haben fast alle bereits Prüfungen in Mechanik, Optik, Wärmelehre und Elektrodynamik abgelegt. Es ist deshalb anzunehmen, dass die Studierenden aus GP2 ein größeres themenspezifisches Vorwissen mitbringen.

In ihrer Abiturnote unterscheiden sich die beiden Gruppen nicht, beide erreichen eine durchschnittliche Abiturnote<sup>10</sup> von 2,8 und liegen damit etwas unterhalb des Bundesdurchschnitts gemessen am Jahr 2005 [145].

<sup>9</sup>Beim zweiten Leistungstest fehlt ein Datensatz: 8 Studentinnen (42%) und 11 Studenten (58%).

<sup>10</sup>36 Studierende haben hierzu Angaben gemacht.

### **Datenerhebung/ Organisation**

Die Studierenden wurden im Vorfeld über den Ablauf und die Bearbeitung der ILIAS-Aufgaben informiert (vgl. S. 92).

Während der Vorbereitung auf die einzelnen Versuche sollten die Studierenden die Zeit notieren, die sie für jeden Versuche benötigt haben. Dieser Fragebogen sollte anschließend abgegeben werden, damit er bei der Untersuchung berücksichtigt werden konnte. Vor der Durchführung und unmittelbar nach der Durchführung der Versuche wurden die Studierenden aufgefordert, die 10 verschiedenen Leistungstests zu den Versuchen sowie den Test zum allgemeinen Physikverständnis zu bearbeiten.

Die beiden Konzepttests (Mechanik & Wärmelehre oder Elektrodynamik & Optik) wurden nur einmal vor der Versuchsdurchführung von den Studierenden ausgefüllt.

### **Auswertungsverfahren**

Die Berechnungen der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 19. Zur Auswertung der Daten wurde das Verfahren der einfaktoriellen Varianzanalyse beziehungsweise der Kovarianzanalyse verwendet, sofern die Voraussetzungen (vgl. S. 93) hierfür erfüllt waren. Zur Absicherung der Ergebnisse wurde zusätzlich ein nicht-parametrischer Test, der "Mann-Whitney U-Test" (vgl. S. 82), verwendet.

In der ersten Studie wurden die verschiedenen Versuche (M1, M2, W1, W2) einzeln ausgewertet und auf signifikante Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe überprüft. Hierbei zeigte sich, dass der Effekt durch die ILIAS-Aufgaben bei den einzelnen Versuchen unterschiedlich ausfiel (vgl. Kapitel 4.1.3). Zurückgeführt wurde dies auf die Vorerfahrungen der Studierenden (z. B. durch die Teilnahme an entsprechenden Vorlesungen) und auf den unterschiedlichen thematischen Umfang der einzelnen Versuche, wodurch natürlich auch der Schwierigkeitsgrad variierte.

Damit die Streuung minimiert wird und ein Eindruck über den durchschnittlichen Effekt der ILIAS-Aufgaben gewonnen werden kann, wurden die Versuche nicht mehr einzeln ausgewertet. Stattdessen wurden die 5 Versuche zu einem Themengebiet gemeinsam ausgewertet, indem der Mittelwert aus den 5 Leistungstests gebildet wurde. Durch die Mittelung aus mehreren Leistungstests erhöht sich die Aussagekraft der Ergebnisse im Gegensatz zur Betrachtung einzelner Leistungstests.

### 4.2.3. Ergebnisse

#### Zusammenstellung der Deskriptiven Daten

Zusammensetzung der Gruppen:

	Anzahl N	Weiblich	Männlich
GP1: Gruppe A	10	5	5
GP1: Gruppe B	9	4	5
GP2: Gruppe A	10	5	5
GP2: Gruppe B	10*	4	6

Tabelle 4.9.: Zusammenstellung der Gruppen in der Hauptstudie.

\* Im 2. Leistungstest: 9 Datensätze (4 weiblich, 5 männlich).

Erreichte Punktzahl in den Konzepttests (in %):

		Konzepttests:	Mechanik	Wärmelehre	Elektrodynamik	Optik
<b>GP1</b>						
Gruppe A	Mittelwert		46,90	72,22		
	Standardabweichung		16,91	14,94		
Gruppe B	Mittelwert		50,96	81,07		
	Standardabweichung		18,87	16,40		
<b>GP2</b>						
Gruppe A	Mittelwert				45,16	57,14
	Standardabweichung				16,93	14,93
Gruppe B	Mittelwert				32,58	66,67
	Standardabweichung				11,72	18,34

Tabelle 4.10.: Ergebnisse der Konzepttests in der Hauptstudie: Mittelwerte und Standardabweichungen.

#### 4. Untersuchungen

Grundpraktikum 1: Erreichte Punktzahl in den Leistungstests (in %):

(1. Test unmittelbar nach der Vorbereitung; 2. Test unmittelbar nach dem Praktikum)

	Themenbereiche:	Mechanik	Mechanik	Wärmelehre	Wärmelehre
		1. Test	2. Test	1. Test	2. Test
Gruppe A	Mittelwert	36,05	53,50	67,60	77,38
	Standardabweichung	21,80	14,80	22,48	17,00
Gruppe B	Mittelwert	57,66	71,70	37,75	58,18
	Standardabweichung	22,37	13,29	22,17	16,69

Tabelle 4.11.: Ergebnisse der Leistungstests in der Hauptstudie (GP1): Mittelwerte und Standardabweichungen. Jeweils grau unterlegt sind die Ergebnisse der Versuchsgruppe.

Grundpraktikum 2: Erreichte Punktzahl in den Leistungstests (in %):

(1. Test unmittelbar nach der Vorbereitung; 2. Test unmittelbar nach dem Praktikum)

	Themenbereiche:	Elektrodynamik	Elektrodynamik	Optik	Optik
		1. Test	2. Test	1. Test	2. Test
Gruppe A	Mittelwert	78,58	78,22	56,92	73,59
	Standardabweichung	7,27	9,07	17,95	11,88
Gruppe B	Mittelwert	28,57	59,12	67,48	80,25
	Standardabweichung	25,86	18,40	24,37	15,14

Tabelle 4.12.: Ergebnisse der Leistungstests in der Hauptstudie (GP2): Mittelwerte und Standardabweichungen. Jeweils grau unterlegt sind die Ergebnisse der Versuchsgruppe.

#### **Einfluss der Art der Vorbereitung (UV) auf den Lernerfolg im Leistungstest (AV) – unmittelbar nach der Vorbereitung (mit bzw. ohne ILIAS) –**

Die Ergebnisse im Diagramm 4.2 basieren auf dem Mittelwert der erreichten Punktzahl im Leistungstest von jeweils fünf Versuchen. Die deskriptive Darstellung zeigt eine deutliche Überlegenheit der Versuchs- gegenüber der Kontrollgruppe in drei von vier Themenbereichen.

## 4. Untersuchungen

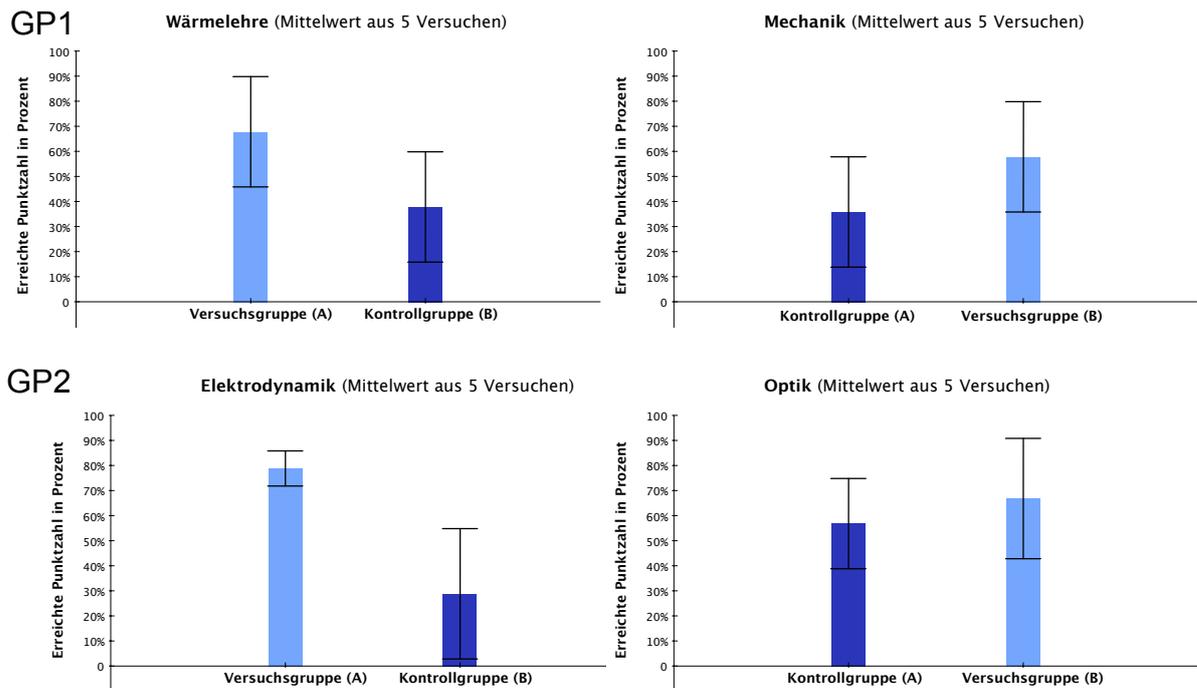


Diagramm 4.2: Ergebnisse aus dem Leistungstest – unmittelbar nach der Vorbereitung. In Klammern ist die Gruppe (A / B) der Studierenden angegeben.

Um die statistische Signifikanz der Daten zu berechnen, wurden die Voraussetzungen für eine Varianzanalyse geprüft<sup>11</sup>. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 4.13 zusammengefasst. Sofern die Bedingungen der Normalverteilung und der Varianzhomogenität erfüllt waren, wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Diese Voraussetzungen konnten für die Themenbereiche Mechanik, Wärmelehre und Optik bestätigt werden. Zusätzlich wurden alle Daten aus allen Themenbereichen mit einem nicht-parametrischen Test, den “Mann-Whitney U-Test”, ausgewertet.

	Wärmelehre		Mechanik		Elektrodynamik		Optik	
	Gruppe A (VG)	Gruppe B (KG)	Gruppe A (KG)	Gruppe B (VG)	Gruppe A (VG)	Gruppe B (KG)	Gruppe A (KG)	Gruppe B (VG)
<b>Normalverteilung</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Varianzhomogenität</b>	✓		✓		✗		✓	

Tabelle 4.13.: Darstellung über die verwendeten Testverfahren zur Auswertung der Daten, die unmittelbar nach der Vorbereitung erhoben wurden.

Erläuterung: ✓: Bedingung erfüllt, ✗: Bedingung nicht erfüllt, VG: Versuchsgruppe, KG: Kontrollgruppe

<sup>11</sup>Detaillierte Statistiken: Test auf Normalverteilung auf S. 228 / Test auf Varianzhomogenität auf S. 229.

#### 4. Untersuchungen

Die **Varianzanalyse** (Tabelle 4.14) bestätigte einen signifikanten Unterschied zwischen der Versuch- und der Kontrollgruppe für den Themenbereich der Mechanik und der Wärmelehre (Mechanik:  $p = 0,023$ , Wärmelehre:  $p = 0,004$ ). Dabei zeigte die Art der Vorbereitung in beiden Fällen einen großen Effekt<sup>12</sup> auf die Leistungen im Test unmittelbar vor der Versuchsdurchführung (Mechanik:  $\omega^2 = 0,164$ , Wärmelehre:  $\omega^2 = 0,331$ ). Im Themenbereich Optik war zwar die Versuchsgruppe der Kontrollgruppe überlegen, der Unterschied war jedoch nicht signifikant, und die berechnete Effektgröße war sehr gering<sup>13</sup>. Zur Abschätzung des Effektes textbegleitender Aufgaben im Themenbereich "Elektrodynamik" wurde auch hier mittels eines ANCOVA die Effektgröße bestimmt<sup>14</sup>. Auch in diesem Themenbereich zeigte sich ein sehr großer Effekt ( $F = 27,309$ ;  $\omega^2 = 0,568$ ).

	Wärmelehre			Mechanik			Optik		
	df	F	$\omega^2$	df	F	$\omega^2$	df	F	$\omega^2$
<b>Haupteffekte</b>									
Gruppe (Art der Vorbereitung)	1	<b>9,587**</b>	<b>0,311</b>	1	<b>4,739*</b>	<b>0,164</b>	1	0,678	---
<b>Moderatoren/ Kovariablen</b>									
Konzepttest Wärmelehre	1	1,106	---	---	---	---	---	---	---
Konzepttest Mechanik	---	---	---	1	<b>8,029*</b>	<b>0,270</b>	---	---	---
Konzepttest Optik	---	---	---	---	---	---	1	0,590	---

Tabelle 4.14.: Ergebnisse der Varianzanalyse – nach der Vorbereitung.

Erläuterung: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , Signifikanzniveau  $\alpha = 0.05$ .

#### Teststärke: Beobachtete Schärfe [15, 125]

Die Teststärke beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Signifikanztest zugunsten der Alternativhypothese entscheidet. Zugunsten der Alternativhypothese bedeutet hier: Es gibt einen statistisch bedeutsamen Unterschied zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe. Die Teststärke oder "Power" ist abhängig vom Signifikanzniveau, der Größe des Effekts und des Stichprobenumfangs [15, S. 602 f.]:

- Je größer das Signifikanzniveau, desto größer ist die Teststärke;
- Je größer der Effekt, desto größer ist die Teststärke;
- Je größer der Stichprobenumfang, desto größer ist die Teststärke.

Das Programm SPSS berechnet die „beobachtete Schärfe“. Die "beobachtete Schärfe" gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der man den vorhandenen empirischen Effekt von  $\eta^2 = 0,038$  mit der gegebenen Versuchspersonenzahl ( $N=19$ ) signifikant nachweisen kann [125]. Da der Effekt sehr klein und der Stichprobenumfang gering ist, ist auch die Wahrscheinlichkeit (12,2%) gering, diesen Effekt nachzuweisen. Mit anderen Worten ist die Wahrscheinlichkeit, dass man irrtümlich die Alternativhypothese ablehnt und behauptet, es gibt zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe keinen Unterschied, sehr hoch (87,8% =  $\beta$ -Fehler). Aufgrund der vorliegenden Daten kann demnach in Bezug auf die Optik-Versuche die Nullhypothese weder belegt noch widerlegt werden.

<sup>12</sup>großer Effekt:  $\omega^2 \geq 0,14$  (vgl. S. 95)

<sup>13</sup>Optik:  $\eta^2 = 0,038$ , bei einer "beobachteten Schärfe" von 0,122

<sup>14</sup>Der signifikante Unterschied zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe wurde mit dem U-Test belegt.

#### 4. Untersuchungen

Der **“Mann-Whitney U-Test”** bestätigte die signifikanten Ergebnisse der Versuche zur Mechanik und Wärmelehre. Die Elektrodynamik-Versuche zeigten ebenfalls einen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe mit ILIAS-Test und ohne ILIAS-Test. Dieses Ergebnis verwundert nicht, denn bereits bei der deskriptiven Auswertung in der Abbildung 4.2 wurde die deutliche Überlegenheit der Versuchsgruppe sichtbar. Bei den Versuchen zur Optik konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

		Anzahl <i>N</i>	Mittlerer Rang	Rangsumme	<i>z</i>	Signifikanz <i>p</i>
<b>Wärmelehre</b>	Kontrollgruppe	9	6,44	58,00	-2,613	<i>p</i> < 0,01
	Versuchsgruppe	10	13,20	132,00		
<b>Mechanik</b>	Kontrollgruppe	9	13,11	118,00	-2,286	<i>p</i> < 0,05
	Versuchsgruppe	10	7,20	72,00		
<b>Elektrik</b>	Kontrollgruppe	10	6,00	60,00	-3,402	<i>p</i> < 0,01
	Versuchsgruppe	10	15,00	150,00		
<b>Optik</b>	Kontrollgruppe	10	9,40	94,00	-0,831	<i>p</i> > 0,05
	Versuchsgruppe	10	11,60	116,00		

Tabelle 4.15.: Hauptstudie: Ergebnisse des “Mann-Whitney U-Test” – nach der Vorbereitung

#### **Einfluss der Art der Vorbereitung (UV) auf den Lernerfolg im Leistungstest (AV) – unmittelbar nach der Durchführung der Experimente –**

Auch im Anschluss nach der Durchführung der Experimente zeigten sich die Gruppen, die in der Vorbereitung ILIAS-Aufgaben bearbeitet hatten, der Kontrollgruppe überlegen. Die Diagramm 4.3 zeigt die Ergebnisse der Studierenden im Leistungstest.

## 4. Untersuchungen

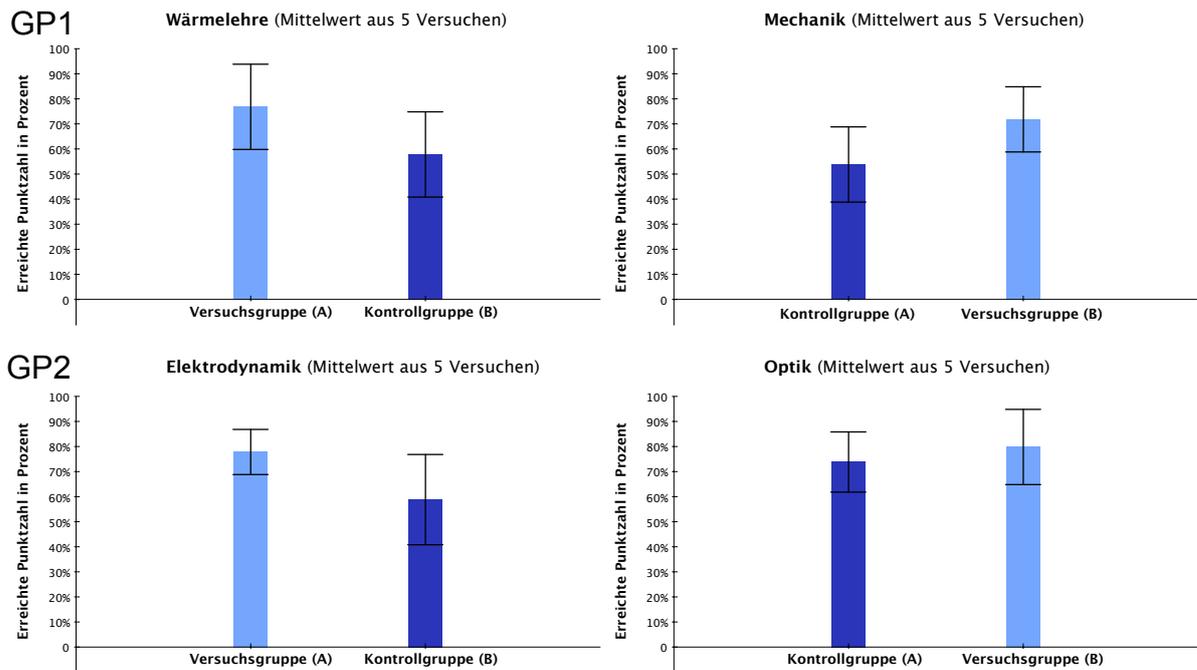


Diagramm 4.3: Hauptstudie: Ergebnisse aus dem Leistungstest – unmittelbar nach der Durchführung der Experimente.

Zur Überprüfung der Signifikanz der Unterschiede zwischen den beiden Gruppen wurden die Daten auf Normalverteilung und Varianzhomogenität überprüft<sup>15</sup>. Da die Streuungen der Daten sich im Vergleich zum ersten Leistungstest reduzierten, wurde die Bedingung der Varianzhomogenität für alle Versuche erfüllt. Die Tabelle 4.16 zeigt eine Übersicht der Ergebnisse. Zusätzlich wurde für alle Versuche ein nicht-parametrischer Test durchgeführt.

	Wärmelehre		Mechanik		Elektrik		Optik	
	Gruppe A (VG)	Gruppe B (KG)	Gruppe A (KG)	Gruppe B (VG)	Gruppe A (VG)	Gruppe B (KG)	Gruppe A (KG)	Gruppe B (VG)
<b>Normalverteilung</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Varianzhomogenität</b>	✓		✓		✓		✓	

Tabelle 4.16.: Überprüfung der Voraussetzungen für eine Varianzanalyse.

Erläuterung: ✓: Bedingung erfüllt, ✗: Bedingung nicht erfüllt, VG: Versuchsgruppe, KG: Kontrollgruppe

Die Ergebnisse der **Varianzanalyse** (Tabelle 4.17) zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe bei 3 von 4 Themengebieten (Wärmelehre:  $p = 0,009$ , Mechanik:  $p = 0,008$ , Elektrodynamik:  $p = 0,004$ ). Der Effekt durch die Art der Vorbereitung ist vergleichbar mit der Effektgröße bei der ersten Messung, unmittelbar

<sup>15</sup>Detaillierte Statistiken: Test auf Normalverteilung auf S. 228 / Test auf Varianzhomogenität auf S. 229.

#### 4. Untersuchungen

nach der Vorbereitung (Wärmelehre:  $\omega^2 = 0,245$ , Mechanik:  $\omega^2 = 0,251$ , Elektrodynamik:  $\omega^2 = 0,301$ ). Einzig die Versuche zur Optik zeigten keinen signifikanten Unterschied<sup>16</sup>. Da die Versuche zur Optik bereits vor der Durchführung der Experimente keinen Effekt zeigten, war dies auch im Anschluss nicht zu erwarten.

	Wärmelehre			Mechanik			Elektrodynamik			Optik		
	df	F	$\omega^2$	df	F	$\omega^2$	df	F	$\omega^2$	df	F	$\omega^2$
<b>Haupteffekte</b>												
Gruppe (Art der Vorbereitung)	1	7,153**	0,245	1	7,355**	0,251	1	9,186**	0,301	1	0,879	---
<b>Moderatoren/ Kovariablen</b>												
Konzepttest Wärmelehre	1	1,061	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Konzepttest Mechanik	---	---	---	1	2,339	---	---	---	---	---	---	---
Konzepttest Elektrik	---	---	---	---	---	---	1	0,851	---	---	---	---
Konzepttest Optik	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,026	---

Tabelle 4.17.: Ergebnisse der Varianzanalyse – nach Durchführung der Experimente.

Erläuterung: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , Signifikanzniveau  $\alpha = 0.05$ .

Bestätigt wurden die Ergebnisse der Varianzanalyse durch den “**Mann-Whitney U-Test**”. Die Ergebnisse wurden in der Tabelle 4.18 zusammengefasst. In drei von vier Versuchen zeigte sich auch hier ein hoch signifikanter Unterschied zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe.

<sup>16</sup> $\eta^2 = 0,052$ , bei einer “beobachteten Schärfe” von 0,143)

#### 4. Untersuchungen

		Anzahl <i>N</i>	Mittlerer Rang	Rangsumme	<i>z</i>	Signifikanz <i>p</i>
Wärmelehre	Kontrollgruppe	9	6,67	60,00	-2,449	$p < 0,01$
	Versuchsgruppe	10	13,00	130,00		
Mechanik	Kontrollgruppe	9	13,56	122,00	-2,613	$p < 0,01$
	Versuchsgruppe	10	6,80	68,00		
Elektrik	Kontrollgruppe	10	13,20	132,00	-2,613	$p < 0,01$
	Versuchsgruppe	9	6,44	58,00		
Optik	Kontrollgruppe	9	11,44	103,00	-1,061	$p > 0,05$
	Versuchsgruppe	10	8,70	87,00		

Tabelle 4.18.: Hauptstudie: Ergebnisse des “Mann-Whitney U-Test” – nach Durchführung der Experimente

#### **Einfluss Bearbeitungszeit auf den Lernerfolg im Leistungstest**

Die Angaben der Bearbeitungszeit zu den einzelnen Versuchen waren freiwillig. Da nur 28 von 39 Studierenden die Daten abgegeben hatten, konnte diese Variable nicht als Kovariable aufgenommen werden, da sich sonst die ohnehin geringe Anzahl der teilnehmenden Studierenden zu sehr reduziert hätte.

Anhand der 28 Angaben konnte man jedoch berechnen, wie viel länger die Vorbereitungszeit mit ILIAS-Aufgaben in Anspruch genommen hat. Durchschnittlich haben die Studierenden der Kontrollgruppe für jeden Versuch eine Vorbereitungszeit von 40 Minuten angegeben. Die zusätzliche Bearbeitung der ILIAS-Aufgaben verlängerte die gesamte Vorbereitungszeit bei jedem Studierenden pro Versuch um durchschnittlich 10 Minuten ( $\triangleright$  gesamte Vorbereitungszeit: 50 Minuten).

#### **Einfluss der Art der Vorbereitung auf das allgemeine Physikwissen**

Es konnte in keinem Test, der das allgemeine themenspezifische Wissen testete, ein signifikanter Unterschied zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe nachgewiesen werden. Dies gilt sowohl für den Zeitpunkt vor der Versuchsdurchführung als auch nach der Versuchsdurchführung.

### Diskussion der Ergebnisse

Mit diesen Studien, der Vorstudie und der Hauptstudie, sollte in der Hauptsache untersucht werden, ob elektronische textbegleitende Aufgaben die Vorbereitung auf experimentelle Übungen positiv unterstützen können. Hierzu wurden die Studierenden in eine Versuchsgruppe (mit ILIAS-Aufgaben) und in eine Kontrollgruppe (ohne ILIAS-Aufgaben) unterteilt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Versuchsgruppe der Kontrollgruppe in den Leistungstests zu den einzelnen Versuchen stets überlegen war. Signifikant war der Unterschied in der Vorstudie bei 3 von 4 Versuchen, in der Hauptstudie bei 3 von 4 Themengebieten, die wiederum aus 5 einzelnen Versuchen bestanden.

Unmittelbar nach der Vorbereitung auf die Versuche konnte in den Themenbereichen Mechanik, Wärmelehre und Elektrodynamik ein signifikanter Unterschied zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe nachgewiesen werden. Die mittlere Effektstärke<sup>17</sup> der Mechanik- und Wärmelehreversuche betrug  $\omega^2 = 0,24$ . Die mittlere Effektstärke aus den Bereichen Mechanik, Wärmelehre und Elektrodynamik betrug sogar  $\omega^2 = 0,35$ . Dies bedeutet, dass 35% der Gesamtvarianz durch die Gruppeneinteilung erklärt werden konnte.<sup>18</sup>

Der Effekt durch die Bearbeitung der ILIAS-Aufgaben hat sich als stabil herausgestellt. Selbst nach der Durchführung der Versuche zeigte sich die Versuchsgruppe der Kontrollgruppe in allen Themengebieten überlegen. Signifikant wurde dieser Effekt erneut in den Themengebieten Mechanik, Wärmelehre und Elektrodynamik. Zu allen diesen Themengebieten konnte eine Varianzanalyse durchgeführt werden. Die mittlere Effektstärke der Versuche aus Mechanik und Wärmelehre betrug  $\omega^2 = 0,25$ . Fasst man die Versuche Mechanik, Wärmelehre und Elektrodynamik zusammen erhält man  $\omega^2 = 0,27$ .<sup>19</sup>

Dieser positive Effekt von textbegleitenden Aufgaben lässt sich auch durch verschiedene Veröffentlichungen belegen (z. B. [45, 49, 39]). Diese Studie konnte ebenfalls bestätigen, dass textbegleitende Aufgaben auch in der Vorbereitung auf experimentelle Übungen, mit den hier besonderen Anforderungen, erfolgversprechend sind.

Es bleibt noch zu diskutieren, warum der Effekt nicht im Themenbereich Optik verifiziert werden konnte. Hierzu sind mehrere Argumentationen sinnvoll:

- Aufgrund der geringen Anzahl der Versuchspersonen und der damit verbundenen geringen Teststärke: Für kleinere Effekte benötigt man mehr Versuchspersonen, damit ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen nachweisbar ist.

---

<sup>17</sup>Zur Bestimmung der mittleren Effektstärke wurden nur die Daten der Hauptstudie berücksichtigt.

<sup>18</sup>Unmittelbar nach der Bearbeitung der Testaufgaben: Mittlere Effektstärke aus den Versuchen Mechanik, Wärmelehre, Elektrodynamik und Optik:  $\eta^2 = 0,33$  bzw.  $\omega^2 = 0,26$ .

<sup>19</sup>Unmittelbar nach dem Praktikum: Mittlere Effektstärke aus den Versuchen Mechanik, Wärmelehre, Elektrodynamik und Optik:  $\eta^2 = 0,26$  bzw.  $\omega^2 = 0,20$ .

#### 4. Untersuchungen

- Aus inhaltlichen Gründen: Im Gegensatz zum Themengebiet Elektrodynamik umfasste das Themengebiet Optik einen geringen fachlichen Umfang. Die meisten Versuche befassten sich mit einfachem Grundwissen zur Strahlenoptik. Das ist Fachwissen, das die Studierenden des 3. bis 5. Fachsemester wahrscheinlich schon vor der Bearbeitung der Versuche mitbrachten. Die Stärke der ILIAS-Aufgaben – neues Wissen mit bestehendem Wissen in Verbindung zu bringen – wurde hierbei möglicherweise nicht genutzt. Im Gegensatz zu den Optikversuchen deckte das Themengebiet Elektrodynamik<sup>20</sup> einen größeren und inhaltlich anspruchsvolleren Umfang ab.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse zeigt sich, dass die Wirkung von textbegleitenden Aufgaben vermutlich auf alle Themenbereiche der Physik übertragbar ist. Abhängig vom Vorwissen der Studierenden kann der Effekt, der durch die Aufgaben erzielt wird, jedoch unterschiedlich ausfallen. Auch diese Erkenntnis lässt sich durch die beschriebenen Funktionen von Aufgaben für einen Lernprozess (Kapitel 3.2.1) verstehen: So dienen Aufgaben in der Vorbereitungsphase vor allem dazu, Aufmerksamkeit auf wichtige Inhalte zu lenken und relevantes Vorwissen zu aktivieren. Verfügt der Studierende bereits über das versuchsrelevante Wissen, so kann dieses (auch ohne textbegleitende Aufgaben) einfach aktiviert werden. Das wenige neue Wissen kann leicht in die bestehende Struktur integriert werden. Schwieriger wird es hingegen, wenn grundlegend Neues gelernt werden muss. Dann können Aufgaben ihre volle Wirksamkeit entfalten und helfen, neues Wissen angemessen zu strukturieren.

Kein Effekt konnte nachgewiesen werden bei Aufgaben, die sich nicht direkt auf Versuchsinhalte beziehen. Diese Erkenntnis wird auch durch Hinweise in der Literatur unterstützt (z. B. [39, 114]). Die nachgewiesene Wirksamkeit von textbegleitenden Aufgaben bezieht sich demnach hauptsächlich auf Inhalte, die in den Versuchen thematisiert werden.

Die Rolle des zeitlichen Mehr-Aufwandes konnte auch in dieser Hauptstudie nicht abschließend geklärt werden. Mit Sicherheit hat die “Time on task” einen Einfluss auf den Lernerfolg. Wie sehr die zusätzliche Lernzeit die Ergebnisse im Leistungstest beeinflusst hat, konnte aufgrund der wenigen zeitlichen Angaben der Studierenden nicht geklärt werden. Aus den Angaben konnte jedoch ermittelt werden, dass durch die zusätzliche Bearbeitung der ILIAS-Aufgaben die Vorbereitungszeit um 10 Minuten pro Versuch verlängert wurde. Dies ist ein zeitlicher Mehr-Aufwand, der im Hinblick auf die beobachteten Effektstärken sicherlich vertretbar ist.

---

<sup>20</sup>z. B. Versuche zum “Grundstromkreis” zu “Wechselstromgesetzen” und zur “Bestimmung von  $\frac{e}{m}$ ”

### 4.3. Veränderung von Vorstellungen im Bereich Elektrik

Der Umgang mit falschen Vorstellungen zu physikalischen Phänomenen ist seit Jahrzehnten eines der wichtigsten Themen der physikdidaktischen Forschung. Dies zeigen zahlreiche Untersuchungen, die jedoch zumeist einen mäßigen Erfolg bei der Korrektur dieser Vorstellungen aufzeigten [31, 80, 99, 139, 168]. Falsche Vorstellungen gelten als sehr resistent gegenüber Instruktionen und werden oft selbst dann beibehalten, wenn ein Gegenbeweis vorliegt. B. Sodian erklärt die Resistenz falscher Vorstellungen unter Berücksichtigung ihrer Entstehungsursache: Demnach entstehen Fehlvorstellungen nicht aufgrund von einzelnen falschen Informationen, vielmehr ist das ganze Netzwerk, in dem die Informationen eingebettet sind, fehlerhaft.

“Es handelt sich nicht einfach um faktische Irrtümer, die durch korrekte Information leicht richtiggestellt werden können, sondern um alternative Denkweisen, die nur im Rahmen des begrifflichen Systems, in dem sie stehen, verstehbar sind und deren Korrektur die Modifikation dieses Gesamtsystems voraussetzt.”  
[146, S. 633]

Diese Auffassung beruht auf den Forschungsergebnissen und dem davon abgeleiteten Rahmentheorieansatz von S. Vosinadou [162].

Man kann diesen Ansatz leicht in Einklang bringen mit dem Arbeitsgedächtnismodell (vgl. Kapitel 1.3) und der damit verbundenen Bedeutung des Vorwissens für den Lernerfolg (vgl. Kapitel 1.3.5): Neue Informationen werden immer auf der Grundlage von bestehenden Informationen interpretiert und in das Wissensnetz integriert. Hat sich aufgrund von Erfahrungen ein unvollständiges oder fehlerhaftes Wissensnetzwerk aufgebaut, so handelt es sich nicht allein um einzelne falsche Informationen, sondern um eine komplexe Struktur von aufeinander aufbauenden und sich aufeinander beziehenden falschen Informationen. Durch punktuelles Hinzufügen von Informationen kann die falsche Vorstellung nicht dauerhaft korrigiert werden. Eine Korrektur von falschen Vorstellungen kann nur dann erfolgreich sein, wenn die angrenzenden Vorstellungen und Überlegungen mit berücksichtigt werden.

Ein etwas anderes Verständnis über die Entstehung von falschen Vorstellungen wird unter anderem von Chi, Slotta und DeLeeuw vertreten [24]. Grundlage dieser Idee ist die Vorstellung, dass physikalische Begriffe in verschiedene Kategorien eingeteilt werden (“Matter”, “Process”, “Mental States”), die wiederum hierarchisch in weitere Kategorien untergliedert werden. Falsche Vorstellungen entstehen, wenn die Zuordnung zu den Kategorien fehlerhaft ist. Hierbei zeigt sich häufig, dass Menschen mit geringem Vorwissen dazu neigen, Begriffe, wie zum Beispiel der elektrische Strom oder das Licht, in die Ding-Kategorie (“Matter”) zu integrieren statt in die Prozess-Kategorie (“Process” Unterkate-

gorie “Constraint-based Interaction”). Im Rahmen dieses Modells spricht man dann von einer Überwindung der falschen Vorstellungen (“Conceptual Change”), wenn Begriffe von einer falschen in die richtige Kategorie überführt wurden [24].

Beide beschriebenen Ansätze weisen eine strukturelle Ähnlichkeit auf [149], denn beide Ansätze gehen von Begriffnetzwerken aus, die fehlerhaft gebildet worden sind. Die Ursache dieses falschen Netzwerkes kann darin begründet sein, dass den Begriffen falsche Kategorien zugeordnet wurden (Ansatz 2), oder darin, dass die Relationen innerhalb des Begriffsnetzwerkes fehlerhaft sind (Ansatz 1) und es deshalb zu einer falschen Kategorisierung kommt. In beiden Fällen sind die Konsequenzen für die Wissensaufnahme gleich: Neues Wissen wird immer auf Grundlage des bestehenden Wissens interpretiert und in die bestehenden Strukturen eingegliedert.

Zwei weitere Faktoren haben einen Einfluss auf die Korrektur von Vorstellungen:

Um Vorstellungen zu verändern, bedarf es **metakognitiver Fähigkeiten**, also den Fähigkeiten zur Steuerung eines selbstregulierten Lernens über eigene Gedanken und eigenes Handeln zu reflektieren [49]. Verschiedene Autoren [140, 169, 146, 23] weisen darauf hin, dass diese Fähigkeit eine wichtige Voraussetzung für die Korrektur von Fehlvorstellungen ist. Immerhin muss zunächst vom Lernenden erkannt werden, dass die eigenen Vorstellungen nicht mit den physikalischen Vorstellungen übereinstimmen. Angesichts dessen können dann die bestehenden Vorstellungen verändert werden. Die Fähigkeit zur Metakognition wächst im allgemeinen mit dem Alter und dem zunehmenden Wissenserwerb (vgl. [49]). Dieser Umstand hat natürlich auch Einfluss auf die Korrektur von Fehlvorstellungen. Champagne, Gunstone und Klopfer [23] konnten in einer Untersuchung Hinweise darauf finden, dass High-School-Studenten eher den Konflikt zwischen ihren Vorstellungen und den physikalischen Vorstellungen erkannten als Middle-School-Students.

Des Weiteren ist die Bereitschaft zur Veränderung von Vorstellungen auch von **motivationalen Aspekten** abhängig. Ein bewusster Konzeptwechsel von einer falschen Vorstellung zu einer richtigen Vorstellung ist meist mit großen kognitiven Anstrengungen verbunden. Deshalb sollte dieser Konzeptwechsel in einem für den Lernenden authentischen und für ihn persönlich bedeutsamen Kontext erfolgen (vgl. [140]).

### 4.3.1. Entwicklung eines Versuches zu den “Kirchhoffschen Gesetzen” im Rahmen der experimentellen Übungen

Aus vergangenen Untersuchungen [80] an der Universität zu Köln ist bekannt, dass auch nach einer Vorlesung zum Themenbereich “Elektrizität” bei den Studierenden noch zahlreiche falsche Vorstellungen existieren. Probleme zeigten sich insbesondere beim Verständnis des elektrischen Stromkreises als ein System: So neigten die Studierenden dazu, die

## 4. Untersuchungen

elektrischen Größen Spannung, Stromstärke und Widerstand isoliert voneinander zu betrachten.

Experimentelle Übungen sollte den Studierenden die Möglichkeit eröffnen, ihre bestehenden Vorstellungen zu testen und gegebenenfalls falsche Vorstellungen zu korrigieren (vgl. Kapitel 2.4.1).

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen der experimentellen Übungen der Versuch “Die Kirchhoffschen Gesetze” entwickelt, bei dem schwerpunktmäßig die Abhängigkeiten der elektrischen Größen diskutiert werden. Dieser Fokus auf die Diskussion der Abhängigkeiten physikalischer Größen steht im Einklang mit den theoretischen Überlegungen über die Genese von falschen Vorstellungen: Wissen ist in Netzwerken angeordnet, in dem es nicht ausreicht, einzelne Begriffe zu verändern, um zu einer dauerhaften Veränderung des Wissens zu gelangen (vgl. Kapitel 1.3.5 und 4.3).

Um die Motivation der Studierenden zu erhöhen, wurde in den Versuchsunterlagen Bezug zum späteren Arbeitsfeld, der Schule, hergestellt. Mit Formulierungen wie:

*“Als Lehrer sollten Sie eine Sensibilität für die Fehlvorstellungen Ihrer Schüler entwickeln und auch auf diese Vorstellungen geeignet reagieren. Dies kann man natürlich nur erreichen, wenn man die zugrunde liegenden Modelle und Erklärungsmuster kennt und erkennt. Darüber hinaus sollten Sie verschiedene Methoden kennen, wie Sie mit diesen Fehlvorstellungen umgehen, um die Vorstellungen ihrer Schüler dauerhaft zu beeinflussen und zu korrigieren.”* (Auszug aus den Versuchsunterlagen zum Versuch “Die Kirchhoffschen Gesetze”)

soll die Bedeutung von Kenntnissen über typische falsche Vorstellungen für den Lehrerberuf betont werden. Die Versuchsunterlagen sind wie folgt gegliedert: Zunächst werden die physikalischen Grundlagen (speziell die “Kirchhoffschen Gesetze”) wiederholt. Anschließend werden anhand von Beispielen verschiedene falsche Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen (SuS) beschrieben, die in Bezug auf elektrische Spannung, Stromstärke und Widerständen bei Parallel- und Reihenschaltungen häufig vorkommen (z. B. Abbildung 4.4).

**Lokale Argumentation:** Unter der lokalen Argumentation versteht man die Vorstellung, dass an einem Verzweigungspunkt des Stromkreises der Strom sich so aufteilt, als „wüsste dieser nicht, was ihn anschließend im Stromkreis erwartet“. Die Größe der Widerstände in den Verzweigungen wird hierbei nicht berücksichtigt. Der Strom verteilt sich am Knotenpunkt gleichmäßig auf alle Verzweigungen.  
(Mögliche falsche Schülerantwort wurde in rot in der Abbildung eingezeichnet.)

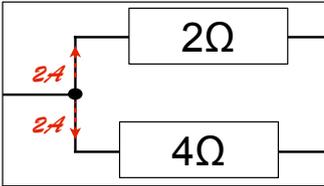


Abbildung 4.4.: Fehlvorstellung “lokale Argumentation”. Ausschnitt aus den Versuchsunterlagen zum Versuch “Kirchhoffsche Gesetze”

#### 4. Untersuchungen

Obwohl die Studierenden gleichartige Fehlvorstellungen haben wie die SuS, wurde in den Unterlagen immer von den Vorstellungen der SuS gesprochen. Damit wurde das Ziel verfolgt, eine möglichst entspannte Atmosphäre zu erzeugen, indem die Studierenden sich nicht vorgeführt fühlen.

Die Studierenden sollen auf diese Weise dazu befähigt werden (vgl. [109]):

- a. sich mit ihren Fehlern produktiv auseinanderzusetzen, das bedeutet Fehler erkennen und verbessern können, und darüber hinaus
- b. die Korrektur von Fehlern nicht mehr mit einer negativen sondern mit einer positiven Bewertung zu verbinden.

Der Versuch wurde eingebettet in die neue Struktur der experimentellen Übungen und soll die *Vorteile der Kombination von E-Learning und Präsenzlehre verbinden*. Um den Studierenden eine Möglichkeit zu geben ihr Wissen selbstständig zu testen, wurde eine zusätzliche Komponente – ein elektronischer Übungspool – eingerichtet (vgl. Abbildung 4.5).

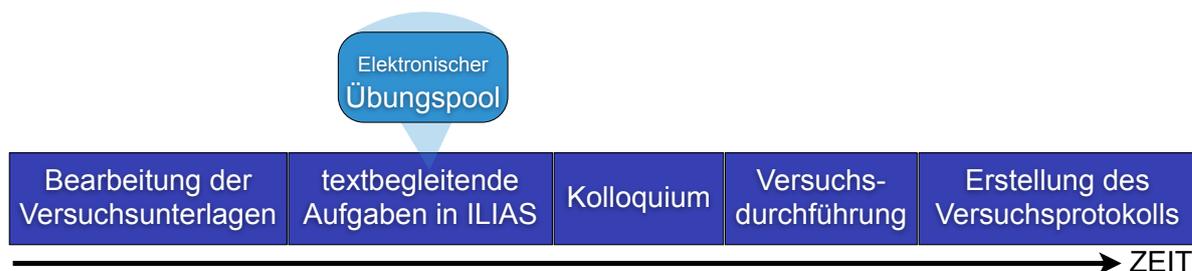


Abbildung 4.5.: Struktur und Ablauf des Versuchs “Die Kirchhoffsche Gesetze”.

In jeder Komponente des Versuches soll der kognitive Konflikt zwischen den physikalischen Vorstellungen und den eventuell bestehenden falschen Vorstellungen angeregt werden. Die Umsetzung in den einzelnen Komponenten wurde wie folgt implementiert:

**Bearbeitung der Versuchsunterlagen:** Die Versuchsunterlagen enthalten neben den theoretischen Grundlagen auch Informationen über die wichtigsten Fehlvorstellungen in Bezug auf elektrische Stromkreise.

**Textbegleitende Aufgaben in ILIAS:** Im ILIAS-Test werden die Inhalte der Versuchsunterlagen anhand von Testaufgaben noch einmal vertieft. 70% der Aufgaben müssen richtig bearbeitet werden, um zum Versuch zugelassen zu werden.

Ziel der Bearbeitung der Versuchsunterlagen mit den dazugehörigen textbegleitenden Aufgaben ist es, die Studierenden auf bestehende Vorstellungen aufmerksam zu machen.

**Elektronischer Übungspool:** Im Übungspool befinden sich diverse Aufgaben zum elek-

## 4. Untersuchungen

trischen Stromkreis, deren richtige Bearbeitung ein konzeptionelles Verständnis von Elektrizität voraussetzt (z. B. Abbildung 4.6). Die Studierenden müssen alle Aufgaben im

**Betrachten Sie die Abbildung. Welche der folgenden Aussagen ist richtig?**

- Der Spannungsabfall über  $R_1$  ist größer als der Spannungsabfall über  $R_2$ .
- Der Spannungsabfall über  $R_1$  ist kleiner als der Spannungsabfall über  $R_2$ .
- Der Spannungsabfall über  $R_1$  ist gleich dem Spannungsabfall über  $R_2$ .

**Die Schaltung 2 ist aus der Schaltung 1 entstanden, indem einer der gleichen Widerstände  $R_1$  durch einen größeren Widerstand  $R_2$  ( $R_2 = 2 R_1$ ) ersetzt wurde. Welche der folgenden Aussagen ist/ sind richtig?**

- Die Stromstärke  $I_1$  ist kleiner als die Stromstärke  $I_2$ .
- Die Stromstärke  $I_1$  ist größer als die Stromstärke  $I_2$ .
- Die Stromstärke  $I_1$  ist gleich groß wie die Stromstärke  $I_2$ .
- Die Stromstärke  $I_2$  ist kleiner als die Stromstärke  $I_3$ .
- Die Stromstärke  $I_2$  ist größer als die Stromstärke  $I_3$ .
- Die Stromstärke  $I_2$  ist gleich groß wie die Stromstärke  $I_3$ .

Abbildung 4.6.: Beispielaufgaben aus dem Übungspool.

Bewertung der Aufgaben im Übungspool: Für das Auswählen einer richtigen Antwort werden Punkte vergeben, bei der Auswahl eines Distraktors werden Punkte abgezogen (Mehrfach-Antworten sind möglich).

Übungspool mindestens einmal bearbeiten, ohne eine festgelegte Anzahl von Punkten zu erreichen. Am Ende jedes Versuchsdurchlaufs erhalten die Studierenden eine Übersicht, welche Aufgaben sie richtig und welche Aufgaben sie falsch bearbeitet haben.

Der Vorteil eines webbasierten Übungspools wird in der zeitnahen, neutralen und objektiven Rückmeldung durch den Computer gesehen. Im Gegensatz zur direkten Kommunikation ist es hier einfacher, Fehler zu machen, um sein eigenes Wissen zu testen, denn eine *direkte Bewertung* durch die Lerngruppe oder den Betreuer bleibt aus<sup>21</sup>. Der Übungspool erfüllt somit die Funktion eines Lernraumes, der von vielen Didaktikern auch für schulische Kontexte gefordert wird (z. B. [141, 150]), in dem die Aufgaben als Lernanlässe angesehen werden.

Ziel des Übungspools ist es, den Studierenden in einem geschützten Raum die Möglichkeit zu geben, ihr Wissen zu testen und gegebenenfalls für falsche Vorstellungen zu sensibilisieren.

**Kolloquium:** Neben der Überprüfung, ob die Studierenden den ILIAS-Test selbstständig bearbeitet haben, soll die Zeit im Kolloquium genutzt werden, über Modelle nachzudenken, die helfen können, die elektrischen Größen Spannung, Stromstärke und Widerstand besser zu verstehen. Offene Fragen und unklare Aufgaben werden zudem in der Kleingruppe gemeinsam diskutiert.

Ziel des Kolloquiums ist es, die Diskussion der Studierenden untereinander anzuregen, um

<sup>21</sup>Dem Administrator des Kurses ist es jedoch prinzipiell möglich, die Ergebnisse einzusehen.

## 4. Untersuchungen

so das Wissen zu vertiefen.

**Versuchsdurchführung:** Bei der Versuchsdurchführung sollen die Studierenden verschiedene Schaltungen aufbauen. Unter anderem sollen die Studierenden sich in ihrer Versuchsgruppe auf 5 Schaltungen aus dem Übungspool einigen, die sie aufbauen und im Hinblick auf mögliche Schwierigkeiten beim Einsatz in der Schule diskutieren.

Ziel der Versuchsdurchführung ist es, den Studierenden die Möglichkeit zu geben, ihre Vorstellungen mit dem realen Experiment zu überprüfen.

**Erstellung des Versuchsprotokolls:** Im Versuchsprotokoll sollen die Ergebnisse der Versuchsdurchführung zusammengefasst und diskutiert werden.

Ziel der Bearbeitung des Versuchsprotokolls ist eine Festigung des Wissens.

### 4.3.2. Hypothese

Die vorgestellte Struktur des Versuches “Die Kirchhoffschen Gesetze” wurde speziell entwickelt zur Verbesserung des konzeptionellen Verständnisses. Wichtige Aspekte der Entstehungsursachen, sowie der Wirkung der Motivation und der Metakognition wurden bei der Entwicklung des Versuches berücksichtigt. Es ist daher davon auszugehen, dass Studierende, die diesen Versuch bearbeiten, ein verbessertes Konzeptverständnis von elektrischen Stromkreisen aufweisen. Als Nachweis für ein besseres konzeptionelles Verständnis dient die erreichte Punktzahl in einem Konzepttest zum Themengebiet “Spannung, Stromstärke und Widerstände in einfachen elektrischen Stromkreisen”.

**Das Ziel der Untersuchung** ist es herauszufinden wie groß der Einfluss des konzipierten Versuches auf das konzeptionelle Verständnis der Studierenden ist. Zur Einschätzung der Größe des Effektes wurden zum Vergleich Studierende untersucht, die den Versuch nicht bearbeitet hatten.

*Hypothese: Studierende, die im Rahmen der experimentellen Übungen den Versuch “Kirchhoffsche Gesetze” bearbeitet haben, zeigen ein deutlich besseres konzeptionelles Verständnis von elektrischen Stromkreisen als Studierende, die diesen Versuch nicht bearbeitet haben.*

### 4.3.3. Methode

#### Rahmenbedingungen

Die Aussagekraft der Ergebnisse einer statistischen Untersuchung wird durch die geringe Anzahl der Physikstudierenden eingeschränkt.

Die vorgestellten Untersuchungsergebnisse sind zu drei Zeitpunkten erhoben worden. Da die Umgestaltung der experimentellen Übungen in einem Zeitraum von 3 Jahren – schrittweise von der Erhebung der Probleme in den experimentellen Übungen bis zur vollständigen Umsetzung selbiger – erfolgte, musste bei der Auswertung der Daten die Vergleichbarkeit der Ergebnisse überprüft werden.

Im **Sommersemester 2009**: Zu diesem Zeitpunkt waren circa die Hälfte aller Versuche auf das neue System umgestellt.

Im **Sommersemester 2010**: Zu diesem Zeitpunkt waren nahezu alle Versuche auf das neue System umgestellt<sup>22</sup>.

Im **Sommersemester 2011**: Zu diesem Zeitpunkt waren alle Versuche auf das neue System umgestellt.

Die Untersuchungen fanden ausschließlich im Sommersemester statt. Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass sowohl die Versuchsgruppe als auch die Kontrollgruppe neben den experimentellen Übungen gleichzeitig die Vorlesung “Experimentalphysik II (E-Lehre/Optik)” hörten. Die Rahmenbedingungen wurde deshalb zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe nur durch die Teilnahme an dem Versuch “Die Kirchhoffschen Gesetze” unterschieden.

#### Entwicklung der Materialien

Die Konzeption der Materialien zum Versuch “Die Kirchhoffschen Gesetze” wurde im Abschnitt 4.3.1 dargestellt. Die ausgearbeiteten Kriterien zur Aufgabenentwicklung (Kapitel 3.3.3) und zum Ablauf (Kapitel 3.3.2) wurden hierbei berücksichtigt.

Der verwendete Konzepttest wurde auf der Grundlage von vorgestellten Aufgaben von Christoph von Rhöneck [133] aus dem Jahre 1986 entwickelt. Dabei wurden einige Aufgaben übernommen, die meisten jedoch umformuliert, ergänzt oder neu entworfen. Die Validität des Tests ergibt sich durch die Auswahl der Aufgaben, die alle auf einfachen elektrischen Schaltungen basieren<sup>23</sup>, sowie aus Untersuchungen an mehr als 150 Lehramtsstudierenden, bei denen durch diesen Test eindeutig falsche Vorstellungen nachgewiesen

---

<sup>22</sup>bis auf zwei Versuche

<sup>23</sup>Vergleichbare elektrische Schaltungen werden in der Mittelstufe verwendet.

## 4. Untersuchungen

werden konnten [80].

Die insgesamt 12 Aufgaben im Konzepttest (vgl. Anhang E.5) basieren auf verschiedenen Schaltungstypen:

- Aufgaben zur Reihenschaltung,
- Aufgaben zur Parallelschaltung,
- Aufgaben zur Kombination aus Reihen- und Parallelschaltung und
- Aufgaben, bei denen eine Reihen- und eine Parallelschaltung miteinander verglichen werden sollen.

Mit diesen Aufgaben können verschiedene Fehlvorstellungen untersucht werden:

- Die lokale Argumentation<sup>24</sup>: Die lokale Argumentation zeichnet sich durch eine alleinige Argumentation über den elektrischen Strom aus: Der elektrische Strom teilt sich in den Verzweigungspunkten des Stromkreises stets gleichmäßig auf alle Verzweigungen auf. Die Abhängigkeit des elektrischen Stromes vom elektrischen Widerstand wird dabei nicht berücksichtigt [133, S. 11].
- Die sequentielle Argumentation<sup>25</sup>: Ähnlich wie bei der lokalen Argumentation wird erneut über den elektrischen Strom argumentiert. Es wird unterschieden zwischen dem in den Widerstand “hineinströmenden” und dem aus dem Widerstand “herausströmenden” Strom. So haben Veränderungen vor einem Widerstand Auswirkungen auf alle Elemente in Stromrichtung hinter dem Widerstand, Veränderungen hinter einem Widerstand aber nicht auf die vorherigen Elemente [133, S. 11]. Auch hier fehlt das grundlegende Verständnis der Abhängigkeiten der elektrischen Größen Widerstand, Spannung und Strom.
- Vorstellung über die Spannung<sup>26</sup>: Die Spannung wird nicht als ein Potenzialunterschied, sondern als eine Begleiterscheinung des Stroms verstanden. Der Spannung wird somit keine Bedeutung für das Entstehen eines Stromflusses gegeben [80]. Dies hat zur Folge, dass eine Spannung immer erst dann entsteht, wenn Strom fließt. Auch hier zeigt sich das fehlende Systemverständnis und die Tendenz mit Hilfe des elektrischen Stroms zu argumentieren.
- Die Verbrauchsvorstellung<sup>27</sup>: Eine der wohl verbreitetsten Vorstellungen zum elektrischen Stromkreis ist die Vorstellung, dass der elektrische Strom als eine Art Substanz mit mengenartigem Charakter angesehen wird. In einem Widerstand, der als “Verbraucher” angesehen wird, wird diese Substanz verbraucht [96, S. 10].  
Die Verbrauchsvorstellung betrifft nicht nur den elektrischen Strom, sie könnte auch

---

<sup>24</sup>Im Konzepttest: Aufgabe 3, 4, 5a, 5b, 5c und 8.

<sup>25</sup>Im Konzepttest: Aufgabe 1b und 9.

<sup>26</sup>Im Konzepttest: Aufgabe 2

<sup>27</sup>Im Konzepttest: Aufgabe 1a, 6 und 7

## 4. Untersuchungen

bei der elektrischen Spannung nachgewiesen werden [80].

Wiederholte Messungen an anderen Versuchsgruppen (SuS und Physikstudierenden<sup>28</sup>) und durch andere Auswerter zeigten die gleichen Fehlvorstellungen. Je nach Zielgruppe variierte jedoch die Häufigkeit, mit der eine bestimmte Fehlvorstellung vorgefunden wurde, sowie die Kombination aus den verschiedenen Vorstellungen [148].

### Untersuchungsdesign

In der durchgeführten Studie wurde das konzeptionelle Verständnis der Studierenden der Versuchsgruppe in einem Prätest zu Beginn der Vorlesungszeit und in einem Posttest am Ende der Vorlesungszeit erhoben. Während dieser Zeit haben die Studierenden den Versuch zu den Kirchhoffschen Gesetzen durchgeführt. Um auszuschließen, dass der beobachtete Effekt allein durch den Besuch der Vorlesung “Elektrik / Optik” erklärbar ist, wurden in einer Kontrollgruppe das konzeptionelle Verständnis von Studierenden, die nur die Vorlesung besuchten, gemessen. In der Abbildung 4.7 ist das Untersuchungsdesign graphisch dargestellt.

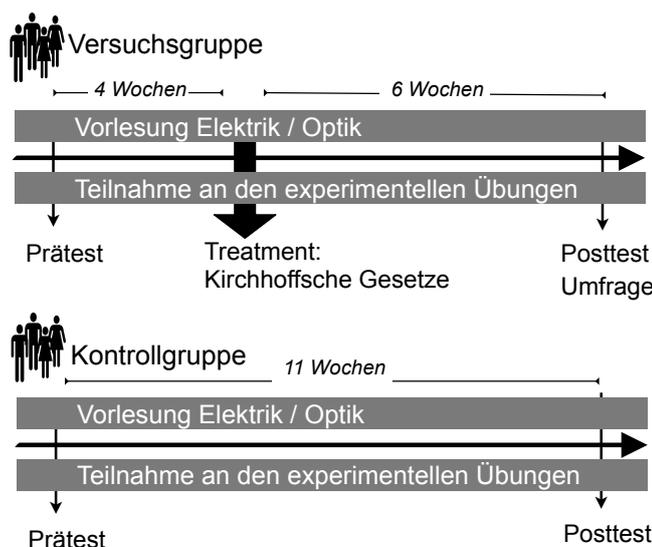


Abbildung 4.7.: Darstellung des Untersuchungsdesigns.

Die Versuchsgruppe wurde zudem angehalten, im Anschluss an den Posttest eine Umfrage zu bearbeiten. Auf diese Weise sollten die Ergebnisse der Untersuchung ergänzt und abgesichert werden, um die genauen Ursachen des Effekts zu klären. Dabei war es das konkrete Ziel der Umfrage herauszufinden, inwiefern die theoretisch erdachten Ziele der einzelnen Versuchskomponenten (Versuchsunterlagen, ILIAS-Test, Übungspool, Versuchsdurchführung und Auswertung) aus Studierendensicht erreicht wurden.

<sup>28</sup>Studienziel: Diplom bzw. Bachelor/Master

## 4. Untersuchungen

Natürlich ist bei diesem Untersuchungsdesign zu erwarten, dass die Versuchsgruppe der Kontrollgruppe überlegen ist, da sich die Studierenden intensiver über einen längeren Zeitraum mit den Inhalten auseinandersetzen (z. B. [156]). Bei dieser Untersuchung geht es jedoch vielmehr um die Größe des Effekts, die man mit einem solchen Versuch erreichen kann. Dies geschieht im Hinblick auf zahlreiche Untersuchungen, die die Resistenz der falschen Vorstellungen gegenüber alternativen Vorstellungen beschreiben und belegen (z. B. [29, 31, 80, 99, 139, 168]).

### Variablen der Untersuchung

Als *abhängige Variable* dienen die Anzahl der Punkte in Prozent, die im Konzepttest erreicht wurden. Es wird davon ausgegangen, dass Studierende, die ein besseres konzeptionelles Verständnis von elektrischen Stromkreisen haben, auch bessere Ergebnisse im Konzepttest erreichen.

Als *unabhängige Variable* wird die Bearbeitung des Versuches betrachtet. Es ist zu erwarten, dass Studierende, die neben der Vorlesung und der Teilnahme an den experimentellen Übungen zusätzlich den Versuch “Die Kirchhoffschen Gesetze” durchführten, ein besseres konzeptionelles Verständnis aufweisen. Diese Annahme lässt sich rechtfertigen durch die Konzeption des Versuches, bei der kognitionspsychologische Erkenntnisse berücksichtigt wurden (vgl. Kapitel 4.3 und 4.3.1).

	<b>Variable</b>	<b>Erläuterung</b>
AV	Leistung in (%)	Anzahl der Punkte im Prozent, die im Konzepttest erreicht wurden.
UV	Bearbeitung des Versuches “Die Kirchhoffschen Gesetze”	Nur die Versuchsgruppe hat diesen Versuch bearbeitet.

Tabelle 4.19.: Variablen der Untersuchung. Erläuterung: AV: Abhängige Variable, UV: Unabhängige Variable

### Stichprobe

Im Jahre 2009 und 2010 wurde der Versuch “Die Kirchhoffschen Gesetze” mit den Studierenden durchgeführt. Insgesamt nahmen 44 Studierende an der Untersuchung in der Versuchsgruppe teil. Im Jahre 2011 haben die Studierenden das Treatment nicht erhalten. Insgesamt sind in der Vergleichsgruppe 13 Studierende. Auch im Jahr 2008 wurde die Untersuchung ohne Treatment durchgeführt, da sich aber die Rahmenbedingungen durch eine allgemeine Umstellung der Vorlesung auf das “Learning by Teaching”-System [18]

## 4. Untersuchungen

und durch die Umstrukturierung der experimentellen Übungen im Zeitraum von 2008 bis 2011 stark verändert haben, wurden diese Daten nicht bei der Untersuchung berücksichtigt.

Die experimentellen Übungen werden von Studierenden mit unterschiedlichen Studienzielen besucht. Die Verteilung der Studierenden betreffend ihres Studienziels hat sich von 2009 bis 2011 nicht deutlich voneinander unterschieden: Im Schnitt verfolgten 65% der Studierenden das Studienziel: Grund-, Haupt- und Realschulen/ Schwerpunkt Haupt- und Realschulen, 10% Grund-, Haupt- und Realschulen/ Schwerpunkt Grundschulen und 25% der Studierenden das Studienziel sonderpädagogische Förderung.

Die meisten Studierenden befanden sich im Zeitraum der Untersuchung noch zu Beginn ihres Studiums (90% der Studierenden waren im zweiten und dritten Fachsemester im Fach Physik).

### **Datenerhebung/Organisation**

Die Durchführung des Prätests fand in der ersten Semesterwoche statt, der Posttest in der vorletzten Woche der Vorlesungszeit. In der Zwischenzeit haben die Studierenden keine Rückmeldungen über ihre Leistungen im Konzepttest erhalten, und sie hatten auch keinerlei Möglichkeiten, die Aufgaben des Konzepttests einzusehen. Hinsichtlich des genauen Ablaufs der Untersuchung haben die Studierenden zu Beginn des Semesters einen detaillierten Zeitplan erhalten (Anhang 5.9, S. 213). Auf eine Einführung in das Learning Management System "ILIAS" wurde verzichtet, da die Studierenden bereits durch andere Veranstaltungen mit dem System vertraut waren.

Die Studierenden der Versuchsgruppe wurden nach Abschluss des Posttests dazu angehalten, eine Umfrage in ILIAS zum Versuch und dem Versuchsablauf zu bearbeiten. Hierzu wurde ein Zeitraum von 2 Wochen vorgesehen. Die Umfrage wurde elektronisch umgesetzt, damit die Studierenden während der Prüfungszeit selbstständig den Zeitpunkt der Bearbeitung festlegen konnten.

### **Auswertungsverfahren**

Die Berechnung der Daten erfolgte mit dem Statistik Programm SPSS 19. Zur Auswertung der Daten wurde ein gestuftes Verfahren angewandt:

1. Da die Daten der Versuchsgruppe zu unterschiedlichen Zeitpunkten erhoben wurden, wurde zunächst überprüft, ob die Daten der Versuchsgruppen aus 2009 und 2010 vergleichbar waren. Dazu wurde mit einem t-Test für unabhängige Stichproben verifiziert, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Daten aus den beiden Jahren bestand. Dieser Test wurde separat für den Prätest, den Posttest sowie für den Zuwachs der erreichten

#### 4. Untersuchungen

Punkte vom Prä- zum Posttest<sup>29</sup> durchgeführt. Ein nicht signifikantes Ergebnis galt als Voraussetzung für die Bestätigung der Annahme, dass die Daten zur gleichen Stichprobe gehören. Die Grundidee des t-Tests wird auf Seite 128 erläutert.

**2.** Auf dieser Grundlage wurde nun im Folgenden untersucht, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe gab. Zu diesem Zweck wurde der Lernzuwachs vom Prä- zum Posttest bestimmt. Anschließend wurden diese Daten mit einer Varianzanalyse (S. 109) auf signifikante Unterschiede, hinsichtlich ihrer Gruppenzugehörigkeit in Versuchs- und Kontrollgruppe, analysiert. Zur Absicherung der Ergebnisse wurde im Anschluss ein nicht-parametrisches Verfahren mittels des “Mann-Whitney-U-Test” (S. 82) angewendet .

**3.** Inwieweit sich das konzeptionelle Verständnis von elektrischen Stromkreisen verändert hatte, konnte anhand des Prä-Post-Test objektiv überprüft werden. Inwiefern den Studierenden der Versuchsgruppe diese Veränderungen jedoch bewusst wurden und welcher der Versuchsteile aus Sicht der Studierenden dazu beigetragen hatte, bestehende Fehlvorstellungen zu identifizieren und anschließend zu beheben, wurde durch eine anschließende Umfrage analysiert. Die Umfrage bestand aus drei Blöcken:

- Der erste Block enthielt Fragen zur Identifikation von Fehlvorstellungen.
- Der zweite Block enthielt Fragen, die sich mit der Veränderung von Fehlvorstellungen auseinandersetzen.
- Der dritte Block enthielt Fragen zur Erfassung der Motivation einer Beschäftigung mit Fehlvorstellungen.

Neben nominalen und ordinalen Items wurden auch solche mit offenem Antwortformat gewählt. Die Antworten der Studierenden wurden nach qualitativen Methoden kategorisiert und anschließend durch eine Häufigkeitsanalyse [98] zusammengefasst. Dabei wurde als minimale Analyseeinheit ein vollständiger Satz oder ein Aufzählungspunkt festgelegt, mit der das Item beantwortet wurde. Unklare oder bezüglich der Fragestellung unpassende Aussagen der Studierenden wurden nicht berücksichtigt. Bei der Kategorisierung der Antworten der Studierenden wurde insbesondere versucht, die Bedeutung der einzelnen Versuchskomponenten herauszuarbeiten.

---

<sup>29</sup>Die Variable wurde berechnet aus der Differenz der Punkte aus dem Posttest und den Punkten aus dem Prätest.

## 4. Untersuchungen

### Grundidee des t-Tests für unabhängige Stichproben [65, 111, 124, 125]

Der t-Test ist ein Spezialfall der Varianzanalyse [124, S. 43]. In beiden Fällen werden Mittelwerte von verschiedenen Gruppen miteinander verglichen, um auf einen systematischen Unterschied zu schließen. Während bei einem t-Test jedoch nur zwei Mittelwerte miteinander verglichen werden können, ist dies bei einer Varianzanalyse auch mit mehreren Gruppen möglich. Auch die grundsätzliche Argumentationsweise unterscheidet sich nicht: In beiden Fällen wird von einer Nullhypothese ausgegangen, die bei einem signifikanten Ergebnis verworfen wird [125, S. 1].

In Falle des t-Tests wird als Prüfgröße ein t-Wert aus den Mittelwerten der beiden Gruppen berechnet (vgl.: [111, S. 121] und [124, S. 51]):

$$t_{df} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\hat{\sigma}_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}} \quad (4.4)$$

$\bar{x}_1$  und  $\bar{x}_2$  = Mittelwerte der Gruppen

$\hat{\sigma}_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}$  = Geschätzter Standardfehler der Mittelwertsdifferenzen

Der geschätzte Standardfehler der Mittelwertsdifferenzen lässt sich durch den folgenden Zusammenhang bestimmen [124, S. 49]:

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_1^2}{n_1} + \frac{\hat{\sigma}_2^2}{n_2}} \quad (4.5)$$

$n_1$  bzw.  $n_2$  = Anzahl der Versuchspersonen in Stichprobe 1 bzw. Stichprobe 2

$\hat{\sigma}_1^2$  = Varianz der Population 1

$\hat{\sigma}_2^2$  = Varianz der Population 2

Ein Vergleich des t-Wertes mit der vom Freiheitsgrad abhängigen t-Verteilung unter Berücksichtigung eines kritischen t-Wertes erlaubt eine Aussage darüber, ob die Nullhypothese abgelehnt oder beibehalten werden muss.

Nur unter den folgenden Voraussetzungen ist die Prüfgröße t-verteilt [111, S. 123]:

- Die abhängige Variable muss Intervallskalenniveau haben.
- Die abhängige Variable muss normalverteilt sein.
- Die Messwerte (hier: Punkte im Konzepttest) müssen unabhängig voneinander sein.
- Die Varianzen der Messwerte in den beiden Gruppen müssen homogen sein (Varianzhomogenität).

### 4.3.4. Ergebnisse

Soweit nicht anders angegeben, wurde für die Hypothesentests ein Alpha-Niveau von  $\alpha = 0,05$  gewählt. Zur Berechnung der Effektstärke wurde  $\omega^2$  verwendet.

#### Zusammenstellung der Deskriptiven Daten

Zusammensetzung der Gruppen:

	Anzahl N	Weiblich	Männlich
Versuchsgruppe	44	11	33
Kontrollgruppe	13	4	9

Tabelle 4.20.: Vorstellungen im Bereich Elektrik: Zusammenstellung der Gruppen.

Erreichte Punktzahl im Konzepttest (in %):

	Konzepttest zur Elektrik:	Prätest	Posttest
Versuchsgruppe	Mittelwert	30,49	56,63
	Standardabweichung	19,18	18,90
Kontrollgruppe	Mittelwert	26,92	33,97
	Standardabweichung	16,72	10,46

Tabelle 4.21.: Vorstellungen im Bereich Elektrik: Ergebnisse der Konzepttests.

### Überprüfung der Gleichheit der Versuchsgruppen aus dem Jahre 2009 und 2010

Im Vorfeld konnte nicht ausgeschlossen werden, dass die Umstrukturierung der Versuche einen Einfluss auf das Ergebnis des Konzepttests hatten. Deshalb wurden die Datensätze aus dem Jahre 2009 und 2010 hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit überprüft:

Da die einzelnen Datensätze in hinreichender Weise die Bedingungen der Normalverteilung und der Varianzhomogenität erfüllten (vgl. Tabelle 5.16, S. 230), wurde hierzu ein t-Test für unabhängige Stichproben verwendet:

- a. Im Prätest: Die Ergebnisse zeigten keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,813$ ).
- b. Im Posttest: Die Ergebnisse zeigten keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,764$ ).

#### 4. Untersuchungen

- c. Im Zuwachs (Posttest - Prätest): Die Ergebnisse zeigten keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,560$ ).

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden bei den weiteren Untersuchungen die Daten zusammengefasst. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse kann aus der Tabelle 5.15 auf Seite 230 entnommen werden.

#### **Einfluss des Versuchs “Die Kirchhoffschen Gesetze” (UV) auf das konzeptionelle Verständnis (AV)**

Das Diagramm 4.4 zeigt die von den Studierenden durchschnittlich erreichte prozentuale Punktzahl in den Konzepttests (Prätest und Posttest).

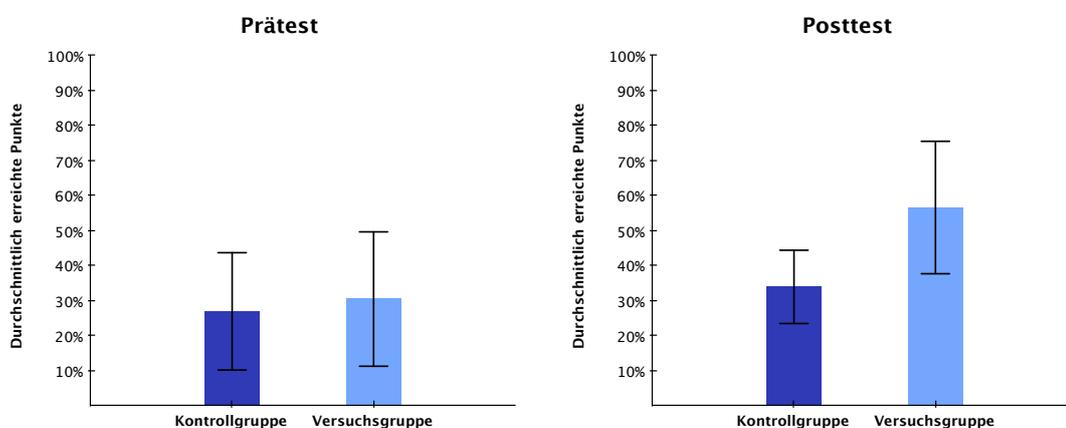


Diagramm 4.4: Darstellung der Ergebnisse des Prätests und des Posttests.  $N_{Versuchsgruppe} = 44$  und  $N_{Kontrollgruppe} = 13$ .

Während sich das konzeptionelle Verständnis der Studierenden der Kontrollgruppe nur gering verbessert hatte (von 27% auf 33%), zeigten die Studierenden der Versuchsgruppe einen deutlicheren Lernzuwachs (von 30% auf 57%).

Die statistische Signifikanz des Lernzuwachses der Versuchsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe wurde mit einer Varianzanalyse überprüft. Die notwendigen Voraussetzungen der Normalverteilung und der Varianzhomogenität der Messdaten wurden vorab überprüft und in hinreichender Weise bestätigt (Tabelle 5.16, S. 230).

Die Varianzanalyse (Tabelle 4.22) bestätigte einen hoch signifikanten Unterschied zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe ( $p < 0,01$ )<sup>30</sup>. Zudem konnte ein großer Teil der

<sup>30</sup>Auf S. 231 sind die Ergebnisse der Varianzanalyse in der Tabelle 5.17 detailliert dargestellt.

#### 4. Untersuchungen

Gesamtvarianz zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe aufgeklärt werden ( $\omega^2 = 0,17$ ).

##### Varianzanalyse

	<b>N</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b><math>\omega^2</math></b>
<b>abhängige Variable: Lernzuwachs</b>	57	1	12,76**	0,17

Tabelle 4.22.: Darstellung der Ergebnisse der Varianzanalyse.

Erläuterung: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , Signifikanzniveau  $\alpha = 0.05$ .

Zur Absicherung der Ergebnisse wurde zusätzlich noch auf einen parameterfreien Test zurückgegriffen. Die Ergebnisse des “Mann-Whitney-U-Test” in der Tabelle 4.23 bestätigten die Ergebnisse der Varianzanalyse. Demnach bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den Studierenden, die nur die Vorlesung gehört hatten und den Studierenden, die darüber hinaus auch noch den Versuch “Die Kirchhoffschen Gesetze” bearbeitet hatten.

##### „Mann-Whitney U-Test“

	<b>Anzahl N</b>	<b>Mittlerer Rang</b>	<b>Rangsumme</b>	<b>Z</b>	<b>Signifikanz p</b>
<b>Kontrollgruppe</b>	13	16,00	208,00	-3,251	$p < 0,01$
<b>Versuchsgruppe</b>	44	32,84	1445,00		

Tabelle 4.23.: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests.

Erläuterung: Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ .

##### Auswertung der Umfrage

Die Studierenden der Versuchsgruppe konnten die Umfrage freiwillig im Anschluss an den Posttest bearbeiten. Insgesamt haben sich 40 Studierende an dieser Umfrage beteiligt. Die unterschiedliche Anzahl der Antworten zu den jeweiligen Fragen innerhalb der Umfrage ist durch zwei Effekte zu erklären:

- Die Fragen konnten von den Studierenden übersprungen werden.
- Wenn die Studierenden im ersten Fragenblock angegeben haben, dass sie bei sich selber keine Fehlvorstellungen festgestellt haben, wurde der zweite bis einschließlich dritte Fragenblock automatisch übersprungen.

### 1. Identifikation von Fehlvorstellungen

Die Frage: **“Haben bzw. hatten Sie Fehlvorstellungen zum elektrischen Stromkreis?”** bestätigten 85% der Studierenden mit “Ja”. Hingegen gingen nur 15% der Studierenden davon aus, dass Sie keine falschen Vorstellungen besaßen. Für diese insgesamt 6 Studierenden war eine Bearbeitung des ersten und zweiten Fragenblocks, die sich vertieft mit dem Erkennen und Korrigieren von Fehlvorstellungen auseinandersetzen, sinnlos. Daher wurden diese Fragen für die betreffenden Studierenden vom System automatisch übersprungen.

Die Antworten auf die Frage: **“Wann oder in welcher Situation, haben Sie diese Fehlvorstellung/en bemerkt?”** wurden dahingehend analysiert, welche Versuchskomponente (Versuchsunterlagen, Übungspool, Kolloquium, Versuchsdurchführung, Versuchsausarbeitung) die Studierenden angegeben hatten<sup>31</sup>. Insgesamt wurde diese Frage von 25 Studierenden sinnvoll beantwortet. Gemäß der Antworten der Studierenden wurden bei der Bearbeitung der Versuchsunterlagen (52)%<sup>32</sup> und des Übungspools (52%) am häufigsten Fehlvorstellungen bemerkt. Im Kolloquium haben 20% der Studierenden Fehlvorstellungen festgestellt, während der Versuchsdurchführung gab nur ein Studierender an, Fehlvorstellungen erkannt zu haben. Dies kann im günstigsten Fall daran liegen, dass alle Fehlvorstellungen schon durch die Bearbeitung der Versuchsunterlagen, des Übungspools und innerhalb des Kolloquiums behoben wurden. Möglich wäre jedoch auch, dass die Studierenden falsche Vorstellungen bei der Versuchsdurchführung gar nicht wahrgenommen haben; ein Effekt, der auch in der Literatur in Bezug auf Experimente dokumentiert wurde: Schlichting, zum Beispiel, beschreibt die Bemühungen eines Lehrers, die Fehlvorstellungen der Schüler bezüglich der Fließrichtung des elektrischen Stromes aufzulösen. Hierzu legte er Spannung an einen Draht an und fragte die Schüler an welcher Stelle der Draht zuerst anfängt zu glühen. Das Ergebnis war ernüchternd:

*“Nach Durchführung des Experiments mußte [sic] der Lehrer erstaunt zur Kenntnis nehmen, daß [sic] der Versuchsgang die beiden “abtrünnigen” Gruppen offenbar nicht eines besseren belehrt hatten. Fast jeder sah das, was er zu sehen erwartete” [139]*

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Antworten der Studierenden auf die Frage **“Was oder welche Situation hat Sie von der Falschheit Ihrer (Fehl-) Vorstellung/en überzeugt?”**. Die Analyse der Antworten zeigte, dass die Auseinandersetzung mit dem realen Experiment bei der Versuchsdurchführung (44%) am überzeugendsten war, überzeugender als die Bearbeitung der Versuchsunterlagen (37%), des Übungspools (11%) oder das Kolloquium (22%).

<sup>31</sup>Mehrfachnennungen waren möglich.

<sup>32</sup>Die Prozentangaben beziehen sich auf die Anzahl der Studierenden, die diese Frage beantwortet haben.

13 von 25 Studierenden haben bei der Bearbeitung der Versuchsunterlagen Fehlvorstellungen bemerkt.

#### 4. Untersuchungen

Charakteristisch für diese Einschätzungen sind folgende Aussage der Studierenden:

*“Der Versuch selber hat bei mir den entscheidenden Funken gesetzt und mich von der richtigen Vorstellung überzeugt.”*

*“Die Versuche, bei denen man handfeste Messungen durchführt.”*

Dieses Ergebnis überrascht, da die Versuchsdurchführung bei der Entdeckung von Fehlvorstellungen (siehe 2. Frage) gar nicht genannt wurde. Die Frage wurde insgesamt von 27 Studierenden bearbeitet.

### 2. Veränderung von Fehlvorstellungen

Auf die Frage **“Ist es Ihnen gelungen, diese Fehlvorstellungen zu korrigieren?”** antworteten 60% der Studierenden mit “Ja”, 36% mit “Teilweise” und 4% mit “Nein”. Wie schwierig es ist, Fehlvorstellungen in physikalisch richtige Vorstellungen zu überführen, zeigten die Antworten auf die Frage **“Merken Sie, dass Sie immer noch dazu neigen alte Vorstellungsmuster anzuwenden? Wenn ja, in welchen Situationen?”**. So gaben 53%<sup>33</sup> der Studierenden an, dass sie immer noch dazu neigen alte Vorstellungsmuster zu verwenden, wie folgende Zitate exemplarisch belegen:

*“Ja, bei gewohnten Schaltungen, die sehr einfach aussehen. Je einfacher, desto eher bin ich dazu geneigt, nicht so sehr über die Antwort nachzudenken.”*

*“Ja, ich merke, dass ich schnell in alte Vorstellungsmuster zurückfalle, dies ist vor allem der Fall, wenn ich etwas schnell oder unter Druck bearbeite bzw. bearbeiten muss. In diesen Fällen geschieht es oft, dass die Fehlvorstellungen wieder mein Denken beeinflussen. Bei genauerer Konzentration und vor allem bei genügend Zeit gelingt es mir jedoch, diese “abzustellen”.“*

Mit einer weiteren Frage wurde die Rolle der Diskussion zur Veränderung von Fehlvorstellungen diskutiert: **“Was glauben Sie, welchen Einfluss das Sprechen und Diskutieren über Vorstellungen/Fehlvorstellungen hat?”**. Hierbei zeichnete sich ein deutliches Bild ab: 34 Studierende (89%) gaben an, dass das Gespräch einen sehr großen Einfluss bei der Bewältigung von falschen Vorstellungen hatte:

*“Es ist schwer, sich von seinen eigenen Fehlvorstellungen zu lösen. Das Diskutieren und das Erklären seiner eigenen Vorstellung bringt einen dazu, sich mit dem Thema noch mehr auseinanderzusetzen und somit auch die Fehler zu erkennen.”*

*“Ich denke, dass dies sehr wichtig ist. Mir selber hat es auch sehr dabei geholfen zu erkennen, dass sie wirklich falsch sind, um dann an der Korrektur zu feilen.”*

Hingegen bewerteten nur 4 Studierende (10%) die Bedeutung der Diskussion als gering:

---

<sup>33</sup>Die Frage wurde von insgesamt 30 Studierenden beantwortet.

*“Diskussionen helfen schon, aber wenn man etwas selbst ausprobiert, werden Sachverhalte klarer. Auch Bildmedien helfen oft mehr als Diskussionen.”*

### 3. Motivation

Die Motivation hat einen wichtigen Einfluss auf die Änderung von Vorstellung (siehe Kapitel 4.3). Zur Erfassung der Motivation sollten die Studierenden folgende Items auf einer Likert-Skala von 1 → “sehr wichtig” bis 6 → “überhaupt nicht wichtig” bewerten:

Frage	Median
Für wie wichtig halten Sie es, dass Lehrer eine gute Kenntnis über mögliche Fehlvorstellungen von Schülern haben?	1
Haben sich ihre Kenntnisse über typische Fehlvorstellungen durch die Beschäftigung mit dem Versuch 13: Kirchhoffsche Gesetze erweitert?	1
Wie groß ist Ihr Interesse sich mit Fehlvorstellungen weiter zu beschäftigen?	2

Tabelle 4.24.: Fragen zur Motivation. Zu jedem Item wurden 39 Studierendenbewertungen berücksichtigt.

Alle Ergebnisse zeigen eine hohe Motivation der Studierenden, sich mit dem Thema Fehlvorstellungen auseinanderzusetzen.

### Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchung haben gezeigt, dass die Bearbeitung des Versuches, in Ergänzung zur Vorlesung, das konzeptionelle Verständnis im Bereich Elektrizität signifikant verbessert ( $p < 0,01^{34}$ ). Die gemessene Effektstärke zeigt einen deutlichen Lernzuwachs der Studierenden, die den Versuch bearbeitet haben ( $\omega^2 = 0,17$ ).

Die eingangs formulierte Hypothese: Studierende, die den Versuch “Kirchhoffsche Gesetze” bearbeitet haben, zeigen ein deutlich besseres konzeptionelles Verständnis als Studierende, die diesen Versuch nicht bearbeitet haben, kann demnach durch die Ergebnisse der Untersuchung bekräftigt werden. Unklar ist bisher, worauf dieser Effekt zurückzuführen ist:

- (ausschließlich) auf die zusätzliche Lernzeit oder
- auf die Konstruktion des Versuches.

Da sich falsche Vorstellungen im Allgemeinen resistent gegenüber neuen Erklärungsansätzen erweisen (z. B. [29, 31, 80, 99, 139, 168]), ist es aufgrund der hohen Effektstärke wahrscheinlich, dass die Konstruktion des Versuches einen Einfluss auf das konzeptionelle Verständnis hatte. Um hierzu nähere Hinweise zu erlangen, wurde im Anschluss an

<sup>34</sup>Ermittelt durch eine Varianzanalyse und dem “Mann-Whitney U-Test” .

#### 4. Untersuchungen

den Versuch eine Umfrage durchgeführt, in der die Studierenden zu den einzelnen Komponenten des Versuches befragt wurden. Die Ergebnisse der Umfrage zeigten, dass der Übungspool nicht allein den Effekt ausmachte, vielmehr kommt es auf das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten des Versuchs an. Dies unterstützt eine Überlegung von Leutner [93, S. 267]:

*[...] da ein Medium (...) selbst in aller Regel keine positiven oder negativen Effekte hat, sondern (nur) die Unterrichts- oder Ausbildungseinheit, innerhalb derer das jeweilige Medium als Bestandteil einer spezifischen instruktionalen Intervention eingesetzt wird.*

Der Versuch muss daher bewertet werden vor dem Hintergrund der verschiedenen Komponenten aus E-Learning-Elementen und Präsenz-Elementen.

Die Analyse der Umfrage ergibt, dass die Stärken der Versuchsunterlagen, des Übungspools und des Kolloquiums darin liegen, eine Aufmerksamkeit zu schaffen für das Erkennen eigener falscher Vorstellungen. Diese Aufmerksamkeit scheint eine wichtige Voraussetzung dafür zu sein, dass Fehlvorstellungen erkannt und behoben werden können.

Im Hinblick auf die theoretischen Grundlagen (vgl. Kapitel 1.3.1) könnte man auch begründen, dass eine erhöhte Aufmerksamkeit verhindert, dass "achtlos" neue Informationen in das bestehende Netzwerk integriert werden. Die Bearbeitung des Übungspool und der Versuchsunterlagen führt demnach dazu, dass das ganze Netzwerk überdacht wird. Dabei ist es sicherlich von Nutzen, dass in dieser Phase durch die E-Learning Elemente keine direkte Bewertung der Leistungen erfolgt und zudem viele Aufgaben mit unmittelbarem Feedback zur Verfügung stehen.

Dieses Vorgehen setzt jedoch eine hohe metakognitive Fähigkeit voraus (vgl. Abschnitt 4.3), mit der eigenes Lernen reflektiert wird und die zu selbstreguliertem Lernen führt [49]. Die Ausschnitte aus den Antworten der Studierenden zeigen, dass dieser Prozess bei den Studierenden stattgefunden hat.

Das reale Experiment und die Diskussionen im Kolloquium und zwischen den Studierenden sind ebenso unverzichtbar. Sie sind ein wichtiger Schritt zum Aufbau von neuen Vorstellungen, indem sie auf der einen Seite überzeugen, dass die alten Vorstellungen falsch sind und auf der anderen Seite dazu auffordern, neue Erklärungsansätze zu bilden. Indem verschiedene Situationen durchgespielt und diskutiert werden, kann so das (ganze) Wissensnetzwerk verändert werden.

Die Motivation der Studierenden, die als eine wichtige Voraussetzung gilt, war sehr hoch. Dies zeigt die Umfrage, die bestätigt, dass die Studierenden die Bearbeitung des Versuches als bedeutsam für ihr Berufsziel wahrgenommen haben (vgl. Tabelle 4.24).

#### 4. Untersuchungen

Offen bleibt in dieser Untersuchung die Rolle der Vorlesung. Die Vorlesung vermittelt in erster Linie Faktenwissen, welches eine Grundlage für die Erkennung falscher Vorstellungen ist. Die Kirchhoffschen Gesetze sowie falsche Vorstellungen hierzu werden auch am Rande der Vorlesung erläutert. Die Vorlesung alleine zeigt wenig Effekt bei der Entwicklung des konzeptionellen Verständnisses, hingegen zeigt eine Kombination aus Vorlesung und praktischen Übungen einen besseren Erfolg was wiederum im Einklang steht mit den Ergebnissen verschiedener Untersuchungen [43, 80].

Der Versuch “Die Kirchhoffschen Gesetze” konnte in die bestehenden erneuerten Rahmenbedingungen der experimentellen Übungen sinnvoll und problemlos integriert werden. Dabei hat sich gezeigt, dass die Verbindung von E-Learning und Präsenz-Elementen eine Bereicherung bei der Diskussion von Vorstellungen zu naturwissenschaftlichen Phänomenen sein kann. Um abschließend den Einfluss der zusätzlichen Lernzeit auf den gemessenen Effekt zu klären, sollte sich in zukünftigen Untersuchungen die Kontrollgruppe mit dem Thema “Kirchhoffsche Gesetze” im gleichen zeitlichen Umfang beschäftigen, jedoch in einem Versuch ohne E-Learning-Komponenten.

## 4.4. Verbindung von realen Experimenten und Computersimulationen

Viele Vorstellungen, die Lernende bereits mitbringen, sind durch Erfahrungen aus dem Alltag entstanden (vgl. Kapitel 1.3.6). Obwohl dieses Wissen dem Lernenden nicht zwingend bewusst sein muss, bildet es die Grundlage für die Interpretation aller neuen Erfahrungen [64]. Bedenkt man jedoch, dass wir alle in der gleichen physikalischen Umwelt unsere Erfahrungen machen und bereits gemacht haben, ist es nicht verwunderlich, dass unabhängig vom Alter und vom Kulturkreis (vgl. [12]) häufig ähnliche falsche Vorstellungen existieren. Selbst Vorstellungen von Wissenschaftlern vergangener Zeit sind oftmals kongruent mit gängigen falschen Vorstellungen aus heutiger Sicht. Eine bekannte Vorstellung mit historischem Ursprung ist die Vorstellung vom “Impetus”. Hintergrund der Impetustheorie ist die Auffassung, dass die Kraft als eine Eigenschaft eines Körpers angesehen wird, die die Bewegung des Körpers stets aufrechterhält. Wirft zum Beispiel ein Werfer einen Ball, so erhält der Ball in dieser Vorstellung einen Impetus, eine Kraft, die den Ball zwingt, sich weiterhin in die vom Werfer vorgegebene Richtung zu bewegen [99]. Diese Vorstellung stimmt jedoch nicht mit der wissenschaftlichen Sicht überein, die Kraft als eine Wechselwirkungsgröße versteht.

Bei der Korrektur dieser Vorstellungen erscheint es ratsam, sich mit der Ursache der falschen Vorstellung auseinanderzusetzen, um hieraus die Konsequenzen zur Unterstützung des Konzeptwechsels bei den Studierenden zu ziehen [140, S. 81]. Dieses methodische Vorgehen ist zum Beispiel auch in der Psychologie bekannt: Dort geht der Therapie<sup>35</sup> stets die Ätiologie<sup>36</sup> voraus. Wenngleich falsche Vorstellungen keine Krankheiten sind und auch nicht als solche aufgefasst werden sollten, so kann die Methodik, die zunächst die Suche nach der Ursache in den Vordergrund stellt, erfolgversprechend sein.

Konkreter bedeutet dies für das Zusammenspiel von Ursache und Korrektur falscher Vorstellungen zum Beispiel (vgl. [140, 77]):

- Entsteht die falsche Vorstellung aufgrund von Wissenslücken, dann sollten diese Lücken geschlossen werden.
- Kommen die falschen Vorstellungen zustande, weil der Lernende neue Beobachtungen nicht (geeignet) mit seinem bisherigen Wissen in Übereinstimmung bringt, dann kann es ratsam sein, die metakognitiven Fähigkeiten des Lernenden zu fördern.
- Entstehen falsche Vorstellungen dadurch, dass die Alltagserfahrungen nicht mit den wissenschaftlichen Erfahrungen übereinstimmen, dann sollte der Lernende unterstützt werden zwischen verschiedenen Kontexten zu unterscheiden, um zu erken-

---

<sup>35</sup>Heilbehandlung

<sup>36</sup>Lehre von der Ursache der Krankheit

nen, welches erworbene Wissen in welchem Kontext sinnvoll ist.

- Kann eine falsche Vorstellung auf eine fehlende oder gar falsche Wahrnehmung der Umgebung zurückgeführt werden, dann sollte man versuchen, Wege zu finden, wie man die Wahrnehmung verändern kann.

Vor einem anderen Hintergrund wird hier erneut, wie im Kapitel 1.3, die Bedeutung der vorhandenen Wissensstrukturen für den Wissenserwerb betont. Die Kunst besteht demnach darin, in Lernsituationen das richtige Vorwissen der Lernenden zu aktivieren und gegebenenfalls umzustrukturieren, um neues Wissen zu erwerben und richtig in die vorhandenen Wissensstrukturen zu integrieren.

Anhand von verschiedenen Vorstellungen zu Wurfbewegungen und Kräften sollen die vorangestellten Ideen vertieft werden.

### **Falsche Vorstellungen zu Wurfbewegungen und dessen mögliche Ursachen**

Meist gibt es zu einem physikalischen Themengebiet nicht unbegrenzt viele falsche Vorstellungen, stattdessen lassen sich die falschen Vorstellungen meist auf eine Handvoll häufig vorkommender Vorstellungen reduzieren [151]. Im Rahmen einer Untersuchung bei Lehramtsstudierenden, die Physik für das Grund-, Haupt-, Realschullehramt oder das Lehramt für sonderpädagogische Förderung studierten, sind die folgenden Fehlvorstellungen aufgetreten (vgl. [77]):

**Die Beschleunigung verhält sich proportional zur Geschwindigkeit:** Häufig wird zwischen den physikalischen Begriffen Geschwindigkeit und Beschleunigung nicht unterschieden. Dies trifft sowohl auf den Betrag (erhöht sich die Geschwindigkeit, dann zwangsläufig auch die Beschleunigung) als auch auf die Richtung (verändert die Geschwindigkeit ihre Richtung, dann zwangsläufig auch die Beschleunigung) zu.

**Kraft wirkt immer in Richtung der Geschwindigkeit:** Die Kraft wird als die Ursache der Geschwindigkeit angesehen. Damit eine Geschwindigkeit aufrechterhalten werden kann, muss ständig eine Kraft in Richtung der Geschwindigkeit wirken. Nähere Erklärungen hierzu folgen am Beispiel des schiefen Wurfes.

#### **Falsche Vorstellungen speziell beim “Schiefen Wurf”:**

*Kräfte beim schiefen Wurf:* Die Abbildung 4.8 zeigt die typischen Vorstellungen der Studierenden bezüglich der Kräfte, die auf einen Ball während des Fluges wirken.

Die Lösungsvariante A stellt die richtige Lösung<sup>37</sup> dar. Die falschen Lösungen B und C zeigen neben einer konstanten Gravitationskraft noch mindestens eine weitere Kraft.

---

<sup>37</sup>Die Kraft durch die Luftreibung wurde nicht berücksichtigt, jedoch in den Argumentationen der Studierenden angeführt.

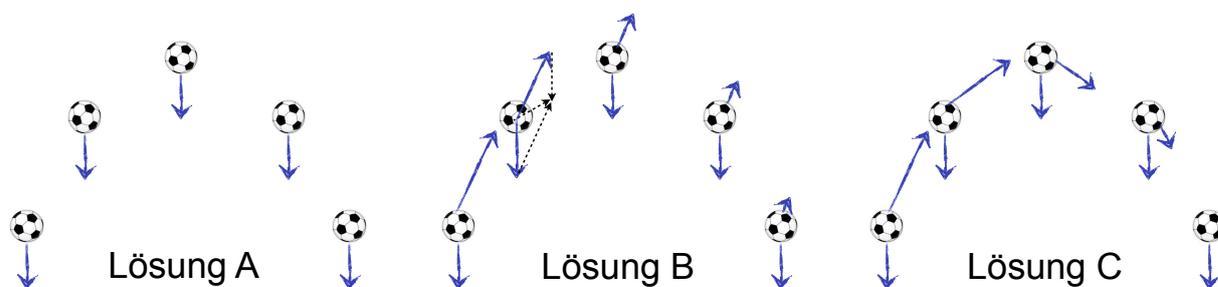


Abbildung 4.8.: Angaben der Studierenden über Kräfte, die beim schiefen Wurf wirken.

Dabei wurde bei der **Lösungsvarianten B** die zusätzliche Kraft so eingezeichnet, dass die resultierende Kraft aus den beiden eingezeichneten Kräften immer in Bewegungsrichtung des Balles zeigt. Eine Analyse der Antworten der Studierenden zeigte, dass diese zusätzliche Kraft als eine Art “Wurfkraft” verstanden wurde, die der Ball beim Abwerfen erfuhr und sich im Laufe des Fluges zunehmend verbrauchte. Die Richtung der “Wurfkraft” entsprach dabei stets der Abwurfrichtung des Balles.

Die Ursache dieser falschen Vorstellung ist vermutlich darin zu suchen, dass die Studierenden durch ihre Alltagserfahrungen gewohnt sind von Systemen auszugehen, die von Reibung dominiert sind. Eine beispielhafte Alltagserfahrung wäre das Ziehen zweier Personen an einem schweren Gegenstand (zum Beispiel einer Kiste) über einen Teppichboden. Die Bewegungsrichtung des Gegenstandes zeigt aufgrund der hohen Reibung hier tatsächlich immer in Richtung der resultierenden Kraft durch die Personen. Die Anfangsgeschwindigkeit des Gegenstands kann dann vernachlässigt werden.

Bei der **Lösungsvariante C** wurde neben der Gravitationskraft (senkrecht nach unten) eine Kraft in Bewegungsrichtung des Balles eingezeichnet. Die Gravitationskraft wurde als konstant dargestellt, hingegen verändert die Kraft in Bewegungsrichtung ihren Betrag. Die Analyse der Studierendenantworten deutete auf die Vorstellung hin, dass dem Ball beim Abwurf eine Kraft mitgegeben wurde, die zunehmend verbraucht wurde. Erst, wenn die Gravitationskraft größer ist als die “Wurfkraft”, fällt der Ball nach unten. Diese Vorstellung gleicht sehr der mittelalterlichen Impetustheorie.

Die Entstehung dieser Fehlvorstellung kann dadurch erklärt werden, dass der Begriff „Kraft“ häufig nicht von dem Begriff „Impuls“ differenziert wird. Kraft gilt im alltäglichen Verständnis als eine Eigenschaft eines Körpers: „Jemand hat Kraft“, nicht jedoch als Wechselwirkungsgröße. Vielfach findet man sogar Alltagskonzepte von Kraft, die eher dem physikalischen Begriff des Impulses als dem physikalischen Begriff der Kraft entsprechen. Als alternative Erklärung wäre auch denkbar, dass sich diese falsche Vorstellung aus der Wahrnehmung heraus entwickelt hat. Im nächsten Abschnitt wird diese Theorie genauer ausgeführt.

## 4. Untersuchungen

### *Darstellung des schiefen Wurfs:*

Viele Studierende zeichneten eine Flugbahn, die deutlich von der Form einer Parabel abwich. Stattdessen wurde eine Flugbahn gezeichnet, wie sie in Abbildung 4.9 dargestellt ist.

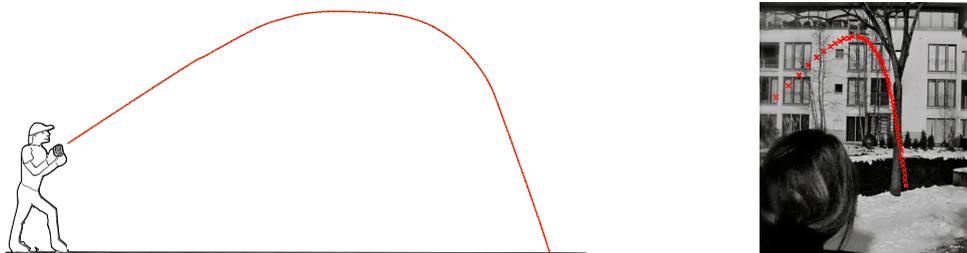


Abbildung 4.9.: Links: Zeichnung eines Studierenden.

Rechts: Aufnahme einer Wurfbahn aus der Perspektive des Werfers.

Die Flugbahn zeichnet sich durch drei Phasen aus. In der Tabelle 4.25 werden die drei Phasen der Flugbahn den Ideen [99] der Impetustheorie gegenübergestellt. Die Übereinstimmungen zwischen den Zeichnungen der Studierenden und den Erklärungen der mittelalterlichen Theorie sind prägnant.

Verlauf der Flugbahn	Erklärung aus der Impetustheorie
1. Phase: Die Flugbahn verläuft geradlinig.	In der ersten Phase bewegt sich das Geschoss geradlinig. Der Impetus, den das Geschoss durch den Abschuss erhält, ist größer als der Impetus durch seine natürliche Schwere.
2. Phase: Das Flugobjekt bewegt sich auf einer gekrümmten Bahn.	Mit dem Verschwinden des Impetus in Abschussrichtung steigt der Einfluss durch die Schwere des Geschosses. Das Geschoss folgt nun einer gekrümmten Flugbahn.
3. Phase: Das Flugobjekt bewegt sich relativ steil nach unten.	In der letzten Phase ist der Impetus in Abwurfrichtung vollständig verbraucht, das Geschoss fällt nun senkrecht nach unten.

Tabelle 4.25.: Gegenüberstellung der Zeichnung der Studierenden und der Ideen der Impetustheorie.

Betrachtet man die Flugbahn eines Balles aus der Perspektive des Werfers mit einer Hochgeschwindigkeitskamera (Abbildung 4.9), dann stellt man auch hier eine Gemeinsamkeit mit den beschriebenen 3 Phasen aus der Zeichnung der Studierenden beziehungsweise der Impetustheorie fest. Deutlich wird, dass die angenommene Parabelbahn nur dann zu erkennen ist, wenn der Betrachter genau senkrecht auf die Flugbahn des Balles blickt.

#### 4. Untersuchungen

Aus allen anderen Perspektiven erhält man eine mehr oder weniger verzerrte Flugbahn. Da jedoch die meisten Alltagserfahrungen nicht auf Beobachtungen senkrecht zur Flugbahn beruhen, ist es kaum verwunderlich, dass neben der Parabelform häufig andere Flugbahnen angenommen werden. Demnach kann eine mögliche Ursache für die Impetusstheorie in der perspektivischen Wahrnehmung von Bewegungsobjekten liegen. Neben der perspektivischen Verzerrung ist eine Abweichung der Parabelbahn auch durch die Berücksichtigung des Luftwiderstandes erklärbar. Die Auswirkungen des Luftwiderstandes auf die Flugbahn des Balles wäre jedoch in diesem Fall übertrieben dargestellt.

Die hier beschriebenen falschen Vorstellungen konnten in anderen Untersuchungen sowohl bei Schülern und Schülerinnen [42, 27, 166, 168] als auch bei Erwachsenen [66, 27, 165] beobachtet werden. Selbst bei Physik-Lehramtsstudierenden sind diese Vorstellungen nicht ungewöhnlich. Eine Untersuchung an der Universität Haifa konnte bei den Studierenden ähnliche Vorstellungen feststellen. Dabei wurde belegt, dass 44% der Studierenden im ersten Studienjahr und immer noch 36% der Studierenden im 4. Studienjahr eine Vorstellung von Wurfbewegungen regelmäßig verwenden, die an die mittelalterliche Impetustheorie erinnert [159]. Falsche Vorstellungen zu Wurfbewegungen kommen demnach unabhängig vom Alter des Lernenden vor. Dies kann als Indiz dafür gedeutet werden, dass weder Wissenslücken noch der Grad der kognitiven Entwicklung ursächlich sein können für die Entstehung und Resistenz der falschen Vorstellung.

Eine Untersuchung, bei der die Vorstellungen zu Wurfbewegungen bei Kindern und Erwachsenen aus Trobriand<sup>38</sup> und Berlin miteinander verglichen wurden [12, Kapitel 8.3], zeigte sehr ähnliche Vorstellungen: Die Wurfbewegung wurde in den überwiegenden Fällen in verschiedene Teile gegliedert, wobei die Wurfbewegung (Ball bewegt sich geradlinig in Wurfrichtung) von der Fallbewegung (Ball bewegt sich senkrecht nach unten) getrennt wurde. Diese Ergebnisse legen wiederum nahe, dass falsche Vorstellungen zu Wurfbewegungen sich nicht aus der Kultur heraus (z. B. durch die Sprache) entwickelt haben. Die Entstehung der falschen Vorstellung aus der Wahrnehmung der Umwelt heraus scheint daher plausibel.

#### **Zusammenfassung der möglichen Entstehungsursachen falscher Vorstellungen beim schiefen Wurf**

- Die physikalischen Begriffe werden nicht ausreichend verstanden und dann unreflektiert auf eine Problemstellung angewendet.
- Prinzipien und Heuristiken, die sich im Alltag bewährt haben, werden häufig unbeachtet der Rahmenbedingungen auf andere Situationen verallgemeinert.
- Die Wahrnehmung von Bewegungen beeinflusst das Verständnis von Bewegungsabläufen.

---

<sup>38</sup>Trobriand ist eine Inselgruppe im Südpazifik

### 4.4.1. Entwicklung des Versuchs “Der schiefe Wurf”

Aufbauend auf die vorangestellte Analyse der Ursachen der falschen Vorstellungen zu Wurfbewegungen wurde nun ein Versuch zum “Schiefen Wurf” entwickelt.<sup>39</sup>

Zur Klärung der fachlichen Begriffe enthalten die **Versuchsunterlagen** neben der Versuchsbeschreibung eine Erläuterung der physikalischen Begriffe Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft und Impuls. Um sicherzustellen, dass die Studierenden die physikalischen Begriffe sicher beherrschen und unterscheiden können, müssen sie hierzu elektronische Testaufgaben in ILIAS lösen.

Bei der **Versuchsdurchführung** wurde zur Erfassung der Messdaten auf Lichtschranken verzichtet zu Gunsten einer Hochgeschwindigkeitskamera<sup>40</sup>.

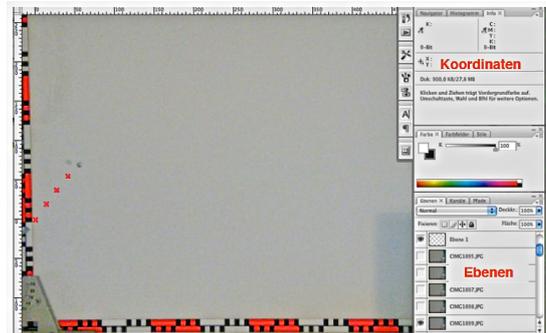
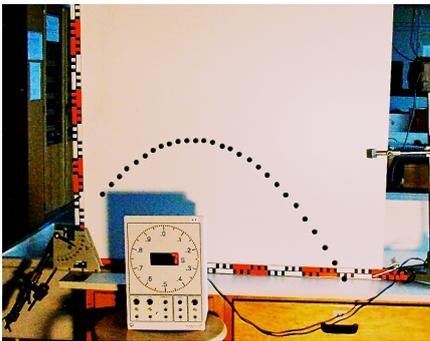


Abbildung 4.10.: Der schiefe Wurf:

Versuchsaufbau & Auswertung der Daten mit der Software “Photoshop”.

Diese hat gegenüber Lichtschranken den Vorteil, dass mehr Messwerte erfasst werden und zudem die ganze Flugbahn auf den verschiedenen Bildern sichtbar wird. Die Aufnahme mit der Hochgeschwindigkeitskamera erfolgt senkrecht zur Flugbahn der Kugel, um perspektivische Verzerrungen zu vermeiden. Auf diese Weise können die Bilder anschließend mit einem handelsüblichen Bildbearbeitungsprogramm ausgewertet werden (Abbildung 4.10). Bei der Bearbeitung der Bilder wird aus den Positionen der Kugel in je zwei nacheinander erstellten Bildern auf die Geschwindigkeit  $v_y$  der Kugel geschlossen. Trägt man diese Werte über die Zeit auf, dann erhält man eine Gerade, deren Steigung der Erdbeschleunigung entspricht. Da die Studierenden in der Regel noch nicht mit der Auswertung von Bildaufnahmen in Kontakt gekommen sind, wird in diesem Versuch auf eine automatische Auswertung der Bilder durch speziell entwickelte Programme verzichtet.

Bestimmte Variablen, die für die Entwicklung des Verständnisses bedeutsam sind, lassen sich jedoch in dem Versuch nicht variieren. Zum Beispiel kann die Flugbahn nur ausgewertet werden, wenn die Messung senkrecht zur Flugbahn erfolgt. Die Erdbeschleunigung

<sup>39</sup>Dieses Kapitel basiert auf einem Artikel von Kreiten, Bresges, Schadschneider [77].

<sup>40</sup>Die Erfassung der Daten könnte auch mit einer Kamera (z. B. Handykamera) erfolgen aber durch die geringere Anzahl von Bildern pro Sekunde würde sich die Anzahl der Messwerte verringern.

#### 4. Untersuchungen

kann in ihrer Größe nicht variiert werden. Die Luftreibung existiert zwar im Versuch, kann aber weder verändert (durch z. B. laminare bzw. turbulente Strömung) noch abgeschaltet werden. Um den Studierenden trotz der vorgegebenen Rahmenbedingungen dennoch die Gelegenheit zu geben, ihre eigenen Vorstellungen zu testen, wurde ein digitales Medium eingesetzt.

#### Entscheidung für ein digitales Medium – Entwicklung einer Simulation

Das digitale Medium soll im Rahmen der experimentellen Übungen die folgenden übergeordneten Ziele erreichen:

- Durch einen starken Bezug zur Lebenswelt soll eine Vernetzung von Alltagserfahrungen und wissenschaftlichen Konzepten erreicht werden.
- Die Simulation soll den Studierenden ermöglichen, verschiedene Variablen zu ändern. So soll erreicht werden, dass die Studierenden über verschiedene Vorstellungen diskutieren und diese voneinander abgrenzen.
- Die Studierenden sollen lernen, zu verstehen, wie falsche Vorstellungen aus der Wahrnehmung heraus entstehen können.

Aus den oben genannten Forderungen ergibt sich folgendes Anforderungsprofil:

Eigenschaften, die das Medium haben kann.	Entscheidung: Eigenschaften, die das Medium für den Versuch haben sollte.
<b>Vorzüge der Darstellung</b> Anpassung der Zeitskala / Größenskala	<b>Nein</b> , der Wurf soll realistisch wirken und einen starken lebensweltlichen Bezug bieten.
Freie Wahl des Beobachterstandpunktes	<b>Ja</b> , um die Wahrnehmungsverzerrung zu thematisieren
<b>Variation der Komplexität</b> Anpassung der Komplexität	<b>Ja</b> , z.B. Einfluss der Luftreibung soll ein- und ausgeschaltet werden können.
<b>Diskretes numerisches Modell</b> Veränderbare Parameter	<b>Ja</b> , zur Veränderung der Rahmenbedingungen (Erdbeschleunigung und Luftreibung)
<b>Sonstige Anforderungen</b> Effizienter Einsatz	<b>Ja</b> , zum Einsatz als tutorielle Komponente für Studierende im Praktikum

Tabelle 4.26.: Anforderungen an das digitale Medium.

Die in der Tabelle 4.26 genannten Anforderungen werden am besten durch eine Computersimulation mit einem diskreten numerischen Modell (vgl. Vorteile von Simulationen 146) abgedeckt: Denn ein Film kann zwar eine realistische Darstellung und einen starken lebensweltlichen Bezug liefern, nicht jedoch die zwingend erforderliche freie Wahl des Beobachterstandpunktes und die Variation der Parameter zur Veränderung der Rahmen-

#### 4. Untersuchungen

bedingungen. Bei einem interaktiven Bildschirmexperiment ist eine Parametervariation bei nicht zu vielen Parametern möglich, aber die freie Wahl des Beobachterstandortes verbietet sich bereits durch das hohe Datenaufkommen der notwendigen Bildserien.

Um Effekte, die durch die Wahrnehmung entstehen, zu diskutieren ist es notwendig, dass die Simulation ein möglichst realistisches Abbild der Wirklichkeit wiedergibt. Nur auf diese Weise kann eine Wahrnehmung von Entfernungen und damit eine Abschätzung von Geschwindigkeiten gelingen. Solche Abschätzungen erfolgen über Hinweisreize, die aus der Auseinandersetzung mit der Umwelt entstanden sind. Einer dieser Hinweisreize ist zum Beispiel die Erfahrung, dass weiter entfernte Objekte dichter zusammenstehen als Objekte, die in unmittelbarer Nähe stehen. Auch Wissen über die Größe von Objekten, wie von Bäumen und Häusern, kann helfen, Entfernungen zu bestimmen [2, S. 56-57].

Die konkrete Entwicklung der Simulation wurde über die kostenlose Spiele-Engine “Unity3d” [163] realisiert. Die 3d-Engine ermöglicht eine einfache Gestaltung von Umgebungen, in der bereits viele Objekte vorhanden sind. Die Eigenschaften der Objekte, deren Interaktionen untereinander sowie die Steuerung über die Benutzeroberfläche können durch Skripts<sup>41</sup> festgelegt werden. Ein Überblick über die Benutzeroberfläche mit einem Beispiel-Skript kann im Artikel “Möglichkeiten von interaktiven 3d-Simulationen zur Unterstützung von Versuchen im physikalischen Praktikum” [77] nachgelesen werden. Die Abbildung 4.11 zeigt Ausschnitte aus der Simulation mit verschiedenen Perspektiven bei verschiedenen Einstellungen.

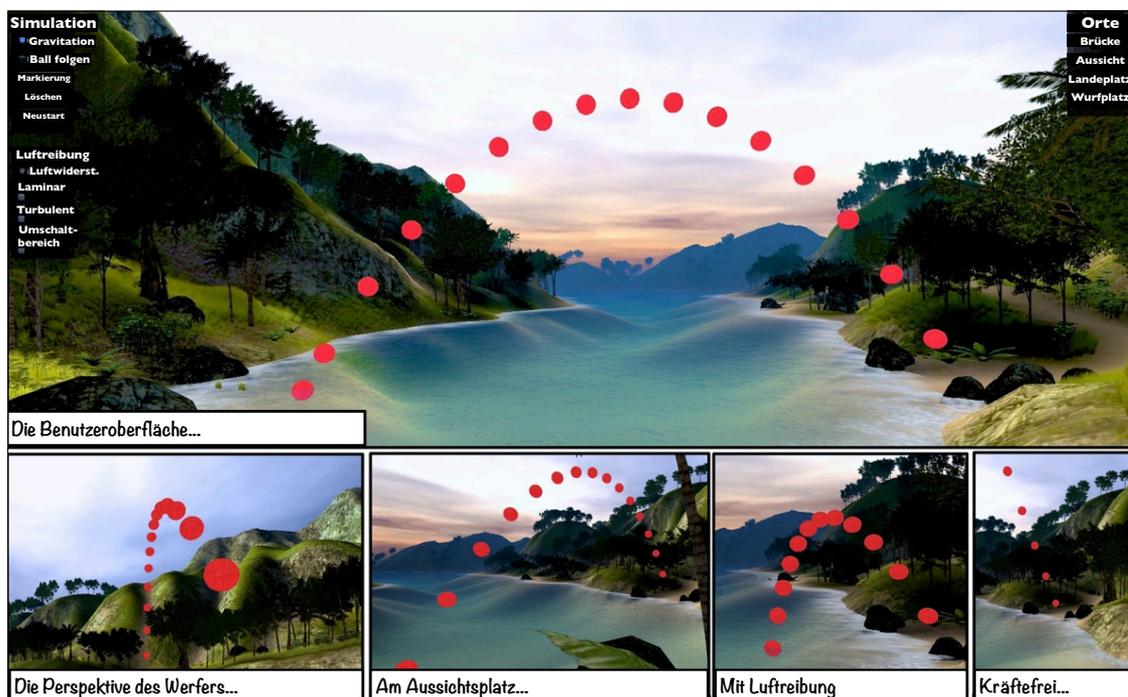


Abbildung 4.11.: Ansichten aus der Simulation zum schiefen Wurf.

<sup>41</sup>Übliche Programmiersprache ist Java-Script.

### Vorteile von Simulationen

Im naturwissenschaftlichen Unterricht bieten Simulationen eine Reihe von Vorzügen gegenüber anderen Lernmitteln (vgl. [81]). Die folgenden Erläuterungen basieren auf einem veröffentlichten Artikel von Kreiten, Bresges und Schadschneider [77].

#### **Vorzüge der Darstellung:**

Prozesse können mit variablem Zeitverhalten dargestellt werden. Der zeitliche Ablauf der Simulation kann dabei im Vergleich zur Realität so angepasst werden, dass es ohne weitere Hilfsmittel möglich ist, die Prozesse zu beobachten und zu analysieren.

Neben einer Veränderung der zeitlichen kann auch eine Variation der räumlichen Auflösung sinnvoll sein. Dies gilt für großräumige Bewegungen wie Planetenbewegungen ebenso wie für Prozesse, die sich auf kleinstem Raum abspielen, wie sie beispielsweise innerhalb der Atomhülle zu finden sind.

Simulationen ermöglichen es zudem, den Beobachtungsstandpunkt frei zu wählen. Hierdurch ist es möglich, unterschiedliche Perspektiven realistisch zu betrachten.

#### **Variation der Komplexität:**

Physikalische Zusammenhänge können in der Simulation auf ihre wesentlichen Merkmale reduziert aber auch mit Zusatzinformationen angereichert werden.

Ziel ist es hier, die Komplexität der Sachstruktur zu verringern, damit die Inhalte verständlicher werden.

Man sollte bei einer Vereinfachung jedoch stets beachten, dass die Simulation dem Benutzer noch genügend Freiräume zur spielerischen Exploration lässt, um eigene Hypothesen und Vorstellungen zu testen und gegebenenfalls zu revidieren. Jedoch können zu viele Freiräume und zu viele Zusatzinformationen auch von der eigentlichen Zielsetzung ablenken. Bei der Entwicklung der Simulation sollte also abhängig von der Zielsetzung, dem Leistungsstand und dem Alter des Benutzers eine Balance angestrebt werden.

#### **Computersimulation mit diskretem numerischen Modell:**

Bei der Erarbeitung von physikalischen Zusammenhängen durch Computersimulationen kann der Vorteil genutzt werden, dass man hier Größen verändern kann, die man im alltäglichen Umfeld nicht beeinflussen kann. Das "Ausschalten" der Reibung zum Beispiel ermöglicht, die Wirkung einer Kraft unter idealen Bedingungen zu beobachten – eine Beobachtung die hilfreich sein kann, um die Newton'schen Gesetze zu verstehen. Beim schiefen Wurf kann durch die Änderung der Erdbeschleunigung ein Ballwurf auf dem Mond simuliert werden. Die Flugbahn auf dem Mond kann dann mit der Flugbahn auf der Erde verglichen werden. Durch die Änderung der Luftreibung kann der Unterschied zwischen laminarer und turbulenter Strömung verdeutlicht werden.

#### **Organisatorische Vorteile, Sicherheitsvorteile, Effizienz:**

Simulationen sollten nie anstelle von realen Experimenten eingesetzt werden. Neben den bereits angeführten sinnvollen Einsatzbereichen gibt es aber auch Situationen, die einen Einsatz von Simulationen anstelle von Experimenten zwingend notwendig und damit sinnvoll machen. Diese sind hier kurz aufgeführt:

- Wenn das reale Experiment zu gefährlich ist: Bei Versuchen zur Radioaktivität oder bei Versuchen mit hohen elektrischen Spannungen.
- Zur Vorbereitung auf einen realen Versuch. So kann der Umgang mit Geräten (z. B.: Ozilloskop) oder Versuchsmaterialien geübt und wiederholt werden, damit der Versuch selber innerhalb einer Schulstunde durchführbar ist.
- Wenn bestimmte Versuchsgeräte zu teuer oder nicht vorhanden sind.

### Nachteile von Simulationen

**Eingeschränkte Erkenntnisgewinnung:**

Simulationen sind stets immer nur ein Abbild der Realität, denn Simulationen sind immer nur so gut, wie die Qualität des hierin enthaltenen numerischen Modells. Da eine Simulation Informationen auf Grundlage eines bestehenden Modells auswertet, kann anders als bei einem realen Experiment, nichts grundlegend Neues entdeckt werden. Bei Benutzern von Simulationen besteht jedoch die Gefahr, dass die Aussagekraft einer Simulation überschätzt wird, indem kein Abgleich mehr mit der Realität erfolgt.

**Zeitaufwändige Erstellung:**

Die Erstellung von Simulationen ist in der Regel sehr zeitaufwändig. Dies ist darin begründet, dass die relevanten Inhalte herausgearbeitet und in einer ansprechenden Weise dargestellt werden müssen.

**Einarbeitung für den Benutzer:**

Das Arbeiten mit Simulationen ist für den Benutzer immer mit einer Einarbeitungsphase und Orientierungsphase verbunden. Diese Phasen können je nach Komplexität und Darstellung der Simulation zeitlich voneinander abweichen.

Durch die Verbindung eines realen Experiments und einer Simulation werden die bisherigen E-Learning-Elemente innerhalb der experimentellen Übungen erweitert: Es wird nun nicht allein Wissen in Form von Aufgaben abgefragt, sondern die Studierenden sollen durch die Simulation stärker als zuvor die Möglichkeit haben, ihr Wissen selbst zu konstruieren. Hierzu haben sie in der Simulation die Möglichkeit, verschiedene Parameter zu verändern und erhalten ihr Feedback unmittelbar durch die Darstellung in der Simulation.

Neben der Möglichkeit, frei Parameter zu variieren, werden die Studierenden angehalten, verschiedene Beobachtungsaufgaben zu bearbeiten. Zum Beispiel:

*Schüler äußern häufig sinngemäß folgende Fehlvorstellung: "Beim Werfen steigt der Ball zunächst mit gleichbleibender Geschwindigkeit nach oben. Kurz vor dem Erreichen des höchsten Punktes bremst der Ball ab, kommt kurz zum Stillstand und fällt dann steil nach unten." Erklären Sie wie diese Schülerwahrnehmung zustande kommen könnte.*

Anders als bei den vorgestellten ILIAS-Aufgaben sind die Aufgaben zur Simulation so angelegt, dass es keine richtige oder falsche Lösung gibt. Vielmehr soll die Wahrnehmung der Studierenden durch die Bearbeitung der Aufgaben gelenkt werden.

Neben der Bearbeitung dieser Aufgaben sollen die Studierenden in der **Auswertung zum Versuch** die Erkenntnisse aus den real gewonnenen Messungen mit den Eindrücken der Simulation in Verbindung bringen. Auf diese Weise soll eine Vernetzung der Alltagserfahrungen mit den gewonnenen Erfahrungen im Versuch angestrebt werden.

### 4.4.2. Ziel und Hypothese

In dem vorangegangenen Abschnitt wurden mögliche Entstehungsursachen falscher Vorstellungen zu Wurfbewegungen erörtert. Hierauf aufbauend wurde der Versuch “Der schiefe Wurf” entwickelt. Es ist nun davon auszugehen, dass sich das Verständnis der Studierenden zu Wurfbewegungen durch die Bearbeitung des Versuches verbessert.

*Hypothese: Studierende zeigen im Anschluss an die Bearbeitung des Versuches ein **deutlich** besseres konzeptionelles Verständnis zu Wurfbewegungen als vor dem Versuch.*

Da die Studierenden sich intensiver mit den Vorstellungen zu Wurfbewegungen auseinandersetzen, ist zunächst einmal eine Verbesserung des konzeptionellen Verständnisses anzunehmen. Im Hinblick auf die Resistenz von falschen Vorstellungen z. B. [29, 80, 99, 139, 168]) ist interessant, wie groß der Effekt ist, der durch die Bearbeitung des Versuchs eintritt. Darüber hinaus soll diskutiert werden, welche Rolle Simulationen bei dem Abbau von falschen Vorstellungen einnehmen können.

### 4.4.3. Methode

#### Rahmenbedingungen

Aus organisatorischen Gründen konnte die Untersuchung nur im Sommersemester 2010 durchgeführt werden. Die Anzahl der an dieser Untersuchung teilnehmenden Physikstudierenden ist aus diesem Grund gering, was bei der Diskussion der gewonnenen Ergebnisse berücksichtigt werden muss. Ziel dieser Untersuchung ist es, einen Eindruck über die Wirksamkeit des Versuches zu erhalten.

#### Entwicklung der Materialien

Die Entwicklung und das Konzept des Versuches “Der schiefe Wurf” wurde bereits im Abschnitt 4.4.1 dargestellt. Die verwendeten ILIAS-Aufgaben entstanden auf der Grundlage des Handbuchs “Entwicklung von Aufgaben in den Naturwissenschaften” (Anhang D). Zur Messung des konzeptionellen Verständnisses zu Wurfbewegungen wurde ein Konzepttest verwendet (vgl. [77], Anhang E.6). Um ein quantitatives Maß für die Leistung der Studierenden zu erhalten, wurden die Antworten der Studierenden im Konzepttest durch die Vergabe von Punkten bewertet. Alle neun Aufgaben wurden hierzu gleich gewichtet. Bei den Aufgaben 1, 4 und 5 wurden Lösungen auch als teilweise richtig bewertet<sup>42</sup>, bei den restlichen Aufgaben wurden nur Punkte vergeben, wenn die ganze Aufgabe richtig

---

<sup>42</sup>Durch Punktabzug von der möglichen Punktzahl bei dieser Aufgabe

## 4. Untersuchungen

gelöst wurde. Es ist davon auszugehen, dass Studierende, die ein besseres Verständnis mitbringen, auch in diesem Konzepttest mehr Punkte erreichen.

### Untersuchungsdesign

Das Design der Studie ist in der Abbildung 4.12 illustriert. Da auf eine Kontrollgruppe aufgrund der geringen Studierendenzahl verzichtet werden musste, wurde ein Prä-Post-Design gewählt.

Es ist zu erwarten, dass Studierende, die im Rahmen der experimentellen Übungen den Versuch “Der schiefe Wurf” durchführten, ein besseres konzeptionelles Verständnis im Bereich Wurfbewegungen aufweisen. Diese Annahme lässt sich dadurch rechtfertigen, dass die Studierenden sich über einen längeren Zeitraum mit dem Thema auseinandersetzen sowie durch die Gestaltung des Versuchs.<sup>43</sup>

Zur Messung der Größe des Effekts durch das Treatment, wurde das konzeptionelle Verständnis zu Beginn und am Ende des Semesters gemessen. In der Zwischenzeit haben alle Studierenden innerhalb einer Woche den Versuch “Der schiefe Wurf” durchgeführt. Semesterbegleitend haben die Studierenden an verschiedenen Versuchen der experimentellen Übungen teilgenommen und die Grundlagenvorlesung “Elektrik & Optik” gehört. Da weder in der Grundlagenvorlesung noch in den übrigen Versuchen der experimentellen Übungen Wurfbewegungen thematisiert wurden, ist davon auszugehen, dass allein das Treatment einen Einfluss auf das konzeptionelle Verständnis hatte.

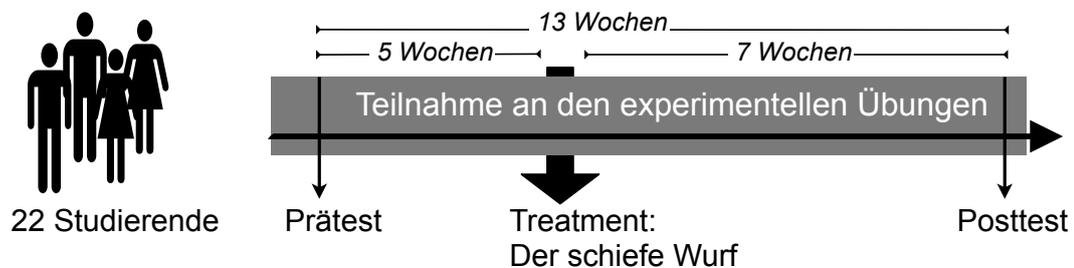


Abbildung 4.12.: Darstellung des Versuchsdesigns zum Versuch: “Der schiefe Wurf” (Sommersemester 2010).

<sup>43</sup>Denn auf Grundlage möglicher Entstehungsursachen falscher Vorstellungen (ab Seite 138) wurden gezielte Interventionen im Versuch angeboten (vgl. Kapitel 4.4.1).

### Stichprobe

An der Untersuchung im Sommersemester 2010 haben 22 Lehramtsstudierende mit dem Studienfach Physik teilgenommen<sup>44</sup>. Alle Studierenden befanden sich zum Zeitpunkt der Untersuchung am Beginn ihres Studiums: 19 Studierende waren im zweiten, 3 Studierende im dritten Fachsemester. Parallel zur Untersuchung haben die Studierenden die Grundlagenvorlesung “Elektrik & Optik ” gehört. Die für den Bereich Wurfbewegungen relevantere Grundlagenvorlesung “Mechanik & Wärmelehre” hatten alle Studierende im Wintersemester 2009/2010 gehört sowie die Prüfungen hierzu bestanden. Die in der Untersuchung vorgefundenen falschen Vorstellungen bestehen demnach selbst nach der Vorlesung und zeigen sich damit als sehr resistent.

### Datenerhebung/Organisation

Die Durchführung des Prätests fand in der ersten Semesterwoche statt, fünf Wochen später die Versuchsdurchführung und weitere sieben Wochen später der Posttest. Bezüglich ihrer Leistungen im Konzepttest haben die Studierenden während des Untersuchungszeitraumes keine Rückmeldung erhalten. Der Fragebogen wurde unmittelbar nach dem Prätest eingesammelt und die Studierenden hatten keine Möglichkeit, diesen in der Zwischenzeit einzusehen. Hinsichtlich des genauen Ablaufs der Untersuchung haben die Studierenden zu Beginn des Semesters einen detaillierten Zeitplan erhalten. Auf eine Einführung in das Learning Management System “ILIAS” wurde verzichtet, da die Studierenden bereits durch andere Veranstaltungen mit dem System vertraut waren. Die Studierenden der Versuchsgruppe wurden nach Abschluss des Posttests noch dazu befragt: *“Wie hilfreich fanden Sie die Simulation zum schiefen Wurf?”*. Die Frage wurde im Rahmen einer elektronischen Umfrage in “ILIAS” angelegt, auf diese Weise konnten die Studierenden während der Prüfungszeit den Zeitpunkt der Bearbeitung selbst festlegen.

### Auswertungsverfahren

Die Berechnung der Daten erfolgte mit dem Statistik Programm SPSS 19.

Neben einer deskriptiven Darstellung der Ergebnisse des Prä- und Posttests wurde die Signifikanz des Leistungszuwachses überprüft. Wegen der Abhängigkeit der Messdaten im Prä- und Posttest wurde hierzu ein parametrischer Test – der “t-Test für abhängige Stichproben” – und ein nicht-parametrischer Test – der “Wilcoxon-Test” – verwendet. Das Auswertungsverfahren der beiden Tests ist auf der Seite 150 und auf Seite 151 beschrieben.

---

<sup>44</sup>Studienziel: GHR/G, GHR/HR, SoPäd

#### 4. Untersuchungen

Bei der Auswertung der Umfrage wurde als minimale Analyseeinheit ein vollständiger Satz oder ein Aufzählungspunkt festgelegt, mit der das Item beantwortet wurde. Unklare oder bezüglich der Fragestellung unpassende Aussagen der Studierenden wurden nicht berücksichtigt. Bei der Kategorisierung (nach Mayering [98]) wurden zunächst einmal die Studierendenantworten gezählt, die den Einsatz der Simulation als sinnvoll/ nicht sinnvoll erachteten. In einem weiteren Schritt wurden die Argumente für und gegen den Einsatz einer Simulation kategorisiert.

##### Grundidee des t-Tests für abhängige Stichproben [22, 65, 124]

Das zugrunde liegende Prinzip des t-Tests für abhängige Stichproben ist ähnlich dem Prinzip des t-Tests für unabhängige Stichproben (vgl. S. 128). Beim t-Test für abhängige Stichproben werden aus den Messwerten jeder Versuchsperson zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten die Differenzen  $d_i$  gebildet. **Der Mittelwert der einzelnen Differenzen** bezeichnet den Stichprobenkennwert  $\bar{x}_d$  des t-Tests [124]:

$$\bar{x}_d = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N} \quad (4.6)$$

Zur Berechnung des t-Wertes benötigt man zudem noch die **Standardabweichungen der Differenzen**  $\hat{\sigma}_{\bar{x}_d}$  sowie den **Standardfehler des Mittelwertes der Differenzen**:

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}_d} = \frac{\hat{\sigma}_d}{\sqrt{N}} \quad (4.7)$$

Die Prüfgröße, der **t-Wert**, lässt sich dann bestimmen durch:

$$t_{abh.} = \frac{\bar{x}_d}{\hat{\sigma}_{\bar{x}_d}} \quad (4.8)$$

Ein Vergleich des t-Wertes mit der vom Freiheitsgrad abhängigen t-Verteilung unter Berücksichtigung eines kritischen t-Wertes erlaubt eine Aussage darüber, ob der Unterschied der Messwerte zu den beiden Messzeitpunkten signifikant ist.

Zur Bestimmung der Effektstärke wird das Effektstärkenmaß  $d_z$  verwendet, welches als ein Maß für die Standardabweichung interpretierbar ist [124, S.67].

$$d_z = \frac{|\bar{x}_d|}{\hat{\sigma}_d} \quad (4.9)$$

Alternativ wird hierzu auch häufig das Effektstärkenmaß "partielles Eta-Quadrat" angegeben, dass den Anteil der aufgeklärten Varianz auf Stichprobenebene angibt.

Nur unter den folgenden Voraussetzungen ist der t-Test für abhängige Stichproben durchführbar:

- Die Messwerte müssen Intervallskalenniveau haben.
- Die Differenzen der Messwerte müssen normalverteilt sein.

**Grundidee des Wilcoxon-Test** [22, 65, 125]

Der Wilcoxon-Test zählt zu den nicht parametrischen Tests. Angewendet werden kann dieser Test bei mindestens ordinalskalierten Daten, die abhängig voneinander sind. Das ist zum Beispiel immer dann der Fall, wenn eine Person zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten befragt wurde [125]. Bei der Verwendung des Wilcoxon-Tests interessiert, inwiefern der Unterschied zwischen den beiden Messungen signifikant ist. Zu diesem Zweck werden ähnlich dem “Mann-Whitney U-Test” (S. 82) Rangplätze betrachtet.

Zur Bestimmung der Signifikanz mit dem Wilcoxon-Test werden folgende Schritte durchgeführt [22, 65, 125]:

- Zuerst werden die Differenzen der Messwertpaare gebildet. Da es prinzipiell möglich ist, dass diese Differenz positiv oder negativ ist, wird zunächst einmal der Betrag der Paardifferenz betrachtet [22, S. 268].
- Anschließend werden die von Null verschiedenen Paardifferenzen in aufsteigender Reihenfolge geordnet. Der kleinste Wert erhält nun den Rangplatz 1, der größte den Rangplatz  $n$ . Dabei ergibt sich  $n$  aus der Anzahl der Paardifferenzen, die ungleich Null sind [65, S. 420].
- Nach der Zuordnung der Rangplätze wird jedem Rangplatz, der zu einer negativen Paardifferenz gehört, ein negatives Vorzeichen gegeben.

Unterscheiden sich die beiden Messungen nicht durch systematische Effekte, dann sollte die Anzahl positiver und negativer Paardifferenzen sowie die Summe aus den negativen und positiven Rangplätzen gleich sein [125, S. 162]. Besteht hingegen ein deutlicher Unterschied, dann ist ein systematischer Unterschied wahrscheinlich. Die Signifikanz dieses Unterschiedes kann durch einen Vergleich des kritischen  $W$ -Wertes (analoges Vorgehen wie beim “Mann-Whitney U-Test”) mit dem empirisch bestimmten  $W_{emp}$ -Wert ermittelt werden.

$$W_{emp} = |\min(\sum R_{positiv}, \sum R_{negativ})| \quad [125, S.162] \quad (4.10)$$

**4.4.4. Ergebnisse**

**Zusammenstellung der Deskriptiven Daten**

Zusammensetzung der Gruppen:

	Anzahl N	Weiblich	Männlich
Versuchsgruppe	22	8	14

Tabelle 4.27.: Vorstellungen zu Wurfbewegungen: Zusammenstellung der Gruppe.

#### 4. Untersuchungen

Erreichte Punkte im Konzepttest (in %):

	Prätest	Posttest
Mittelwert	50,31	90,99
Standardabweichung	19,40	11,50

Tabelle 4.28.: Vorstellungen zu Wurfbewegungen: Leistungen in den Konzepttests.

In dem Diagramm 4.5 sind die Ergebnisse der durchschnittlich erreichten prozentualen Punktzahl im Prätest und im Posttest dargestellt. Der Leistungszuwachs zwischen den beiden Messzeitpunkten weist auf einen deutlichen Effekt durch die Bearbeitung des Versuches hin. Während vor dem Versuch ungefähr die Hälfte der Aufgaben richtig bearbeitet wurden, wurden nach dem Versuch im Schnitt 90% der maximalen Punktzahl erreicht.

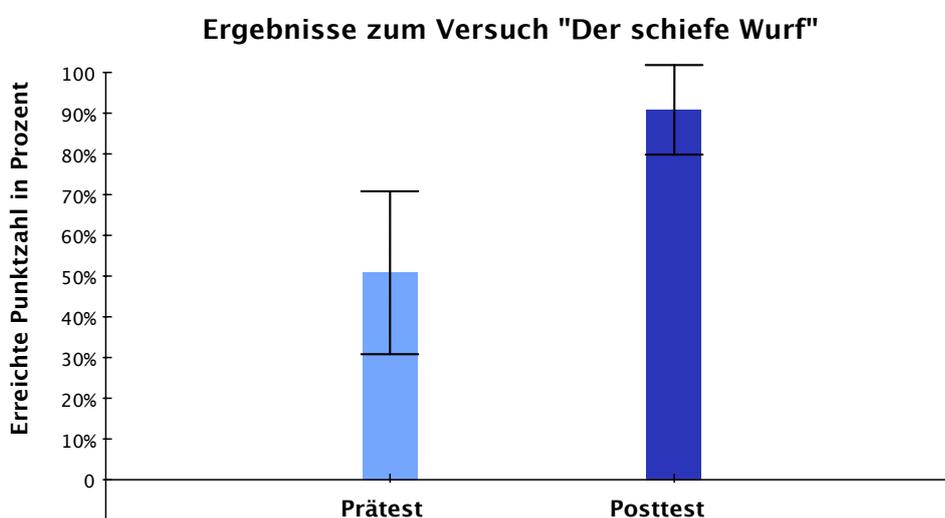


Diagramm 4.5: Darstellung der Ergebnisse des Versuchs "Der schiefe Wurf"

Da die Bedingung der Normalverteilung der Differenzen der Messwerte erfüllt war (vgl. Tabelle 5.18), konnte ein t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt werden. Dieser Test belegt den signifikanten Unterschied der Leistungen in den Konzepttests (Tabelle 4.29). Das Effektmaß Cohen's  $d$  (mit  $d_z=2,21$ ) weist auf einen sehr großen Effekt durch die Bearbeitung des Versuches hin. Auf Grundlage der vorliegenden Daten kann man auch das Effektmaß  $\eta^2$  bestimmen (vgl. [124, S. 93]) und erhält so einen Wert von  $\eta^2 = 0,837$ . Dies bedeutet, dass auf der Ebene der Stichprobe 83,7% des Unterschiedes zwischen dem Prä- und Posttest auf das Treatment zurückgeführt werden kann.

Auch durch den Wilcoxon-Test konnte bestätigt werden, dass der Unterschied zwischen den Ergebnissen der Prätests und der Posttests hoch signifikant ist ( $p < 0.01$ ). Die detaillierte Auswertung wurde im Anhang F.3 (Tabelle 5.20) dokumentiert.

**t-Test für abhängige Stichproben**

	<i>N</i>	Mittelwert der Differenzen	Standardabweichung der Differenzen	Standardfehler des Mittelwertes der Differenzen	<i>t</i>	<i>d<sub>z</sub></i>
Posttest- Prätest	22	40,68	18,38	3,92	10,38**	2,21

Tabelle 4.29.: Darstellung der Ergebnisse des t-Test zum Versuch “Der schiefe Wurf”. Die ausführliche Darstellung der Ergebnisse sind auf der Seite 232 dokumentiert.

Die Rolle der Simulation für diesen Lernerfolg wurde durch die Frage “*Wie hilfreich fanden Sie die Simulation zum schiefen Wurf?*” beleuchtet. Insgesamt haben diese Frage 20 Studierende beantwortet. Aus 18 der Studierendenantworten konnte man eindeutig entnehmen, dass sie den Einsatz dieser Simulation neben dem realen Experiment befürworteten.

Die ausgewählten Zitate geben einen Einblick in die Überlegungen der Studierenden:

*“Ich fand die Simulation sehr hilfreich, weil sie realistisch den Wurf aus verschiedenen Perspektiven zeigte.”*

*“Auf jeden Fall, da man so Sichtweisen und neue Fragestellungen bearbeiten und hinterfragen kann.”*

Nicht alle Studierenden haben ihre Überlegungen für den Einsatz der Simulation begründet. Aus den angegebenen Begründungen lassen sich drei Vorteile erschließen:

#### 1. Durch die Wahl der Perspektive

*“Ich fand die Simulation hilfreich, um zu sehen, wie die verschiedenen Perspektiven die Sicht über die Flugbahn verändern.”*

*“Ich fand die Simulation sehr anschaulich und hilfreich, um zu sehen, wie man aus unterschiedlichen Positionen einen Wurf wahrnimmt und somit die Aufteilung in vertikale und horizontale Bewegung besser erkennbar machen kann.”*

#### 2. Durch die Abbildung der Flugbahn

*“Ferner bietet die Simulation den Vorteil, dass die Flugbahn ‘festgehalten’ werden kann, so dass auch nach dem Wurf über diesen gesprochen werden kann.”*

#### 3. Möglichkeiten zur Diskussion von falschen Vorstellungen

*“Ja, wenn ich die Möglichkeit habe, würde ich den Schülern die Simulation gerne vorstellen und mit ihnen damit Fehlvorstellungen klären.”*

Die zwei Stimmen gegen den Einsatz der Simulation mit Begründung:

*“Ich fand sie weniger hilfreich, da mir die Flugbahn des Balles bereits klar war.”*

## 4. Untersuchungen

*“Die Simulation hilft bestimmt einigen Kindern, wirft aber mit Sicherheit auch Verständnisprobleme auf.”*

### Diskussion der Ergebnisse

Im Kapitel “Verbindung von realen Experimenten und Computersimulationen” wurden anhand der Thematik “Wurfbewegungen” falsche Vorstellungen von Studierenden und deren mögliche Ursachen herausgearbeitet. Dabei zeigte sich, dass weder Wissenslücken, der Grad der kognitiven Entwicklung, noch kulturelle Unterschiede allein die Ursachen der falschen Vorstellungen sein können (Kapitel 4.4). Denn auch die Wahrnehmung der Umwelt begünstigt das Entstehen dieser falschen Vorstellungen.

Zur Veränderung der Wahrnehmung wurde eine Simulation entwickelt, die es den Lernenden ermöglicht, verschiedene Parameter zu verändern.

Eingebettet wurde die Simulation in einen Versuch der experimentellen Übungen, der auf diese Weise neben den ILIAS-Aufgaben durch ein weiteres E-Learning Werkzeug ergänzt wurde. Bei der Entwicklung des Versuchs “Der schiefe Wurf” wurden mögliche Entstehungsursachen von falschen Vorstellungen berücksichtigt. Auf diese Weise sollte durch gezielte Konfrontation eine optimale Förderung des konzeptionellen Verständnisses ermöglicht werden.

Zur Evaluation des Versuches diente ein Prä-Post-Design, in dem 22 Studierende fünf Wochen vor und sieben Wochen nach dem Versuch einen Konzepttest zum schiefen Wurf bearbeitet haben. Die Ergebnisse zeigten, dass sich das konzeptionelle Verständnis der Studierenden im Bereich von “Wurfbewegungen” deutlich verbessert hatte. Hierzu muss einschränkend hinzugefügt werden, dass die auf das Thema „Wurfbewegungen“ bezogene Lernzeit der Studierenden durch den neu gestalteten Versuch verlängert wurde. Bisher kann noch nicht abschließend geklärt werden, welchen Anteil der verbesserten Ergebnisse auf die verlängerte Lernzeit, und welcher Anteil auf die eingebettete Simulation und die darauf abgestimmten e-Learning-Elemente zurückzuführen ist. Die große Effektstärke weist aber bereits darauf hin, dass die Verbesserung der Ergebnisse nicht alleine auf die Verlängerung der Lernzeit zurückzuführen ist. Dazu kommt, dass Fehlvorstellungen als sehr resistent gegenüber Veränderungen gelten. Wenn ein Konzept subjektiv als gesichert erscheint, ist auch bei längerer Auseinandersetzung mit einem Gegenstand nicht zwangsläufig mit einer Veränderung dieser Vorstellung zu rechnen. Es erscheint daher empfehlenswert, durch eine weitere Studie mit geändertem Versuchsdesign die Rolle der verschiedenen Einflussfaktoren gezielt zu überprüfen. Fest steht bereits, dass die Simulation von nahezu allen Studierenden als sinnvolle Ergänzung zum klassischen Versuch bezeichnet wurde.

Mit dieser Untersuchung sollte gezeigt werden, dass es neben den ILIAS-Aufgaben noch weitere E-Learning Elemente gibt, die Versuche sinnvoll ergänzen können, wodurch ein

#### 4. Untersuchungen

vertieftes Verständnis der Thematik angeregt werden kann. Jedoch sollte vor jedem Einsatz einer Simulation, Animation oder eines interaktiven Bildschirmexperimentes eine genaue Analyse der bestehenden Probleme vorausgehen, denn nur dann kann eine sinnvolle Integration gelingen. Wie eine Entscheidung für die Integration einer Simulation mit einem realen Experiment aussehen kann, wurde im Kapitel 4.4.1 dargelegt.

## 5. Zusammenfassung & Ausblick

Ziel dieser Arbeit war die Umgestaltung und die Evaluation der experimentellen Übungen für Lehramtsstudierende.

Eine Literaturrecherche zu Beginn dieser Arbeit hatte ergeben, dass die Lernwirksamkeit von Experimenten durch die richtige Balance zwischen konstruktiven und instruktiven Phasen und durch den Grad der kognitiven Aktivierung beim Experimentieren beeinflusst wird (vgl. Kapitel 1.1). Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurden die folgenden zwei Forschungsfragen im Bezug auf die experimentellen Übungen für Lehramtsstudierende diskutiert und Handlungsanweisungen hieraus abgeleitet:

1. Wie kann man die richtige Balance zwischen konstruktiven und instruktiven Phasen im Rahmen der experimentellen Übungen festlegen?
2. Welche Mittel/ Methoden können eine kognitive Aktivierung bei den Lernenden unterstützen?

Zur Beantwortung der ersten Frage wurden verschiedene Lerntheorien (Kapitel 1.2) und ausgewählte Bedingungen, die den Lernprozess beeinflussen können, diskutiert (Kapitel 1.3). In diesen Zusammenhang zeigte sich:

**a) Die Wahl einer geeigneten Lerntheorie wird hauptsächlich durch die Zielsetzung der Lerneinheit bestimmt.**

Die verschiedenen Lerntheorien unterscheiden sich in ihrer Haltung zum Lernprozess selbst, sowie zur Rolle des Lehrenden und des Lernenden. Dabei kann nicht verallgemeinert gesagt werden, welche Theorie die Beste ist. Denn diese Entscheidung ist abhängig von der Zielsetzung, die mit der Lerneinheit erreicht werden soll:

Soll Faktenwissen geprüft werden, dann bietet sich der behavioristische Ansatz an; die Prüfung eines konzeptionellen Verständnisses kann über den kognitivistischen Ansatz gelingen; die Problemlösefähigkeit kann mit konstruktivistischen Ansätzen gefördert werden. Mit diesen Lerntheorien eng verbunden ist dann auch die Darstellungsweise und das Anforderungsniveau der gestellten Aufgaben und der Arbeitsaufträge (Beispiele hierzu im Kapitel 3.3.2).

**b) Das Vorwissen muss bei der Gestaltung von der Lerneinheit berücksichtigt werden.**

Erkenntnisse aus der Pädagogischen Psychologie (u.a. im Rahmen der Cognitive Load Theory) (Kapitel 1.3.1 bis 1.3.5), der neuronalen Forschung (Kapitel 1.3.7) und der physikdidaktischen Forschungen (Kapitel 1.3.6) weisen gemeinsam auf die enorme Bedeutung des Vorwissens für den Lernerfolg hin. Dabei unterscheiden sich natürlich die Argumentationen der verschiedenen Fachgebiete, die zu dieser gemeinsamen Erkenntnis führen:

Die Theorie der kognitiven Belastung (CLT) beschreibt, dass das Arbeitsgedächtnis nur eine sehr begrenzte Anzahl von neuen Informationen aufnehmen kann. Diese Begrenzungen gelten aber nicht für das (Vor-)Wissen, das bereits im Langzeitgedächtnis gespeichert ist. Die bereits gelernten Informationen bewirken, dass die Aufmerksamkeit auf bestimmte Inhalte gelenkt wird, und dass das neue Wissen einfacher gelernt werden kann.

Die Bedeutung des Vorwissens aus Sicht der neuronalen Forschung ergibt sich aus der Vernetzung von Informationen im Gehirn. Die im Gehirn vernetzten und somit gelernten Informationen und Handlungsweisen können leicht aktiviert werden. Eine Erklärung hierfür bietet die Hebb'sche Lernregel.

In der fachdidaktischen Forschung weist unter anderem die Resistenz von falschen Vorstellungen auf die Bedeutung des Vorwissens hin. So konnten verschiedene Untersuchungen belegen, dass bereits gemachte Erfahrungen (u.a. aus dem Alltag) die Verarbeitung von neuen physikalischen Inhalten beeinflussen.

Eine Einbeziehung dieser unterschiedlichen Überlegungen erlaubt eine Aussage über die Festlegung der richtigen Balance zwischen konstruktiven und instruktiven Phasen beim Experimentieren. Beide Aspekte, die Zielsetzungen und das Vorwissen der Lernenden, müssen hierbei berücksichtigt werden. Deutlich wird dieser Zusammenhang beispielsweise bei der Formulierung von Aufgaben: Je nach vorhandenem themenspezifischen Vorwissen kann mit einer bestimmten Aufgabe Faktenwissen überprüft werden. Bringt der Lernende jedoch wenig themenspezifisches Vorwissen mit, macht die Bearbeitung der Aufgabe es notwendig, dass bestehendes Wissen aus anderen Bereiche in den Kontext der Aufgabenstellung übertragen oder das Wissen völlig neu erworben werden muss. Der Schwierigkeitsgrad und damit verbunden die Zielsetzung einer bestimmten Aufgabe können deshalb je nach Vorwissen der Lerngruppe unterschiedlich sein.

Diese Erkenntnis sowie Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen deuten auf folgende sinnvolle Verteilung der Gewichtung von konstruktiven und instruktiven Phasen hin (vgl. Kapitel 1.3.8): Besteht wenig beziehungsweise sehr heterogenes Vorwissen in einer Lerngruppe, so sollte eine stärker gelenkte, instruktive Lehrmethode verwendet werden. Offener, konstruktivere Lernmethoden bieten sich hingegen dann an, wenn die Lernenden bereits themenspezifisches Vorwissen mitbringen und ausreichend (Lern-)Zeit zu Verfügung steht.

Vor diesem Hintergrund wurden bei der Umgestaltung der experimentellen Übungen (Kapitel 2) zunächst die Rahmenbedingungen (Kapitel 2.1), die Probleme im bestehenden System (Kapitel 2.2), die Lernvoraussetzungen der Studierenden (Kapitel 2.3) und die Zielsetzung der experimentellen Übungen (Kapitel 2.4) evaluiert. Die herausgearbeiteten Probleme (Kapitel 2.5) umfassten:

- mangelnde Klarheit der Anforderungen,
- fachliche Probleme bei den Studierenden,
- geringes Vorwissen der Studierenden,
- fehlende Umsetzung von lehramtsspezifischen Zielen in den experimentellen Übungen.

Hieran anschließend wurde, angelehnt an das Modell der vollständigen Handlung (vgl. Abbildung 3.1, S. 47), die Umgestaltung der experimentellen Übungen in folgenden Schritten realisiert: Formulierung von Zielsetzungen (Kapitel 3.1), Sammlung und Entscheidung für Lösungsstrategien (Kapitel 3.2), Umsetzung der Lösungsstrategien (Kapitel 3.3) und Evaluation der nun umgestalteten Veranstaltung (Kapitel 3.4).

Im Hinblick auf die herausgearbeiteten Probleme wurde die Verwendung von textbegleitenden Aufgaben zu den Versuchsunterlagen diskutiert: Textbegleitende Aufgaben tragen gerade wegen ihrer kognitiv aktivierenden Funktion einen Beitrag zur Lösung der Probleme bei (vgl. Kapitel 3.2.1).

- Durch die Formulierung der Aufgaben werden die Anforderungen transparent.
- Die Aufmerksamkeit kann auf bestimmte Inhalte gelenkt werden.
- Relevantes, themenspezifisches Vorwissen wird aktiviert.
- Lern- und Denkprozesse können angeregt werden.
- Aufgaben können anregen, Wissen weiterzuverarbeiten.
- Aufgaben können helfen, Wissen zu testen  
(zur: Selbstüberprüfung oder Lernstandsüberprüfung).

Die Umsetzung von *elektronischen* textbegleitenden Aufgaben bietet zusätzlich den Vorteil, dass bei Aufgaben im gebundenen Antwortformat die Antworten automatisch ausgewertet und in Statistiken aufgearbeitet werden (vgl. Kapitel 3.2.2).

Hinsichtlich des geringen Vorwissens der Studierenden fiel die Entscheidung für den Einsatz textbegleitender Aufgaben. Die Aufgaben wurden auf Grundlage der Versuchsun-

terlagen entwickelt und sollten den Studierenden Hilfestellungen bei der Vorbereitung auf die Versuche geben. Da überwiegend Faktenwissen und einfaches Anwendungswissen erfragt wurden, konnten die textbegleitenden Aufgaben elektronisch realisiert werden. Für die Konzeption der elektronischen Aufgaben wurde ein Handbuch verfasst (Kapitel 3.3.3, Anhang D), in dem verschiedene Methoden zur Entwicklung von Aufgaben dargestellt werden. Jeder Studierende musste die textbegleitenden Aufgaben vor der Versuchsdurchführung verpflichtend mit einer festgelegten Mindestpunktzahl bearbeiten. Auf diese Weise wurde angeregt, dass die Studierenden sich vertieft mit den fachlichen Inhalten des Versuches auseinandersetzen. Unmittelbar nach der Bearbeitung der Aufgaben erhielten die Studierenden eine Rückmeldung über ihre Leistungen. Durch eine Einsicht in die Teststatistiken konnten die Lehrenden zudem mögliche Lernschwierigkeiten der Studierenden frühzeitig erkennen und geeignet hierauf reagieren (vgl. Kapitel 3.3.4).

Die Befragung der Studierenden nach der Umgestaltung der experimentellen Übungen bestätigte eine deutliche Verbesserung gegenüber der vorherigen Struktur (Kapitel 3.4). Dabei zeigte sich unter anderem, dass das Hauptproblem “unklare Anforderungen” durch die Verwendung von ILIAS-Aufgaben beseitigt werden konnte.

Zur weiteren Evaluation der umgestalteten experimentellen Übungen wurden drei Untersuchungsschwerpunkte gewählt.

Im **ersten Untersuchungsschwerpunkt** wurde in einer Vorstudie (Kapitel 4.1) und einer Hauptstudie (Kapitel 4.2) die Hypothese geprüft: *Studierende, die neben den Versuchsunterlagen verbindlich dazu aufgefordert werden, textbegleitende Aufgaben zu bearbeiten sind besser vorbereitet, als Studierende, die nur die Versuchsunterlagen bearbeiten.* Aufgrund der theoretischen Überlegungen ist davon auszugehen, dass die textbegleitenden Aufgaben Denkprozesse motivieren und so zu besseren Leistungen führen. In einer Vorstudie wurde diese Hypothese geprüft und konnte bei 3 von 4 Versuchen signifikant bestätigt werden. Im Jahr 2011 fand eine Hauptstudie statt, in der 4 physikalische Themengebiete mit je 5 Versuchen berücksichtigt wurden. Auch hier wurde die Wirksamkeit von textbegleitenden Aufgaben in 3 von 4 Themengebieten bestätigt. Die Effektstärken belegten einen großen Effekt durch die Bearbeitung von textbegleitenden Aufgaben in den Bereichen Mechanik, Wärmelehre und Elektrik. Im Bereich Optik waren die Studierenden mit ILIAS-Aufgaben den Studierenden ohne ILIAS-Aufgaben überlegen, der Unterschied war jedoch nicht signifikant. Aufgrund dieser Ergebnisse ist davon auszugehen, dass textbegleitende Aufgaben unabhängig von den Lerninhalten wirksam sind.

Selbst nach der Versuchsdurchführung konnte noch eine deutliche Überlegenheit der Studierenden mit ILIAS-Aufgaben gegenüber den Studierenden ohne textbegleitende Aufgaben belegt werden.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss jedoch berücksichtigt werden, dass aufgrund der Rahmenbedingungen die Anzahl der Teilnehmer gering war. Darüber hinaus konnte die Rolle des zusätzlichen Zeitaufwandes durch die Bearbeitung der Aufgaben für die

Ergebnisse dieser Untersuchung nicht abschließend geklärt werden. Dessen ungeachtet demonstrieren die hohen Effektstärken, dass textbegleitende Aufgaben ein praktikables Mittel zur kognitiven Aktivierung im Rahmen der Vorbereitung zu experimentellen Übungen sind.

Im Rahmen der **zweiten Studie** (Kapitel 4.3) wurde ein Versuch zum Abbau von falschen Vorstellungen im Bereich “Elektrische Stromkreise” erarbeitet. Die Entwicklung dieses Versuches stützt sich auf Erkenntnisse der Conceptual Change Forschung. Eingebunden in die umgestalteten experimentellen Übungen wurde der Versuch durch eine weiteres E-Learning Element, den Übungspool, erweitert. Der Übungspool beinhaltete eine Vielzahl von Aufgaben zu einfachen elektrischen Stromkreisen. Die Studierenden konnten diesen Übungspool freiwillig so oft bearbeiten wie sie wollten, wobei die Rückmeldung bezüglich der Bearbeitung der Aufgaben automatisch durch den Computer erfolgte. Durch diese Trennung zwischen Leistungsraum (textbegleitende ILIAS-Aufgaben) und Lernraum (Übungspool) sollte eine stärkere Sensibilisierung für bestehende Vorstellungen angeregt werden. Um die Wirksamkeit dieses Versuches zu untersuchen, wurde die folgende Hypothese geprüft: *Studierende, die im Rahmen der experimentellen Übungen den Versuch “Kirchhoffsche Gesetze” bearbeitet haben, zeigen ein deutlich besseres konzeptionelles Verständnis von elektrischen Stromkreisen als Studierende, die diesen Versuch nicht bearbeitet haben.*

Zur Überprüfung der Hypothese wurde das konzeptionelle Verständnis zu Beginn und am Ende des Semesters untersucht. Hierbei zeigte sich, dass der Lernzuwachs der Studierenden, die den Versuch “Die Kirchhoffschen Gesetze” durchgeführt haben, höher war als bei den Studierenden, die diesen Versuch nicht bearbeitet hatten. Der Unterschied zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe ist signifikant und die Effektstärke mit  $\omega^2 = 0,17$  hoch.

Ein Teil des Effekts ist sicherlich auf die längere zeitliche Auseinandersetzung mit dem Thema zurückzuführen. Berücksichtigt man jedoch die häufig beschriebene Resistenz von Fehlvorstellungen trotz intensiver Auseinandersetzung (z. B. [29, 80, 99, 139, 168]), so legt der große Effekt nahe, dass das Blended-Learning Arrangement aus elektronischen Aufgaben (Sensibilisierung von falschen Vorstellungen) in Verbindung mit der anschließenden Überprüfung in Experimenten (Überprüfung von Vorstellungen) einen bedeutsamen Einfluss auf das konzeptionelle Verständnis haben muss. Auch die Ergebnisse der Studierendenumfragen unterstützen diese These. Textbegleitende elektronische Aufgaben haben demnach eine kognitiv aktivierende Funktion beim Lernen von physikalischen Inhalten.

In der **dritten Studie** (Kapitel 4.4) wurde die kognitiv aktivierende Funktion von Computersimulationen in Verbindung mit realen Experimenten in den Fokus gerückt. Hierzu wurde anhand des Beispiels “Der schiefe Wurf” erörtert, unter welchen Bedingungen der Einsatz einer Simulation sinnvoll und bereichernd für den Wissenserwerb ist. Neben der Wahrnehmung, die in der Simulation beeinflusst werden kann, zeichneten sich die Stärken

von Simulationen darin ab, dass man hier Vorstellungen prüfen kann, die man in einem realen Experiment nicht untersuchen kann. Die Variation der physikalischen Größen und die Beobachtungen der damit verbundenen Folgen können jedoch sinnvoll zum Erwerb eines geeigneten Modellverständnisses sein.

Die Wirksamkeit der Verbindung eines realen Experiments mit der entsprechenden Computersimulation wurde in einem Prä-Post-Design evaluiert. Der Leistungszuwachs im Konzepttest zu Beginn und am Ende des Semesters zeigt eine deutliche Verbesserung des konzeptionellen Verständnisses durch die Bearbeitung des Versuches ( $d_z = 2,21$  bzw.  $\eta^2 = 0,837$ ). Der konkrete Anteil der Simulation für diesen Leistungszuwachs konnte in dem gegebenen Untersuchungsdesign nicht ermittelt werden. Lediglich die Synthese aus den verschiedenen Versuchselementen wurde untersucht. Zudem basiert die Untersuchung auf einer vergleichsweise kleinen Stichprobe. Es ist jedoch zu erwarten, dass dieser deutliche Effekt auch mit einer größeren Stichprobe reproduzierbar wäre.

Blended-Learning-Arrangements bieten eine Reihe von Vorzügen, die eine reine Präsenzveranstaltung nicht bieten kann. In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Studierenden durch den Einsatz von textbegleitenden Aufgaben zum vertieften Nachdenken über die fachlichen Inhalte motiviert wurden, wodurch sich das fachliche Verständnis der Materie verbesserte. Darüber hinaus wurden die Testergebnisse zur Verbesserung der Präsenzlehre, im Kolloquium und während der Versuchsdurchführung genutzt: So konnten anhand der Statistiken zu den entwickelten Aufgaben Aussagen über mögliche Verständnisschwierigkeiten bei den Studierenden getroffen werden. Die Kenntnis dieser Verständnisschwierigkeiten kann als eine Voraussetzung zur individuellen Förderung der Studierenden angesehen werden.

Der Bereich der Diagnostik und individuellen Förderung stellt auch im schulischen Kontext eine Herausforderung dar. Hierzu wurden bereits verschiedene Aufgabentypen diskutiert (z. B. [86, 87]). Die Verwendung von LMS (Learning Management System vgl. Kapitel 3.2.2) und die Möglichkeiten, die sich hieraus zur Überprüfung der erreichten Kompetenz, Diagnostik und individuellen Förderungen ergeben, bleiben bisher nahezu unberücksichtigt.

Neben textbegleitenden elektronischen Aufgaben (“ILIAS-Aufgaben”) zeigten sich auch andere E-Learning Elemente, wie elektronische Übungspools und Simulationen, als geeignet zur Unterstützung der kognitiven Auseinandersetzung mit den fachlichen Inhalten. E-Learning Elemente sind jedoch nicht per se hierfür geeignet. Voraussetzung ist die sinnvolle Verbindung des gesamten Lernarrangements aus E-Learning Elementen und fachlichen Inhalten unter Berücksichtigung der gegebenen Rahmenbedingungen.

### Ausblick

Die Umgestaltung der experimentellen Übungen unter Berücksichtigung von E-Learning Elementen diene (auch) dem Ziel, dass die Lehramtsstudierenden E-Learning als eine Chance zum selbstregulierenden Lernen wahrnehmen. Damit wird die Hoffnung verbunden, dass die zukünftigen Lehrer aufgeschlossen und motiviert sind, Learning Management Systeme (LMS) in ihrem eigenen Unterricht zu integrieren. Bislang gibt es nur sehr wenige Studien, die eine wirksame Einbettung von LMS in den Lernsituationen untersucht haben [54]. Eine der weniger Untersuchungen beschäftigte sich mit den Bedingungen der Nutzungen von Lernplattformen an Schweizer Schulen (vgl. [120]): Die Auswertung der Lernplattform-Logdaten zeigte, dass die Lernplattform vorwiegend zur Bereitstellung von Materialien und Kommunikation über Email verwendet wurde. Die Nutzung komplexerer Kommunikation (Blogs, Wikis) und Testfunktionen erfolgten nur sehr selten. Dieses ungenutzte Potenzial lässt sich zum Teil durch fehlenden Support bei der Gestaltung von Testaufgaben sowie mangelnde Erfahrung einer sinnvollen Umsetzung von E-Learning in verschiedenen Lehr- und Lernmethoden erklären. Ein Kernproblem ist dabei sicherlich die mangelnde E-Learning-Aktivität der Hochschulen im Kontext der ersten Phase der LehrerInnenausbildung [16].

Bisher werden die textbegleitenden Aufgaben nur im Grundstudium bei den “Experimentellen Übungen für Anfänger” eingesetzt. In der Veranstaltung “Experimentellen Übungen für Fortgeschrittene”, die im Hauptstudium<sup>1</sup> stattfindet, wurden keine textbegleitende Aufgaben eingesetzt. Diese bewusste Entscheidung basiert auf der Erkenntnis, dass textbegleitende Aufgaben zwar einerseits helfen, Wissen aufzubauen, indem sie Inhalte strukturieren und Aufmerksamkeit steuern, andererseits aber auch das Wissen auf die erfragten Inhalte beschränken. Da Studierende im Hauptstudium bereits über themenspezifisches Vorwissen verfügen, ist der Einsatz von stark lenkenden textbegleitenden Aufgaben weniger notwendig. Stattdessen können offenere Blended-Learning-Arrangements eingesetzt werden. Diese offeneren Formen bieten neben der Prüfung von Fachwissen auch Möglichkeiten zur Reflexion von Lernprozessen. Zurzeit wird hierzu der Einsatz von E-Portfolios diskutiert. Ein Portfolio ist eine Zusammenstellung von verschiedenen Arbeiten, die in Hinsicht auf eine bestimmte Aufgabenstellung reflektiert wurden [128]. Diese Form der Bearbeitung geht demnach über eine Zusammenfassung von Faktenwissen hinaus. Stattdessen werden ergänzend die Bereiche der “Erkenntnisgewinnung” und “Kommunikation”, die auch in die Bildungsstandards für das Fach Physik für den mittleren Schulabschluss [85] gefordert werden, stärker berücksichtigt.

---

<sup>1</sup>bzw. am Ende des Bachelorstudiengangs

# Literaturverzeichnis

- [1] AMTLICHE MITTEILUNG 44/2006: *Studienordnung für das Unterrichtsfach Physik mit dem Abschluss "Erste Staatsprüfung für das Lehramt an Grund-, Haupt- und Realschulen und den entsprechenden Jahrgangsstufen der Gesamtschule (Studienschwerpunkt Haupt-, Real- und Gesamtschule)" an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität zu Köln.* 14. Juli 2006
- [2] ANDERSON, J.R.: *Kognitive Psychologie.* Berlin, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2007
- [3] ARNOLD, P.: *Einsatz digitaler Medien in der Hochschullehre aus lerntheoretischer Sicht.* 2005. – URL <http://www.e-teaching.org/didaktik/theorie/lerntheorie/arnold.pdf>. – Zugriffsdatum: 01.01.2011
- [4] ASTLEITNER, H.: Die lernrelevante Ordnung von Aufgaben nach der Aufgabenschwierigkeit. In: THONHAUSER, J. (Hrsg.): *Aufgaben als Katalysatoren von Lernprozessen: Eine zentrale Komponente organisierten Lehrens und Lernens aus der Sicht von Lernforschung, Allgemeiner Didaktik und Fachdidaktik.* Münster: Waxmann, 2008, S. 65–80
- [5] AUFENANGER, S.: E-Learning in der Schule. Editorial. In: *Zeitschrift für E-Learning* 4 (2009), Nr. 3, S. 4–7
- [6] BACKHAUS, K. ; ERICHSON, B. ; PLINKE, W. ; WEIBER, R.: *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung.* Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2006
- [7] BADDELEY, A. D.: Working Memory. In: *American Association for Advancement of Science* 255 (1992), Nr. 5044, S. 556–559
- [8] BADDELEY, A. D.: Working memory: Looking back and looking forward. In: *Nature Reviews Neuroscience* 4 (2003), Nr. 10, S. 829–839
- [9] BANGERT-DROWNS, R. L. ; KULIK, C. C. ; KULIK, J. A. ; MORGAN, M.: The instructional effect of feedback in test-like events. In: *Review of Educational Research* 61 (1991), Summer, Nr. 2, S. 213–238

- [10] BESCHLUSS DER KULTUSMINISTERKONFERENZ: *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung.* 16.10.2008 i. d. F. vom 16.09.2010. – URL [http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2008/2008\\_10\\_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf). – Zugriffsdatum: 02/2011
- [11] BLK: BUND-LÄNDER-KOMMISSION FÜR BILDUNGSPLANUNG UND FORSCHUNGSFÖRDERUNG: *Gutachten zur Vorbereitung des Programms: Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts.* 1997 (60)
- [12] BÖDEKER, K.: *Die Entwicklung intuitiven physikalischen Denkens im Kulturvergleich.* Münster: Waxmann, 2006
- [13] BODENMANN, G. ; PERREZ, M. ; SCHÄR, M. ; TREPP, A.: *Klassische Lerntheorien: Grundlagen und Anwendungen in Erziehung und Psychotherapie.* Bern: Huber, 2004
- [14] BOOCH, G.: *Objektorientierte Analyse und Design. Mit praktischen Anwendungsbeispielen.* Bonn, Paris [u.a]: Addison-Wesley, 1995
- [15] BORTZ, J. ; DÖRING, N.: *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler.* Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2006
- [16] BREITER, A. ; WELLING, S.: E-Learning im Schulsystem als Integrationsprozess – Eine vergleichende Länderanalyse. In: *Zeitschrift für E-Learning* 4 (2009), Nr. 3, S. 8–19
- [17] BRESGES, A.: *Objektorientierte Modellbildung in der naturwissenschaftlichen und technischen Bildung: Entwurf und Erprobung eines Modellbildungskonzeptes für den Physik- und Technikunterricht.* 2002. – URL <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-5424/inhalt.htm>. – Zugriffsdatum: 01/2011
- [18] BRESGES, A. ; HOFFMANN, S.: Learning by Teaching - Ein neues, die Ausbildung von Grund-, Haupt-, und Realschullehrern integrierendes Lehr-/Lernkonzept an der Universität zu Köln. In: NORDMEIER, V. (Hrsg.) ; GRÖTZEBAUCH, H. (Hrsg.): *Didaktik der Physik – Berlin 2008.* Berlin: Lehmanns Media, 2008
- [19] BRESGES, A. ; HOFFMANN, S. ; KREITEN, M.: Test and Assesment to support cooperative Learning of Physics with Moodle-Style web applications. In: *Multimedia in Physics Teaching and Learning.* The Italian Physical Society : M. Michelini and R. Lambourne and L. Mathelitsch, 2010
- [20] BÜCHTER, A. ; LEUDERS, T.: Was ist eine gute Aufgabe? Das kommt darauf an! In: *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule* 55 (2006), Nr. 8, S. 9–15

- [21] BÜHNER, M.: *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. München: Pearson Studium, 2006
- [22] BÜHNER, M. ; ZIEGLER, M.: *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München: Pearson Verlag 2009
- [23] CHAMPAGNE, A. B. ; GUNSTONE, R. F. ; KLOPFER, L. E.: Effecting changes in cognitive structures among physics students. In: WEST, L. H. T. (Hrsg.) ; PINES, A. L. (Hrsg.): *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando: Academic Press, 1985, S. 61–90
- [24] CHI, M. T. H. ; SLOTTA, J. D. ; LEEUW, N. de: From things to Process: A theory of conceptual change for learning science concepts. In: *Learning and Instruction* 4 (1994), S. 27–43
- [25] CHOWDHURY, D. ; SCHADSCHNEIDER, A. ; NISHINARI, K.: Physics of transport and traffic phenomena in biology: from molecular motors and cells to organisms. In: *Physics of Life Reviews* 2 (2005), December, Nr. 4, S. 318–352
- [26] DEWEY, J.: *How we think*. New York: Heath, 1910
- [27] DISSA, A. A.: Unlearning Aristotelian Physics: A Study of Knowledge-Based Learning. In: *Cognitive Science* 6 (1982), Nr. 1, S. 37–75
- [28] DÖRNER, D.: *Die Logik des Misslingens - Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Hamburg: Rowohlt, 2003
- [29] DRIVER, R.: Kognitive Psychologie und begriffliche Rahmen von Schülern in Mechanik. In: *Physica didactica* 12 (1985), Nr. 2, S. 17–33
- [30] DUIT, R.: Alltagsvorstellungen berücksichtigen! In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik* 42 (1993), Nr. 6, S. 7–11
- [31] DUIT, R.: Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. In: *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik* 41 (1993), S. 4–10
- [32] DUIT, R. ; HÄUSSLER, P. ; PRENZEL, M.: Schulleistungen im Bereich der naturwissenschaftlichen Bildung. In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): *Leistungsmessen in Schulen*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 2001, Kap. 12, S. 169–186
- [33] ENGERLHARDT, P. V. ; BEICHNER, R. J.: Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. In: *Am. J. Phys.* 72 (2004), January, Nr. 1, S. 98–115
- [34] EULER, M.: Lernen durch Experimentieren. In: RINGELBAND, U. (Hrsg.) ; PRENZEL, M. (Hrsg.) ; EULER, M. (Hrsg.): *Lernort Labor. Initiativen zur naturwissenschaftlichen, Bildung zwischen Schule, Forschung und Wirtschaft*. Kiel: IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, 2001, S. 13–42

- [35] GAGE, N.L. ; BERLINER, D.C.: *Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Beltz, Psychologie Verlags Union, 1996
- [36] GAZZANIGA, M.S.: *Cognitive Neuroscience: The Biology of the Mind*. New York: W. Norton, 2002
- [37] GIRWIDZ, R.: Medien im Physikunterricht. In: E., Kircher (Hrsg.) ; R., Girwidz (Hrsg.) ; P., Häußler (Hrsg.): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2006, S. 189–248
- [38] GIRWIDZ, R.: Neue Medien unter lernpsychologischen Aspekten. In: E. KIRCHER, P. H. (Hrsg.): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2006, S. 607–638
- [39] GLOWALLA, G. ; GLOWALLA, U.: Fragestrategien zu Lehrtexten im Studium. In: *Unterrichtswissenschaft* 32 (2004), Nr. 4, S. 334–344
- [40] GLOWALLA, U. ; SCHNEIDER, S. ; SIEGERT, M. ; GOTTHARDT, M. ; KOOLMANN, J.: *Einsatz wissensdiagnostischer Module in elektronischen Prüfungen*. – URL <http://subs.emis.de/LNI/Proceedings/Proceedings66/GI-Proceedings.66-26.pdf>. – Zugriffsdatum: 02/2011
- [41] GRONLUND, N. E.: *Assessment of student achievement*. Bosten: Allyn & Bacon, 2003
- [42] GUNSTONE, R. ; WATTS, M.: Force and Motion. In: DRIVER, R. (Hrsg.) ; GUESNE, E. (Hrsg.) ; TIBERGHEN, A. (Hrsg.): *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes, UK: Open University Press, 1985, S. 85–104
- [43] HAKE, R. R.: Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. In: *Am. J. Phys.* 66 (1998), Nr. 1, S. 64–74
- [44] HALADYNA, T.M.: *Developing and Validating Multiple-Choice Test Items*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1994
- [45] HAMAKER, C.: The Effects of Adjunct Questions on Prose Learning. In: *Review of Educational Research* 56 (1986), Nr. 2, S. 212–242
- [46] HAMMANN, M.: Kompetenzentwicklungsmodelle: Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 57 (2004), Nr. 4, S. 196–203
- [47] HAMMANN, M. ; PHAN, T. T. H. ; BAYRHUBER, H.: Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen

- beim Experimentieren zu messen? In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften. Sonderheft 8: Kompetenzdiagnostik* (2007), S. 33–49
- [48] HASLAM, C. Y. ; HAMILTON, R. J.: Investigating the Use of Integrated Instructions to Reduce the Cognitive Load Associated with Doing Practical Work in Secondary School Science. In: *International Journal of Science Education* 32 (2010), September, Nr. 13, S. 1715–1737
- [49] HASSELHORN, M.: Metakognition. In: ROST, D. H. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag, 2006, S. 480–485
- [50] HEIMBURG, T.: Die Physik von Nerven. In: *Physik Journal* 8 (2009), Nr. 3, S. 33–39
- [51] HELMKE, A. ; SCHRADER, F. W.: School Achievement: Cognitive and Motivational Determinants. In: *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (2001), S. 13552–13556
- [52] HESTENES, D. ; WELLS, M.: A mechanics baseline test. In: *The Physics Teacher* 30 (1992), März, Nr. 3, S. 159–166
- [53] HESTENES, D. ; WELLS, M. ; SWACKHAMMER, G.: Force Concept Inventory. In: *The Physics Teacher* 30 (1992), März, Nr. 3, S. 141–158
- [54] HETTINGER, J.: *E-Learning in der Schule. Grundlagen, Modelle Perspektiven*. München: Kopaed, 2008
- [55] HIEGGELKE, C. ; MALONEY, D. ; O’KUMA, T. ; HEUVELEN, A. V.: *Conceptual Survey in Electricity (Test auf Anfrage)*. – URL [http://tycphysics.org/CSEM\\_5\\_2.htm](http://tycphysics.org/CSEM_5_2.htm). – Zugriffsdatum: 09/2011
- [56] HIEGGELKE, C. ; MALONEY, D. ; O’KUMA, T. ; HEUVELEN, A. V.: *Conceptual Survey in Magnetism (Test auf Anfrage)*. – URL [http://tycphysics.org/CSEM\\_5\\_2.htm](http://tycphysics.org/CSEM_5_2.htm). – Zugriffsdatum: 09/2011
- [57] HOFFMANN, S. ; BRESGES, A.: Web 2.0 in der Hochschullehre – Chancen und Potenziale im Grundlagenmodul Physik. In: NORDMEIER, V. (Hrsg.) ; GRÖTZEBAUCH, H. (Hrsg.): *Didaktik der Physik – Berlin 2008*. Berlin: Lehmanns Media, 2008
- [58] HUBER, A.: *Kooperative Lernformen - kein Problem. Effektive Methoden der Partner- und Gruppenarbeit*. Leipzig: Klett Verlag, 2004
- [59] HUTH, K.: *Entwicklung und Evaluation von fehlerspezifischem informativem tutoriellem Feedback (ITF) für die schriftliche Subtraktion*. 2004. – URL [http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=973482818&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=973482818.pdf](http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=973482818&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=973482818.pdf). – Zugriffsdatum: 02/2011

- [60] INGENKAMP, K. ; LISSMANN, U.: *Lehrbuch der pädagogischen Diagnostik*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 2008
- [61] ISSING, L. J.: Psychologische Grundlagen des Online-Lernens. In: ISSING, L.J. (Hrsg.) ; KLIMSA, P. (Hrsg.): *Online Lernen. Handbuch für Wissenschaft und Praxis*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2009, S. 20–35
- [62] JACOBS, B.: *Richtlinien zur Erstellung von einfachen Multiple-Choice-Aufgaben nach Gronlund*. 2000. – URL <http://psydok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2005/516/html/mcguideline.html>. – Zugriffsdatum: 02/2011
- [63] JANSSEN, J. ; LAATZ, W.: *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2007
- [64] JUNG, W.: Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. In: *Naturwissenschaft im Unterricht - Physik/ Chemie* 34 (1986), Nr. 13, S. 2–6
- [65] KÄHLER, W.: *Statistische Datenanalyse. Verfahren verstehen und mit SPSS gekonnt einsetzen*. Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2004
- [66] KAISER, M. K. ; PROFFITT, D. R. ; MCCLOSKEY, M.: The development of beliefs about falling objects. In: *Perception & Psychophysics* 38 (1985), Nr. 6, S. 533–539
- [67] KANDEL, E. R. (Hrsg.) ; SCHWARTZ, J. H. (Hrsg.) ; JESSELL, T. M. (Hrsg.): *Neurowissenschaften. Eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum, 1995
- [68] KATTMANN, U. ; DUIT, R. ; GROPENGIESSER, H. ; KOMOREK, M.: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3 (1997), Nr. 3, S. 3–18
- [69] KIRCHER, E.: Methoden im Physikunterricht. In: E. KIRCHER, P. H. (Hrsg.): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2006, S. 135–188
- [70] KIRSCHNER, P. A. ; SWELLER, J. ; CLARK, R. E.: Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. In: *Educational Psychologist* 41 (2006), Nr. 2, S. 75–86. – URL [http://www.cogtech.usc.edu/publications/kirschner\\_Sweller\\_Clark.pdf](http://www.cogtech.usc.edu/publications/kirschner_Sweller_Clark.pdf)
- [71] KLAHR, D.: *Exploring Science. The Cognition and Development of Discovery Processes*. S. 30–34. Cambridge: MIT Press, 2000

- [72] KLAHR, D. ; NIGAM, M.: *The Equivalence of Learning Paths in Early Science Instruction*. – URL <http://www.psy.cmu.edu/faculty/klahr/personal/pdf/KlahrNigam.PsychSci.pdf>. – Zugriffsdatum: 01/2011
- [73] KLAUER, K. J.: Wie misst man Schulleistungen? In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): *Leistungsmessen in Schulen*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 2001, Kap. 7, S. 104–115
- [74] KLAUER, K. J. ; LEUTNER, D.: *Lehren und Lernen: Einführung in die Instruktionspsychologie*. Basel: Beltz Verlag, 2007
- [75] KÖRNDLE, H. ; NARCISS, S. ; PROSKE, A.: *Konstruktion interaktiver Lernaufgaben für die universitäre Lehre*. 2004. – URL [http://studierplatz2000.tu-dresden.de/toolkit/presentations/CD/Literatur/Publikationen/gmw04\\_koenapro.pdf](http://studierplatz2000.tu-dresden.de/toolkit/presentations/CD/Literatur/Publikationen/gmw04_koenapro.pdf). – Zugriffsdatum: 02/2011
- [76] KRAUSE, U. M. ; STARK, R.: Vorwissen aktivieren. In: MANDL, H. (Hrsg.) ; FRIEDRICH, H. F. (Hrsg.): *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe Verlag, 2006, S. 38–49
- [77] KREITEN, M. ; BRESGES, A. ; SCHADSCHNEIDER, A.: Möglichkeiten von interaktiven 3d-Simulationen zur Unterstützung von Versuchen im physikalischen Praktikum. In: *PhyDid-B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2010*, URL <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/176/257>, 2010
- [78] KREITEN, M. ; SCHADSCHNEIDER, A. ; BRESGES, A.: Kompetenzentwicklung im physikalischen Praktikum für Anfänger. In: NORDMEIER, V. (Hrsg.) ; GRÖTZEBAUCH, H. (Hrsg.): *Didaktik der Physik – 2009*. Berlin: Lehmanns Media, 2009
- [79] KREITEN, M. ; SCHADSCHNEIDER, A. ; VOGT, P. ; BRESGES, A.: Effektivität elektronischer Testaufgaben zur Vorbereitung auf experimentelle Übungen. In: *PhyDid-B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2011*, 2011
- [80] KREITEN, M. ; SPIEGEL, R. ; HEITHAUSEN, A.: Untersuchung der Elektrik-Vorkenntnisse zukünftiger GHR-Lehrer mit einem naturwissenschaftlichen Hauptfach. In: NORDMEIER, V. (Hrsg.) ; GRÖTZEBAUCH, H. (Hrsg.): *Didaktik der Physik – Berlin 2008*. Berlin: Lehmanns Media, 2008
- [81] KRIST, H.: Die Integration intuitiven Wissens beim schulischen Lernen. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 13 (1999), Nr. 4, S. 191–206
- [82] KUHN, J.: *Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktions- und Lehr-Lernforschung. Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabenkultur im Physikunterricht*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010

- [83] KUHN, J. ; MÜLLER, A.: Operationalisierung des Offenheitsgrades am Beispiel authentischer Aufgaben. In: HÖTTECKE, D. (Hrsg.): *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP 2006)* Bd. 27, 2007, S. 148–150
- [84] KULTUSMINISTERKONFERENZ ; TERHART, E. (Hrsg.): *Perspektiven der Lehrerbildung in Deutschland. Abschlussbericht der von der Kultusministerkonferenz eingesetzten Kommission*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 2000
- [85] KULTUSMINISTERKONFERENZ, Beschlüsse der: *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. 2004. – URL [http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2004/2004\\_12\\_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf). – Zugriffsdatum: 03/2011
- [86] LANGELT, J.: Individuelle Förderung im naturwissenschaftlichen Unterricht. Hilfen für die Umsetzung individuellen Kompetenzerwerbs. In: *MNU Themenreihe Bildungsstandards* (2009). – URL <http://www.mnu.de/images/Dokumente/PDF/MNU-Individuelle-Foerderung.pdf>. – Zugriffsdatum: 10/2011
- [87] LANGELT, J. ; KREMER, M.: Aufgaben im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: *MNU Themenreihe Bildungsstandards* (2011). – URL [http://www.mnu.de/images/Dokumente/PDF/MNU-TR\\_BS-Aufgaben\\_ISBN\\_16-12-1.pdf](http://www.mnu.de/images/Dokumente/PDF/MNU-TR_BS-Aufgaben_ISBN_16-12-1.pdf). – Zugriffsdatum: 10/2011
- [88] LEHRERAUSBILDUNGSGESETZ: *Gesetz über die Ausbildung für Lehrämter an öffentlichen Schulen (LAGB)*. Mai 2009. – URL <http://www.schulministerium.nrw.de/ZBL/Reform/LABG.pdf>. – Zugriffsdatum: 01/2011
- [89] LEISEN, J.: Qualitätsteigerung des Physikunterrichts durch Weiterentwicklung der Aufgabenkultur. In: *MNU* 54 (2001), Nr. 7, S. 401–405. – URL <http://www.aufgabenkultur.de/>. – Zugriffsdatum: 12/2011
- [90] LEISEN, J.: Zur Arbeit mit Bildungsstandards. Lernaufgaben als Einstieg und Schlüssel. In: *MNU* 58 (2005), Nr. 5, S. 306–308. – URL <http://www.aufgabenkultur.de/>. – Zugriffsdatum: 12/2011
- [91] LEISEN, J.: Aufgabenkultur im mathematisch- naturwissenschaftlichen Unterricht. In: *MNU* 59 (2006), Nr. 5, S. 260–266. – URL <http://www.aufgabenkultur.de/>. – Zugriffsdatum: 12/2011
- [92] LERCHE, T.: *E-Teaching bei Lernenden mit geringem domänenspezifischen Vorwissen. Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Lerneraktivität, Lernervoraussetzungen und Lernleistung in einem virtuellen Tutorium zur Statistik*. 2005. – URL <http://epub.uni-regensburg.de/10362/1/dissertationThomasLerche.pdf>. – Zugriffsdatum: 02/2011

- [93] LEUTNER, D.: Instruktionspsychologie. In: ROST, D. H. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag, 2006, S. 261–269
- [94] LEVIN, A. ; ROST, D. H. (Hrsg.): *Lernen durch Fragen*. Münster: Waxmann, 2005
- [95] LIENERT, G. A. ; RAATZ, U.: *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Psychologie Verl. Union Beltz, 1994
- [96] MAICHLE, U.: Schülervorstellungen zu Stromstärke und Spannung. In: *Naturwissenschaft im Unterricht - Physik/ Chemie* (1982), Nr. 30, S. S. 383–387
- [97] MAYER, R. E.: Cognitive Theory of Multimedia Learning. In: MAYER, R. E. (Hrsg.): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press, 2005, S. S. 31–48
- [98] MAYRING, P.: *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 2008
- [99] MCCLOSKEY, M.: Irrwege der Intuition in der Physik. In: *Spektrum der Wissenschaft* (1983), Juni, S. 88–99
- [100] MCDERMOTT, L. C.: Research on conceptual understanding in mechanics. In: *Physics Today* 37 (1984), Juli, S. 24–32
- [101] MEANS, B. ; TOYAMA, Y. ; MURPHY, R. ; BAKIA, M. ; JONES, K.: *Evaluation of Evidence-Based Practices in Online Learning. A Meta-Analysis and Review of Online Learning Studies*. U.S. Department of Education 2010. – URL <http://www2.ed.gov/rschstat/eval/tech/evidence-based-practices/finalreport.pdf>. – Zugriffsdatum: 06/2011
- [102] MEIER, R.: *Praxis E-Learning*. Offenbach: GABAL Verlag GmbH, 2006
- [103] MELTZER, D.E. ; MANIVANNAN, K.: *Transforming the lecture-hall environment: The fully interactive physics lecture*. 2002. – URL <http://www.physicseducation.net/docs/AJP-June-2002-Vol.-70--639-654.pdf>. – Zugriffsdatum: 01/2011
- [104] MERZYN, G.: *Stimmen zur Lehrerausbildung. Ein Überblick über die Diskussion*. Baltmannsweiler: Schneider-Verlag Hohengehren, 2002
- [105] MIETZEL, G.: *Pädagogische Psychologie des Lernens und Lehrens*. Göttingen-Bern-Toronto-Seattle: Hogrefe-Verlag, 2001, S. 17–32
- [106] MIETZEL, G.: *Wege in die Psychologie*. Stuttgart: Klett-Cotta, 2008
- [107] MUCKENFUSS, H.: *Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*. Berlin: Cornelson, 1995

- [108] MÜLLER, A. ; HELMKE, A.: Qualität von Aufgaben als Merkmale der Unterrichtsqualität verdeutlicht am Fach Physik. In: THONHAUSER, J. (Hrsg.): *Aufgaben als Katalysatoren von Lernprozessen*. Münster: Waxmann, 2008, S. 31–46
- [109] MÜLLER, A. ; NIESWANDT, M.: *BLK-Programm: Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichtes. Arbeitsleitfaden zu Modul 3: "Aus Fehlern lernen"*. 1998. – URL [http://sinus-transfer.uni-bayreuth.de/module/modul\\_3aus\\_ Fehlern\\_lernen.html](http://sinus-transfer.uni-bayreuth.de/module/modul_3aus_ Fehlern_lernen.html). – Zugriffsdatum: 01/2012
- [110] MÜLLER, A. (PROJEKTLEITUNG): *Lehrerbildung in den Naturwissenschaften (LeNa)*. – URL [http://www.uni-landau.de/zlb-landau/downloads/LeNa/LeNa\\_Programmbeschreibung\\_extern.pdf](http://www.uni-landau.de/zlb-landau/downloads/LeNa/LeNa_Programmbeschreibung_extern.pdf). – Zugriffsdatum: 10/2011
- [111] NACHTIGALL, C. ; WIRTZ, M.: *Wahrscheinlichkeit und Inferenzstatistik. Statistische Methoden für Psychologen Teil 2*. Weinheim, München: Juventa Verlag, 1998
- [112] NACHTIGALL, D.: Vorstellungen im Bereich der Mechanik. In: *Naturwissenschaft im Unterricht - Physik/ Chemie* 34 (1986), Nr. 13, S. 114–118
- [113] NEBER, H.: Entdeckendes Lernen. In: ROST, D. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag, 2006 (S. 115-121)
- [114] NEBER, H.: Fragenstellen. In: MANDL, H. (Hrsg.) ; FRIEDRICH, H. F. (Hrsg.): *Handbuch Lernstrategien*. 2006 (Göttingen: Hogrefe Verlag), S. 50–58
- [115] NEUMANN, K.: *Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker*. Berlin: Logos, 2004
- [116] NIEGEMANN, H.: Lehr-Lern-Forschung. In: ROST, D. H. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag, 2006, S. 386–392
- [117] NIEGEMANN, H. ; DEMAGK, S. ; HESSEL, S. ; HEIN, A. ; HUPFER, M. ; ZOBEL, A.: *Kompendium multimediales Lernen*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2008
- [118] PETERSON, L. R. ; PETERSON, M. J.: Short-Term retention of individual verbal items. In: *Journal of Experimental Psychology* 58 (1959), Nr. 3, S. 193–198
- [119] PETKO, D.: Lernplattformen, E-Learning und Blended Learning in Schulen. In: PETKO, D. (Hrsg.): *Lernplattformen in Schulen. Ansätze für E-Learning und Blended Learning in Präsenzklassen*. Mörlenbach: VS Verlag, 2010, S. 9–27
- [120] PETKO, D. ; MOSER, T.: Bedingungen der Nutzung von Lernplattformen in Schulen. Empirische Befunde zu einem nationalen Modellprojekt aus der Schweiz. In: *Zeitschrift für E-Learning* 4 (2009), Nr. 3, S. 20–31
- [121] PETKO, D. ; UHLEMANN, A. ; BÜELER, U.: Blended Learning in der Ausbildung von Lehrpersonen. In: *Beiträge zur Lehrerbildung* 27 (2009), Nr. 2, S. 188–194

- [122] POTH, T.: *Adressatengerechtes Unterrichten mit dem Just-in-Time Teaching - Verfahren. Unveröffentlichte Dissertationsschrift.* Universität Koblenz-Landau, Campus Landau, 2009
- [123] RAITHEL, J. ; DOLLINGER, B. ; HÖRMANN, G.: *Einführung Pädagogik.* Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2007. – 67–73 S
- [124] RASCH, B. ; FRIESE, M. ; HOFMANN, W. J. ; NAUMANN, E.: *Quantitative Methoden Band 1. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler.* Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2010
- [125] RASCH, B. ; FRIESE, M. ; HOFMANN, W. J. ; NAUMANN, E.: *Quantitative Methoden Band 2. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler.* Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2010
- [126] REASON, J.: *Menschliches Versagen: psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien.* Heidelberg: Spektrum, 1994
- [127] REFORMVORSCHLÄGE: Reformvorschläge für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht Entworfen von der Unterrichtskommission der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte. In: *Sonderdruck aus der Zeitschrift für mathematischen und naturwissen- Sonderdruck aus der Zeitschrift für mathematischen und naturwissen- Sonderdruck aus der Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht* 36 (1905), Nr. 7
- [128] REICH, Kersten: *Methodenpool - Portfolio.* – URL <http://methodenpool.uni-koeln.de/uebersicht.html>. – Zugriffsdatum: 10/2011
- [129] REINMANN, G.: *Blended Learning in der Lehrerbildung. Grundlagen für die Konzeption innovativer Lernumgebungen.* Lengerich: Pabst, 2005
- [130] REISSE, W.: *Kompetenzorientierte Aufgabenentwicklung.* Köln: Aulis Verlag Deubner, 2008
- [131] REY, G. D. ; WENDER, K. F.: *Neuronale Netze. Eine Einführung in die Grundlagen, Anwendungen und Datenauswertung.* Bern: Huber, 2008
- [132] REY, G.D.: *E-Learning. Theorien Gestaltungsempfehlungen und Forschung.* Bern: Huber, 2009
- [133] RHÖNECK, C. von: Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. In: *Naturwissenschaft im Unterricht - Physik/ Chemie* 34 (1986), Nr. 13, S. 10–14

- [134] ROEDIGER(III), H. L. ; KARPICKE, J. D.: The Power of Testing Memory: Basic Research and Implications for Educational Practice. In: *Perspectives on Psychological Science* (2006), September, Nr. 3, S. 181–210
- [135] ROTH, G.: Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? In: *Zeitschrift für Pädagogik (Thementeil Gehirnforschung und Pädagogik)* 50 (2004), Nr. 4, S. 496–506
- [136] RÜTTER, T.: Formen der Testaufgaben. In: KLAUER, K. J. (Hrsg.): *Handbuch der pädagogischen Diagnostik. Band 1*. Düsseldorf: Schwann, 1978, S. 257–280
- [137] SCHECKER, H. ; PARCHMANN, I.: Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 12 (2006), S. 45–66. – URL [http://www.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/003\\_12.pdf](http://www.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/003_12.pdf). – Zugriffsdatum: 01/2011
- [138] SCHEID, J. ; HETTMANNSPERGER, R. ; MÜLLER, A. ; KUHN, J. ; MÜLLER, W.: Konzepttest Optik. In: *Unveröffentlichtes Dokument* (2011)
- [139] SCHLICHTING, H.J.: Zwischen common sense und physikalischer Theorie - wissenschaftstheoretische Probleme beim Physiklernen. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 44 (1991), Nr. 2, S. 74–81
- [140] SCHNOTZ, W.: Conceptual Change. In: ROST, H. D. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag, 2006, S. 77–82
- [141] SCHRADER, F.-W. ; HELMKE, A.: Alltägliche Leistungsbeurteilung durch Lehrer. In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 2002, S. 45–58
- [142] SCHREIBER, N. ; THEYSSEN, H. ; SCHECKER, H.: Experimentelle Kompetenz messen?! In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* 3 (2009), Nr. 8, S. 92–101
- [143] SCHULMEISTER, R.: *Zur Didaktik des Einsatzes von Lernplattformen*. – URL <http://www.zhw.uni-hamburg.de/pdfs/Lernplattformen.pdf>. – Zugriffsdatum: 06/2011
- [144] SCHULMEISTER, R.: *Lernplattformen für das virtuelle Lernen. Evaluation und Didaktik*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2005
- [145] SEKRETARIAT DER STÄNDIGEN KONFERENZ DER KULTUSMINISTER DER LÄNDER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND: *Abiturnoten an allgemein bildenden Gymnasien und integrierten Gesamtschulen. Schuljahr 2004/2005*. – URL [http://www.gew.de/Binaries/Binary29527/5KMK-Abiturnoten\\_2005%20%282%29.pdf](http://www.gew.de/Binaries/Binary29527/5KMK-Abiturnoten_2005%20%282%29.pdf). – Zugriffsdatum: 08/2011

- [146] SODIAN, B.: Entwicklung bereichsspezifischen Wissens. In: OERTER, R. (Hrsg.) ; MONTADA, L. (Hrsg.): *Entwicklungspsychologie*. Weinheim: Psychologie Verlagsunion, 1998, Kap. 13, S. 622–653
- [147] SODIAN, B.: Theorien der kognitiven Entwicklung. In: KELLER, H. (Hrsg.): *Lehrbuch der Entwicklungspsychologie*. Bern: Huber, 1998, S. 147–170
- [148] SPIEGEL, R. ; KREITEN, M. ; HEITHAUSEN, A.: *Vergleichende Untersuchung zu den Vorstellungen zur Elektrizitätslehre bei Schülerinnen und Schülern und bei Studierenden mit einem naturwissenschaftlichen Fach*. DPG 2009. – Vortrag im Fachverband Didaktik der Physik
- [149] STARK, R.: Conceptual Change: kognitiv oder situativ? In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 17 (2003), Nr. 2, S. 133–144
- [150] STÄUDEL, L.: *Modul 3 "Aus Fehlern lernen"*. 2007. – URL [http://sinus-transfer.uni-bayreuth.de/module/modul\\_3aus\\_fehlern\\_lernen.html](http://sinus-transfer.uni-bayreuth.de/module/modul_3aus_fehlern_lernen.html). – Zugriffsdatum: 07/2011
- [151] STERN, E. ; HARDY, I.: Schulleistungen im Bereich der mathematischen Bildung. In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 2002, Kap. 11, S. 153–168
- [152] SWELLER, J.: Instructional design in technical areas. In: *Australian Council Educational Research (ACER)* (1999), Nr. 43
- [153] SWELLER, J.: Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In: MAYER, R. E. (Hrsg.): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press, 2005, S. 19–30
- [154] SWELLER, J. ; MARRIENBOER, J.J.G. van ; PAAS, F.G.W.C.: Cognitive Architecture and Instructional Design. In: *Educational Psychology Review* 10 (1998), Nr. 3, S. 251–296
- [155] TESCH, M.: *Das Experiment im Physikunterricht. Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie*. Berlin: Logos Verlag, 2005
- [156] TESCH, M. ; DUIT, R.: Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 10 (2004), S. 51–69
- [157] THEYSSEN, H.: *Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion*. Berlin: Logos Verlag, 2000

- [158] THONHAUSER, J.: Warum (neues) Interesse am Thema ‘Aufgaben’. In: THONHAUSER, J. (Hrsg.): *Aufgaben als Katalysatoren von Lernprozessen*. Münster: Waxmann, 2008, S. S.13–27
- [159] TRUMPER, R. ; GORSKY, P.: A cross-college age study about physics students’ conceptions of force in preservice training for high school teachers. In: *Physics Education* 31 (1996), Nr. 4, S. 227–236
- [160] TUOVINEN, J. E. ; SWELLER, J.: A comparison of cognitive load associated with discovery learning and worked examples. In: *Journal of Educational Psychology* 91 (1999), Nr. 2, S. 334–341
- [161] VOGT, P.: *Werbeaufgaben im Physikunterricht: Motivations- und Lernwirksamkeit authentischer Texte*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2010
- [162] VOSNIADOU, S. ; BREWER, W. F.: Mental Models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood. In: *Cognitive Psychology* 24 (1992), S. 535–585
- [163] WEBSEITE: *Unity 3d*. – URL <http://unity3d.com/>. – Zugriffsdatum: 09/2011
- [164] WELZEL, M. ; HALLER, K. ; BANDIERA, M. ; HAMMELEV, D. ; KOUMARAS, P. ; NIEDDERER, H. ; PAULSEN, A. ; ROBINAULT, K. ; AUFSCHNAITER, S. von: Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage -. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 4 (1998), Nr. 1, S. 29–44
- [165] WHITE, B. Y.: Sources of Difficulty in Understanding Newtonian Dynamics. In: *Cognitive Science* 7 (1983), Nr. 1, S. 41–65
- [166] WILHELM, T.: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*. 2005. – URL <http://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/volltexte/2009/3955/>. – Zugriffsdatum: 09/2011
- [167] WILKENING, F. ; LAMSFUSS, S.: (Miß-)Konzepte der naiven Physik im Entwicklungsverlauf. In: HELL, W. (Hrsg.) ; FIEDLER, K. (Hrsg.) ; GIGERENZER, G. (Hrsg.): *Kognitive Täuschungen. Fehl-Leistungen und Mechanismen des Urteilens, Denkens und Erinnerns*. Heidelberg: Spektrum Verlag, 1993, S. 271–290
- [168] WODZINSKI, R.: Wurf- und Fallbewegungen in der Mittelstufe. In: *Didaktik der Physik - Vorträge 1996*. Berlin: Lehmanns Media : V. Nordmeier and H. Grötzebauch, 1996, S. 585–590
- [169] WODZINSKI, R.: Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. In: MÜLLER, R. (Hrsg.) ; WODZINSKI, R. (Hrsg.) ; HOPF, M. (Hrsg.): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis Verlag Deubner, 2007, S. 23–36

# Abbildungsverzeichnis

1.1.	Das SDDS-Modell nach Klahr. . . . .	12
1.2.	Modell der vollständigen Handlung. . . . .	12
1.3.	Veranschaulichung menschlicher Gedächtnisprozesse nach Mietzel. . . . .	23
1.4.	Aufgabe zur Diagnostik von Fehlvorstellungen. . . . .	27
1.5.	Schematischer Aufbau einer Nervenzelle. . . . .	29
1.6.	Vorgehen bei der Umstrukturierung der experimentellen Übungen. . . . .	35
1.7.	Das Modell der didaktischen Rekonstruktion nach Sattmann u.a. . . . .	36
3.1.	Vorgehensweise bei der Umstrukturierung der experimentellen Übungen. . .	47
3.2.	Übersicht über die verschiedene Funktionen, die mit einer Aufgabe verbunden sein können. . . . .	51
3.3.	Aufgaben die Faktenwissen prüfen. . . . .	66
3.4.	Aufgaben ohne eindeutige Lösung. . . . .	66
3.5.	Integration von textbegleitenden Aufgaben in die experimentellen Übungen. .	67
3.6.	Probleme von Freitextaufgaben. . . . .	69
3.7.	Beispiel: Objektorientierte Methode. . . . .	72
3.8.	Beispiel für die Erstellung einer Aufgabe mit gebundenem Antwortformat mit dem objektorientierten Ansatz. . . . .	72
3.9.	Aufgabenbeispiel zur Überprüfung des konzeptionellen Verständnisses. . . .	74
3.10.	Zusammenstellung sinnvoller Aufgabentypen. . . . .	76
3.11.	Auszug aus der detaillierten Statistik. . . . .	79
4.1.	Aufgabenbeispiel aus den ILIAS-Tests. . . . .	89
4.2.	Darstellung des Untersuchungsdesigns in der Vorstudie. . . . .	90
4.3.	Darstellung des Untersuchungsdesigns in der Hauptstudie. . . . .	103
4.4.	Fehlvorstellung "lokale Argumentation". . . . .	118
4.5.	Struktur und Ablauf des Versuchs "Die Kirchhoffsche Gesetze". . . . .	119
4.6.	Beispielaufgaben aus dem Übungspool zu den kirchhoffschen Gesetzen. . .	120
4.7.	Kirchhoffsche Gesetze: Darstellung des Untersuchungsdesigns. . . . .	124
4.8.	Vorstellungen zu Wurfbewegungen: Angaben der Studierenden über Kräfte, die beim schiefen Wurf wirken. . . . .	139
4.9.	Vorstellungen zu Wurfbewegungen: Zeichnung und Aufnahme der Wurfbahn. .	140
4.10.	Vorstellungen zu Wurfbewegungen: Versuchsaufbau & Auswertung der Daten. .	142

4.11. Ansichten aus der Simulation zum schiefen Wurf. . . . .	144
4.12. Darstellung des Versuchsdesigns zum Versuch: “Der schiefe Wurf” (Sommersemester 2010). . . . .	148
A.1. ILIAS-Ansicht der Studierenden. . . . .	190
A.2. ILIAS-Ansicht der Dozenten. . . . .	190
A.3. Umfrageergebnis zum Handbuch. . . . .	192
C.4. Auszug aus der Darstellung der Ergebnisse nach der Beendigung des Tests. . . . .	198
C.5. Darstellung der Ergebnisse für die einzelnen NutzerInnen in ILIAS. . . . .	198
C.6. Darstellung der Aggregierten Testergebnisse in ILIAS. . . . .	199

# Tabellenverzeichnis

1.1. Übersicht über die Theroriensysteme: Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus. . . . .	19
1.2. Vergleich der Bedeutung des Vorwissen in der Theorie der neuronalen Netze und der CLT. . . . .	33
2.1. Zusammenfassung der Probleme bei den bestehenden experimentellen Übungen. . . . .	46
3.1. Gegenüberstellung der verschiedenen Aufgabentypen. . . . .	58
3.2. Beschreibung der Kompetenzen, die bei der Vorbereitung auf die experimentellen Übungen erworben werden sollen. . . . .	68
3.3. Gegenüberstellung des konzeptorientierten und objektorientierten Ansatzes. . . . .	75
3.4. Hinweis zur Formulierung von Aufgabenstellungen. . . . .	77
3.5. Darstellung der Ergebnisse nach der Beendigung eines Testdurchlaufes. . . . .	78
4.1. Variablen der Vorstudie. . . . .	92
4.2. Zusammenstellung der Gruppen in der Vorstudie . . . . .	95
4.3. Ergebnisse der Konzepttests in der Vorstudie: Mittelwerte und Standardabweichungen. . . . .	95
4.4. Ergebnisse der Leistungstests in der Vorstudie: Mittelwerte und Standardabweichungen. . . . .	96
4.5. Vorstudie: Ergebnisse der Varianzanalyse. . . . .	97
4.6. Vorstudie: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Test. . . . .	98
4.7. Hauptstudie: Einteilung der Gruppen. . . . .	103
4.8. Variablen der Hauptstudie. . . . .	104
4.9. Zusammenstellung der Gruppen in der Hauptstudie. . . . .	106
4.10. Ergebnisse der Konzepttests in der Hauptstudie: Mittelwerte und Standardabweichungen. . . . .	106
4.11. Ergebnisse der Leistungstests in der Hauptstudie (GP1): Mittelwerte und Standardabweichungen. . . . .	107
4.12. Ergebnisse der Leistungstests in der Hauptstudie (GP2): Mittelwerte und Standardabweichungen. . . . .	107
4.13. Darstellung über die verwendeten Testverfahren zur Auswertung der Daten. . . . .	108

4.14. Hauptstudie: Ergebnisse der Varianzanalyse – nach der Vorbereitung. . . . .	109
4.15. Hauptstudie: Ergebnisse des “Mann-Whitney U-Test” – nach der Vorbereitung . . . . .	110
4.16. Überprüfung der Voraussetzungen für eine Varianzanalyse. . . . .	111
4.17. Hauptstudie: Ergebnisse der Varianzanalyse – nach Durchführung der Experimente. . . . .	112
4.18. Hauptstudie: Ergebnisse des “Mann-Whitney U-Test” – nach Durchführung der Experimente . . . . .	113
4.19. Variablen der Untersuchung “Kirchhoffschen Gesetze”. . . . .	125
4.20. Vorstellungen im Bereich Elektrik: Zusammenstellung der Gruppen. . . . .	129
4.21. Vorstellungen im Bereich Elektrik: Ergebnisse der Konzepttests. . . . .	129
4.22. Vorstellungen im Bereich Elektrik: Darstellung der Ergebnisse der Varianzanalyse. . . . .	131
4.23. Vorstellungen im Bereich Elektrik: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests. . . . .	131
4.24. Vorstellungen im Bereich Elektrik: Fragen zur Motivation. . . . .	134
4.25. Vorstellungen zu Wurfbewegungen: Gegenüberstellung der Zeichnung der Studierenden und der Ideen der Impetustheorie. . . . .	140
4.26. Anforderungen an das digitale Medium. . . . .	143
4.27. Vorstellungen zu Wurfbewegungen: Zusammenstellung der Gruppe. . . . .	151
4.28. Vorstellungen zu Wurfbewegungen: Leistungen in den Konzepttests. . . . .	152
4.29. Vorstellungen zu Wurfbewegungen: Ergebnisse des t-Tests. . . . .	153
5.1. Auswertung der Umfrage vor der Umgestaltung. . . . .	185
5.2. Auswertung der Umfrage nach der Umgestaltung. . . . .	187
5.3. Detaillierte Ergebnisse zum Mann-Whitney U-Test – vor der Umgestaltung. . . . .	191
5.4. Inhalt der Grundlagenvorlesung Mechanik & Wärmelehre. . . . .	193
5.5. Inhalt der Grundlagenvorlesung Elektrik & Optik. . . . .	194
5.6. Inhalt der experimentellen Übungen vor der Umgestaltung. . . . .	195
5.7. Inhalt der experimentellen Übungen nach der Umgestaltung. . . . .	196
5.8. Kompetenzmodell für die experimentellen Übungen. . . . .	197
5.9. Beispiel für einen Zeitplan zur Evaluation des Versuches “Die Kirchhoffschen Gesetze”. . . . .	213
5.10. Vorstudie: Test auf Normalverteilung (A). . . . .	226
5.11. Vorstudie: Test auf Normalverteilung (B). . . . .	227
5.12. Vorstudie: Test auf Varianzhomogenität. . . . .	227
5.13. Hauptstudie: Test auf Normalverteilung. . . . .	228
5.14. Hauptstudie: Test auf Varianzhomogenität. . . . .	229
5.15. Elektrik: Test auf Gleichheit der beiden Versuchsgruppen aus dem Jahr 2009 und 2010. . . . .	230
5.16. Elektrik: Test auf Normalverteilung und Varainzhomogenität. . . . .	230
5.17. Elektrik: Varianzanalyse. . . . .	231

*Tabellenverzeichnis*

5.18. Schiefer Wurf: Test auf Normalverteilung. . . . .	231
5.19. Schiefer Wurf: T-Test für abhängige Stichproben. . . . .	232
5.20. Schiefer Wurf: Wilcoxon-Test. . . . .	233

# Abkürzungsverzeichnis

AV:	Abhängige Variable
FCI:	Konzepttest zur Mechanik
GHR/G:	Lehramt für Grund-, Haupt-, Realschulen und den entsprechenden Jahrgangsstufen der Gesamtschule/ Schwerpunkt Haupt- und Realschule
GHR/HR:	Lehramt für Grund-, Haupt-, Realschulen und den entsprechenden Jahrgangsstufen der Gesamtschule/ Schwerpunkt Grundschule
GP1:	Grundpraktikum 1 (Themenbereich: Mechanik & Wärmelehre)
GP2:	Grundpraktikum 2 (Themenbereich: Elektrik & Optik)
ILIAS-Aufgaben:	Textbegleitende Aufgaben auf der E-Learning-Plattform "ILIAS"
LMS:	Learning Management System
MV:	Moderatorvariable
TCI:	Konzepttest zur Wärmelehre
UV:	Unabhängige Variable
u. a.:	unter anderem/n
SoPäd:	Lehramt für sonderpädagogische Förderung
SuS:	Schülerinnen und Schüler
vgl.:	vergleiche
z. B.:	zum Beispiel

# Anhang

## A. Umfragen

### A.1. Vor der Umstrukturierung: Kritik an den bestehenden experimentellen Übungen aus Studierendensicht

Die Abschnitte A-D wurden auf einer 6- stufigen Likert-Skala von 1- “trifft voll zu” bis 6-“trifft nicht zu” beantwortet. Der Abschnitt E beinhaltet eine numerische Frage. Die Abschnitte F-H mussten in Freitextform bearbeitet werden.

#### A Fachliche Vertiefung

- A.1 Die Versuche machen mir die physikalischen Zusammenhänge verständlich.
- A.2 Bei den Versuchen wurde mir der Zusammenhang zwischen Experiment und Theorie klar.
- A.3 Die Bearbeitung der Versuche hat mir geholfen, die Inhalte der Vorlesungen besser zu verstehen und zu vertiefen.
- A.4 Bei der Beschäftigung mit einem Versuch ist mir aufgefallen, dass ich zuvor die theoretischen Grundlagen nicht richtig verstanden habe.
- A.5 Manchmal wurde erst bei der Besprechung des Versuches deutlich, welche theoretischen Grundlagen bedeutsam sind.
- A.6 Manchmal wurde erst bei der Durchführung des Versuches deutlich, welche theoretischen Grundlagen bedeutsam sind.
- A.7 Durch die Versuche habe ich Sicherheit beim Umgang mit Messgeräten erlangt.
- A.8 Durch die Bearbeitung der Versuche habe ich die Theorie besser verstanden.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>Diese Frage wurde nur im Anschluss, nach der Umstrukturierung, verwendet.

A.9 Die ILIAS- Testfragen haben mir geholfen, mich auf den Versuch vorzubereiten.<sup>3</sup>

### **B Motivation/ Interesse**

B.1 Die Inhalte der Versuche halte ich für meine weitere Lehrerausbildung für wichtig.

B.2 Ich habe die Versuche mit Interesse bearbeitet.

B.3 Die Versuchsunterlagen sind ansprechend gestaltet.

B.4 Ich vermute, dass ich die Unterlagen zu den Versuchen nach den Abschluss des Praktikums noch einmal nutzen werde.

### **C Anforderungen**

C.1 Die Art der Versuchsdurchführung ermöglicht ein selbstständiges Erarbeiten der Versuchsaufgaben.

C.2 Die Versuchsanleitungen waren ausreichend zur Durchführung der Versuche und zum Erstellen der Versuchsprotokolle.

C.3 Mithilfe meines physikalischen Vorwissens (aus der Schule, vorangegangener Vorlesungen etc.) war es mir möglich, die Anforderungen der Versuche zu erfüllen.

### **D Organisation**

D.1 Die Vorbereitungszeit zwischen den Versuchen war ausreichend, um sich auf den Versuch geeignet vorzubereiten.

D.2 Die Zeit für die Durchführung der Experimente war ausreichend.

D.3 Parallel zu den physikalischen Übungen fanden noch andere Veranstaltungen statt, die ich gerne besucht hätte.

**E** Wie groß schätzen Sie den stündlichen Zeitaufwand für die Vorbereitung und Nachbereitung eines Versuchs im Durchschnitt ein?

**F** Welche Probleme sind bei der Versuchsvorbereitung, der Versuchsdurchführung und beim Erstellen des Protokolls aufgetreten?

**G** Was hat Ihnen am Praktikum gut gefallen?

**H** Vor den Versuchen müssen Sie ILIAS-Testaufgaben bearbeiten. Welche Vor-Nachteile sehen Sie bei der Verwendung der ILIAS-Testfragen?<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup>Diese Frage wurde nur im Anschluss, nach der Umstrukturierung, verwendet.

<sup>4</sup>Diese Frage wurde nur im Anschluss, nach der Umstrukturierung, verwendet.

## Auswertung der Umfrage

Aussage	Anzahl der Antworten	Median
A1	21	2
A2	20	2
A3	20	2-3
A4	20	3
A5	20	2*
A6	20	2*
A7	20	2
B1	21	2
B2	20	2
B3	20	3
B4	20	3
C1	20	3
C2	20	4*
C3	20	3
D1	20	3
D2	20	3
D3	20	5-6

Tabelle 5.1.: Auswertung der Umfrage vor der Umgestaltung.

\*Diese Antworten weichen von einer mittleren bis guten Bewertung der experimentellen Übungen ab.

**Zu Frage E:**

Arithmetisches Mittel: 22 Stunden

Median: 11 Stunden (ungefähr gleich der häufigsten Antwort: 10 Stunden)

Da die Angaben der Studierenden sehr streuen (von 5 Stunden bis 100 Stunden) ist der Median geeigneter als das arithmetische Mittel zur Beantwortung dieser Frage.

**Zu Frage F:**

Die Auswertung der Frage befindet sich im Kapitel 2.2.3 auf der Seite 40.

**Zu Frage G:**

Die Antworten auf die Frage: „Was hat Ihnen am Praktikum gut gefallen?“ wurden zunächst die 16 Antworten in Kategorien eingeteilt und anschließend wurde die Häufigkeit der Nennungen miteinander verglichen. Als minimale Analyseeinheit wurden ein

vollständiger Satz oder ein Aufzählungspunkt festgelegt, in dem ein positiver Aspekt beschrieben wurde. Dabei wurden nur Aussagen berücksichtigt, die sich allgemein auf die experimentellen Übungen und nicht auf einzelne Versuche bezogen.

Kategorie 1 „**selbstständiges Experimentieren**“: Zusammenfassung aller Antworten, die das selbstständige, praktische Arbeiten am Experiment positiv erwähnen.

Kategorie 2 „**Betreuung und Rückmeldung**“: Zusammenfassung aller Antworten, die den engen Austausch mit den Betreuern loben.

Kategorie 3 „**Fachliche Vertiefung**“: Zusammenfassung aller Antworten, die beschreiben, dass die Studierenden durch den Versuch die theoretischen Grundlagen besser verstanden haben.

Kategorie 4 „**Gruppenarbeit**“: Zusammenfassung aller Antworten, die die Arbeit in Kleingruppen als positiv bewerten.

Vergleicht man nun die Anzahl der Nennungen der verschiedenen Kategorien (1-4) in den Studierendenantworten, so fällt auf: Als der häufigste positive Aspekt der experimentellen Übungen wurde in fast jeder zweiten Antwort (44%) erwähnt, dass das Experiment hilft die fachlichen Inhalte besser zu verstehen.

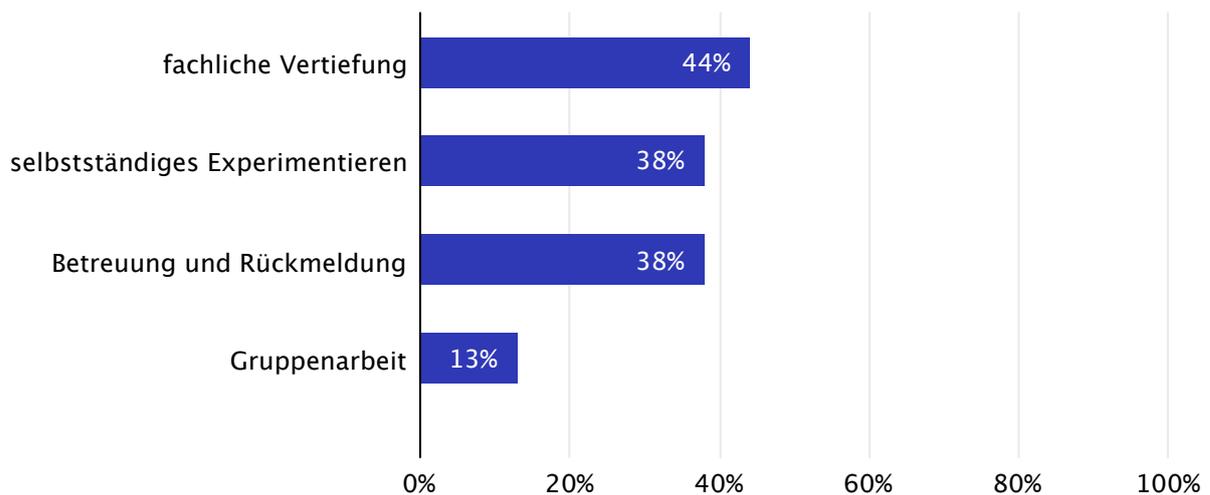


Diagramm 5.1: Vor der Umgestaltung: Antworten der Studierenden auf die Frage: „Was hat Ihnen am Praktikum gut gefallen?“.

## A.2. Nach der Umgestaltung: Kritik an den bestehenden experimentellen Übungen aus Studierendensicht

Aussage	Anzahl der Antworten	Median
A1	22	2
A2	22	2
A3	22	2
A4	22	3
A5	22	<b>2*</b>
A6	22	4
A7	22	2
A8	22	2
A9	22	2
B1	22	2
B2	22	2
B3	22	2
B4	22	2
C1	22	2
C2	22	2
C3	22	3
D1	22	3
D2	22	1
D3	22	5

Tabelle 5.2.: Auswertung der Umfrage nach der Umgestaltung.

\*Diese Antwort weicht von einer mittleren bis guten Bewertung der experimentellen Übungen ab.

### Zu Frage E:

Arithmetisches Mittel: 10 Stunden

Median: 6.5 Stunden

Da die Angaben der Studierenden sehr streuen (von 3 Stunden bis 35 Stunden) ist der Median geeigneter als das arithmetische Mittel zur Beantwortung dieser Frage.

### Zu Frage F:

Die 16 Antworten auf die Frage: „Welche Probleme sind bei der Versuchsvorbereitung, der Versuchsdurchführung und beim Erstellen des Protokolls aufgetreten?“ wurden zunächst in Kategorien eingeteilt und anschließend wurde die Häufigkeit der Nennungen miteinander verglichen. Als minimale Analyseeinheit wurden ein vollständiger Satz oder ein

Aufzählungspunkt festgelegt, in dem ein positiver Aspekt beschrieben wurde. Dabei wurden nur Aussagen berücksichtigt, die sich allgemein auf die experimentellen Übungen und nicht auf einzelne Versuche bezogen.

Kategorie 1 „**Probleme beim Erstellen des Protokolls**“: Zusammenfassung aller Antworten, die Hinweise auf Probleme beim Erstellen des Protokolls geben.

Kategorie 2 „**Probleme mit den ILIAS-Aufgaben**“: Zusammenfassung aller Antworten, die auf Probleme mit den ILIAS-Aufgaben hinweisen.

Kategorie 3 „**fachliche Probleme**“: Zusammenfassung aller Antworten, die beschreiben, dass fachliche Probleme aufgetreten sind.

Kategorie 4 „**zeitliche Probleme**“: Zusammenfassung aller Antworten, die darauf hinweisen, dass der zeitliche Umfang der Versuche zu groß ist.

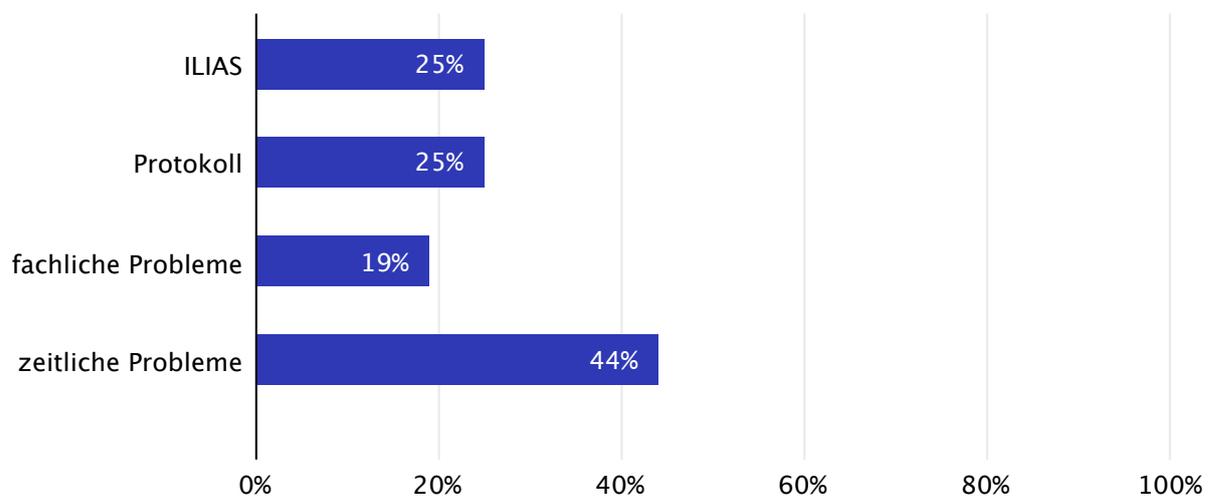


Diagramm 5.2: Nach der Umgestaltung: Antworten der Studierenden auf die Frage: „Welche Probleme sind bei der Versuchsvorbereitung, der Versuchsdurchführung und beim Erstellen des Protokolls aufgetreten?“

### Zu Frage G:

Die 17 Antworten auf die Frage: „Was hat Ihnen am Praktikum gut gefallen?“ wurden zunächst in Kategorien eingeteilt und anschließend wurde die Häufigkeit der Nennungen miteinander verglichen. Als minimale Analyseeinheit wurden ein vollständiger Satz oder ein Aufzählungspunkt festgelegt, in dem ein positiver Aspekt beschrieben wurde. Dabei wurden nur Aussagen berücksichtigt, die sich allgemein auf die experimentellen Übungen und nicht auf einzelne Versuche bezogen.

Kategorie 1 „**selbstständiges Experimentieren**“: Zusammenfassung aller Antworten, die das selbstständige, praktische Arbeiten am Experiment positiv erwähnen.

Kategorie 2 „**Betreuung und Rückmeldung**“: Zusammenfassung aller Antworten, die den engen Austausch mit der Betreuern loben.

Kategorie 3 „**Fachliche Vertiefung**“: Zusammenfassung aller Antworten, die beschrei-

ben, dass sie durch den Versuch die theoretischen Grundlagen besser verstanden haben. Kategorie 4 „**Gruppenarbeit**“: Zusammenfassung aller Antworten, die die Arbeit in Kleingruppen als positiv wahrgenommen haben.

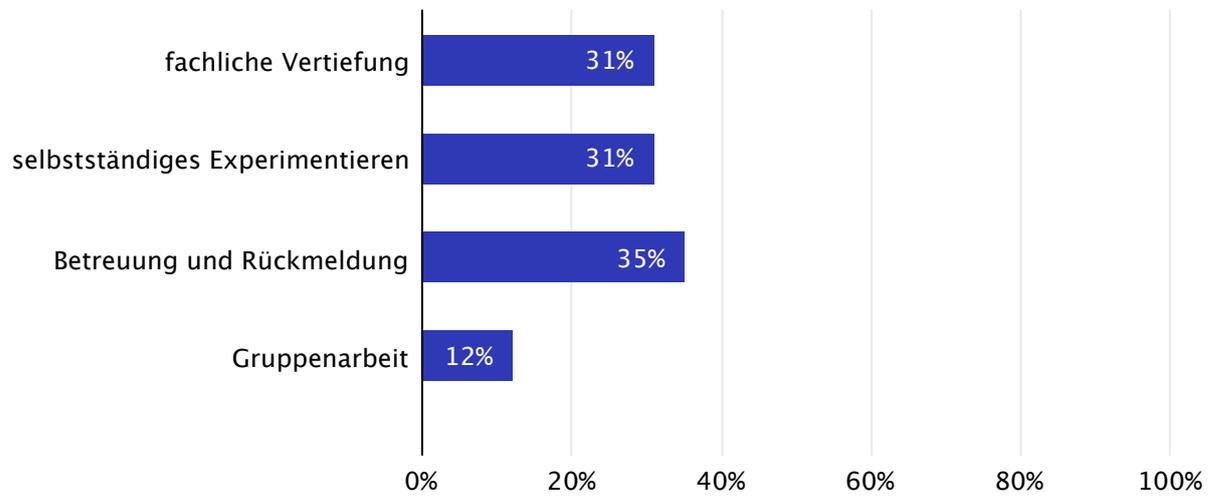


Diagramm 5.3: Nach der Umgestaltung: Antworten der Studierenden auf die Frage: „Was hat Ihnen am Praktikum gut gefallen?“

### A.3. Darstellung der Umfrageergebnisse in ILIAS

Darstellung der Fragen in ILIAS für die Studierenden:

**Bei den Versuchen wurde mir der Zusammenhang zwischen Experiment und Theorie klar.**

(1 "trifft völlig zu" - 6 "trifft nicht zu")

1  
  2  
  3  
  4  
  5  
  6

Abbildung A.1.: ILIAS-Ansicht der Studierenden.

Darstellung der Antworten der Studierenden zu jeder Frage.

Diese Ansicht haben nur die Dozenten.

<b>Frage:</b>	<b>Bei den Versuchen wurde mir der Zusammenhang zwischen Experiment und Theorie klar.</b> (1 "trifft völlig zu" - 6 "trifft nicht zu")
<b>Fragentyp:</b>	Single Choice Frage
<b>Beantwortet:</b>	20
<b>Übersprungen:</b>	2
<b>Häufigste Auswahl:</b>	2 - 2
<b>Anzahl der Auswahlen:</b>	11
<b>Median:</b>	2
<b>Antworten:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Titel:<b>1</b> Anzahl der TeilnehmerInnen, die diese Antwort ausgewählt haben: <b>1</b> Prozentsatz der NutzerInnen, die diese Antwort ausgewählt haben: <b>5.00</b></li> <li>2. Titel:<b>2</b> Anzahl der TeilnehmerInnen, die diese Antwort ausgewählt haben: <b>11</b> Prozentsatz der NutzerInnen, die diese Antwort ausgewählt haben: <b>55.00</b></li> <li>3. Titel:<b>3</b> Anzahl der TeilnehmerInnen, die diese Antwort ausgewählt haben: <b>6</b> Prozentsatz der NutzerInnen, die diese Antwort ausgewählt haben: <b>30.00</b></li> <li>4. Titel:<b>4</b> Anzahl der TeilnehmerInnen, die diese Antwort ausgewählt haben: <b>2</b> Prozentsatz der NutzerInnen, die diese Antwort ausgewählt haben: <b>10.00</b></li> <li>5. Titel:<b>5</b> Anzahl der TeilnehmerInnen, die diese Antwort ausgewählt haben: <b>0</b> Prozentsatz der NutzerInnen, die diese Antwort ausgewählt haben: <b>0.00</b></li> <li>6. Titel:<b>6</b> Anzahl der TeilnehmerInnen, die diese Antwort ausgewählt haben: <b>0</b> Prozentsatz der NutzerInnen, die diese Antwort ausgewählt haben: <b>0.00</b></li> </ul>

Abbildung A.2.: ILIAS-Ansicht der Dozenten.

## A.4. Vergleich der Umfrage vor und nach der Umgestaltung

### Mann-Whitney-Test

	Gruppe	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
C2: Die Versuchsanleitungen waren ausreichend zur Durchführung der Versuche und zum Erstellen der Versuchsprotokolle.	Vor der Umgestaltung WS 08/09	20	29,35	587,00
	Nach der Umgestaltung WS 10/11	22	14,36	316,00
	Gesamt	42		
A5: Manchmal wurde erst bei der Besprechung des Versuches deutlich, welche theoretischen Grundlagen bedeutsam sind.	Vor der Umgestaltung WS 08/09	20	19,52	390,50
	Nach der Umgestaltung WS 10/11	22	23,30	512,50
	Gesamt	42		
A6: Manchmal wurde erst bei der Durchführung des Versuches deutlich, welche theoretischen Grundlagen bedeutsam sind.	Vor der Umgestaltung WS 08/09	20	16,90	338,00
	Nach der Umgestaltung WS 10/11	22	25,68	565,00
	Gesamt	42		

### Mann-Whitney-Test

Ergebnisse zu den Fragen C2, A5 und A6<sup>a</sup>

	C2: Die Versuchsanleitungen waren ausreichend zur Durchführung der Versuche und zum Erstellen der Versuchsprotokolle.	A5: Manchmal wurde erst bei der Besprechung des Versuches deutlich, welche theoretischen Grundlagen bedeutsam sind.	A6: Manchmal wurde erst bei der Durchführung des Versuches deutlich, welche theoretischen Grundlagen bedeutsam sind.
Mann-Whitney-U	63,000	180,500	128,000
Wilcoxon-W	316,000	390,500	338,000
Z	-4,049	-1,032	-2,395
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,302	0,017

a. Gruppenvariable:

Gruppe vor der Umgestaltung WS 08/09 / Gruppe nach der Umgestaltung WS 10/11

Tabelle 5.3.: Die Antworten auf die Frage C2 und A6 unterscheiden sich signifikant. Signifikanzniveau  $\alpha : 0.05$ . Erklärungen zur Tabelle auf Seite 82.

## A.5. Umfrage zum Handbuch “Entwicklung von Aufgaben in den Naturwissenschaften”

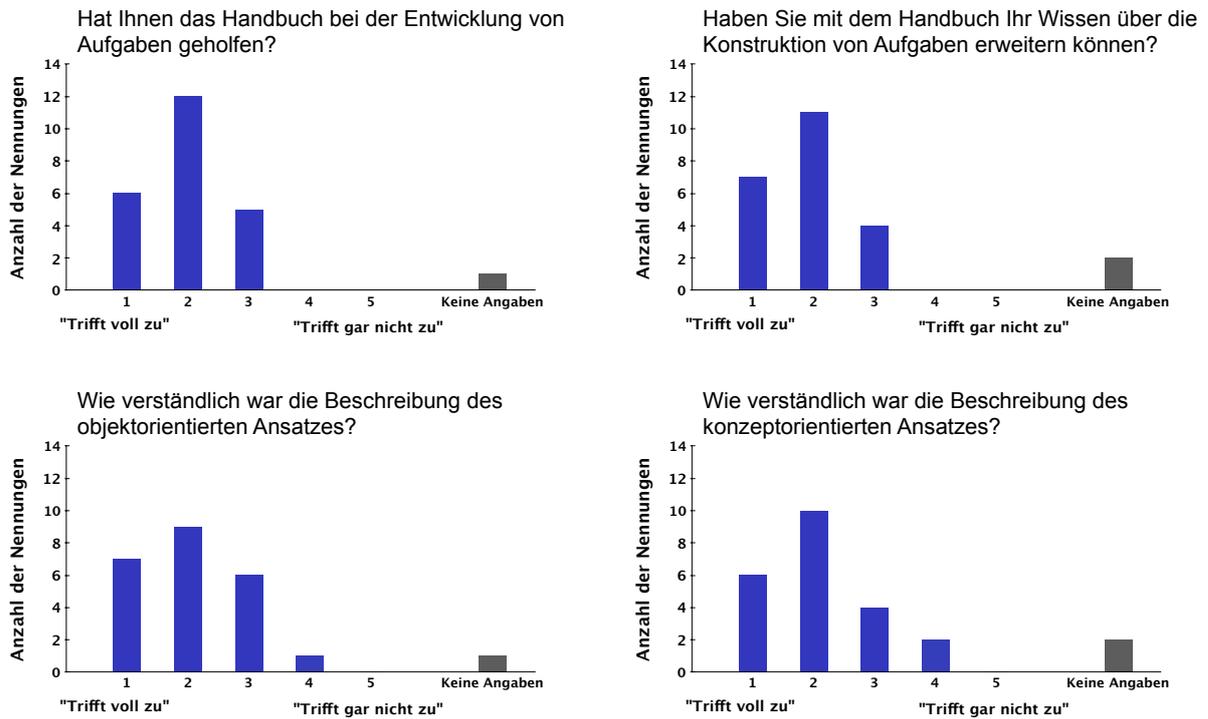


Abbildung A.3.: Umfrageergebnisse zum Handbuch:

Die Einschätzungen der Studierenden erfolgten auf einer Likert-Skala von 1 “trifft voll zu” bis 5 “trifft gar nicht zu”. In den Diagrammen sind die Häufigkeiten der Nennungen angegeben.

## B. Fachliche Inhalte

### B.1. Inhalte der Grundlagenvorlesung

#### Mechanik & Wärmelehre, Elektrik & Optik

<b>Mechnanik &amp; Wärmelehre</b>
Was ist Physik?
SI- Einheiten, Größenordnungen, Standardabweichung
Atomphysik: „Vorstellungen über die Bausteine der Welt“ vom alten Griechenland bis heute
Die vier Grundkräfte und deren Bedeutung für den Alltag
Mechanische Eigenschaft der Materie (Gase und Feste Körper)
Kräfte und Momente
Das Hooke'sche Gesetz
Arbeiten mit Vektoren
Das Drehmoment
Dynamik - Impuls als Bilanzgröße
Kinematik - Zeit und Bewegung
Gleichförmige Bewegung
Konstant beschleunigte Bewegung
Verzögerte Bewegung
Kreisbewegungen
Schwingungen & Wellen
Physik im Kontext: Bremsweg und Anhalteweg eines Autos
Impulserhaltungssatz & Energieerhaltungssatz
Schwerpunktsystem
Unterschied: Wärme und Temperatur
Stoßprozesse von Autos und Atomen
Def.: Temperatur
Maxwell- Boltzmann- Verteilung
Aggregatzustände
Spezifische Wärmekapazität eines Stoffes
Die vier Hauptsätze der Thermodynamik
Wärmeausdehnung und Wärmeleitung

Tabelle 5.4.: Inhalt der Grundlagenvorlesung Mechanik & Wärmelehre.

---

---

**Elektrik & Optik**

---

---

Aufbau der Materie
Def.: Ladungsmenge, Kraft von Ladungen aufeinander (Coulomb-Gesetz)
Def.: Elektrische Arbeit, Def.: Spannung
Modellbildung in der Elektrik
Def.: Elektrische Leistung, Def.: Elektrische Stromstärke
Messgrößen in der technischen Elektronik
Elektrische Leistungen in technischen Schaltungen
Def.: Elektrischer Widerstand
Gesetz von Ohm
Wirkung der elektrischen Stromes
Kirchhoff'schen Regeln
Reihenschaltung / Parallelschaltung von Widerständen
Elektrodynamik bewegter geladener Körper
Elektromagnetische Felder
Erzeugung und Transport von elektrischer Leistung durch Wechselspannung
Transformatoren
Elektromagnetische Wellen in der Rundfunktechnik
Brechung, Reflexion und das menschliche Sehen
Optische Geräte
Linsengleichung
Ausbreitung von Licht
Schatten
Interferenzen
Licht- Laser- Holographie

---

---

Tabelle 5.5.: Inhalt der Grundlagenvorlesung Elektrik & Optik.

*Stand: Sommersemester 2011*

## B.2. Inhalte der experimentellen Übungen für Anfänger

<b>Vor der Umgestaltung:</b>
Experimente mit der Luftkissenfahrbahn
Waage und Wägung
Oberflächenspannung von Flüssigkeiten
Bestimmung der Erdbeschleunigung
Drehschwingungen
Frequenzbestimmung mit dem Oszilloskop
Der schiefe Wurf
Spezifische Wärme und Umwandlungswärmen
Gasgesetze
Messung des Magnetfeldes der Erde
Induktivität und Kapazität
Temperaturkoeffizienten von Widerständen
Das Drehspulinstrument und seine Messbereichserweiterung
Quellen- und Klemmenspannung
Thermoelement und Peltierelement
Spektrale Empfindlichkeit von Photohalbleitern
Brennweiten von dünnen Linsen und Linsenkombinationen
Messungen am optischen Gitter
Vergrößerung von optischen Geräten
Brechzahl-Bestimmung
Fotometrie
Versuche mit polarisiertem Licht
Eigenschaften von Beta-Strahlen

Tabelle 5.6.: Inhalt der experimentellen Übungen vor der Umgestaltung.

*Stand: Sommersemester 2008*

---

**Nach der Umgestaltung:**

---

---

Experimente mit der Luftkissenfahrbahn

---

Oberflächenspannung von Flüssigkeiten

---

Bestimmung der Erdbeschleunigung

---

Frequenzbestimmung mit dem Oszilloskop

---

Der schiefe Wurf (neu)

---

Spezifische Wärme und Umwandlungswärmen

---

Gasgesetze

---

Messung des Magnetfeldes der Erde

---

Temperaturkoeffizienten von Widerständen

---

Die Kirchhoffschen Gesetze

---

Quellen- und Klemmenspannung

---

Thermoelement und Peltierelement

---

Spektrale Empfindlichkeit von Photohalbleitern

---

Brennweiten von dünnen Linsen und Linsenkombinationen

---

Messungen am optischen Gitter

---

Brechzahl-Bestimmung

---

Versuche mit polarisiertem Licht

---

Radioaktivität

---

---

Tabelle 5.7.: Inhalt der experimentellen Übungen nach der Umgestaltung.

*Stand: Sommersemester 2011*

### B.3. Kompetenzmodell für die experimentellen Übungen

Kompetenz- bereiche		Anforderungsbereiche		
		I	II	III
Fachwissen	<b>Wissen wiedergeben:</b> Fakten und physikalische Sachverhalte aus der Vorlesung und den Versuchsunterlagen reproduzieren.	<b>Wissen anwenden:</b> Physikalisches Wissen am Versuch anwenden, Sachverhalte identifizieren und nutzen, Modelle und Analogien benennen. Sicherer Umgang mit versuchsrelevanten Bestimmungsgleichungen. <i>Sich bewusst werden über die eigenen bestehenden Vorstellungen und Modelle</i>		
	<b>Mit vorgegebenen Darstellungsformen arbeiten:</b> Sachverhalte schriftlich wiedergeben können, vorgegebene Grafiken nachvollziehen, zuordnen, beschreiben und darstellen können.	<b>Geeignete Darstellungsformen nutzen:</b> Sachverhalte fachsprachlich korrekt und strukturiert darstellen, auf Beiträge und Fragen sachgerecht eingehen, Aussagen sachlich begründen.		
	<b>Fachmethoden beschreiben:</b> Physiktypische experimentelle Arbeitsweisen nachvollziehen und beschreiben.			
Fachwissen		<b>Wissen anwenden:</b> Kritische Überprüfung der Messwerte, um evtl. Fehlerquellen frühzeitig zu beheben. <b>Vorstellungen überprüfen:</b> evtl. Fehlvorstellungen erkennen.	<b>Wissen transformieren und verknüpfen:</b> Fehlvorstellungen korrigieren.	
Erkenntnis- gewinnung		<b>Fachmethoden nutzen:</b> Vorgestellte Experimente in unterschiedlichen Graden der Selbstständigkeit planen und durchführen. Wissen nach Anleitungen erschließen. Umgang mit Messgeräten üben, Sicherheitshinweise beachten.		
Fachwissen			<b>Wissen transformieren und verknüpfen:</b> Die Bedeutung des Versuchs beurteilen, physikalische Erkenntnisse für die Bewertung des Versuchs nutzen, Phänomene in physikalischen Kontext einordnen.	
Fachwissen		<b>Geeignete Darstellungsformen nutzen:</b> Sachverhalte fachsprachlich und strukturiert darstellen, Aufgaben sachgerecht bearbeiten, Aussagen sachlich begründen.	<b>Darstellungsformen selbstständig auswählen und nutzen:</b> Darstellungsformen sachgerecht und adressatengerecht auswählen, anwenden und reflektieren.	
Kommunikation	<b>Vorgegebene Bewertungen nachvollziehen:</b> Ziele und Bedeutung des Versuches schildern.	<b>Vorgegebene Bewertungen beurteilen:</b> Versuchsergebnisse mit anderen Versuchswerten und/oder Literaturwerten vergleichen und bewerten.	<b>Eigene Bewertungen vornehmen:</b> Systematische und statistische Fehler des Versuches diskutieren, Verbesserungsvorschläge benennen und begründen. Beschreibung von physikalischen Erkenntnissen in historischen und gesellschaftlichen Zusammenhängen.	
Bewertung				

Tabelle 5.8.: Kompetenzmodell für die experimentellen Übungen.

## C. Darstellung der Testergebnisse in ILIAS

### C.1. Für die Studierenden

#### Übersicht der Testläufe

Bewerteter Durchlauf	Durchlauf	Datum	Beantwortete Fragen	Erreichte Punktzahl	Prozent gelöst	
1	1	Heute	10 von 18	11.5 von 23	50.00%	<a href="#">Details anzeigen</a>

Leider haben Sie den Test nicht bestanden. Sie haben die Note „nicht bestanden“ erzielt.

Reihenfolge	Titel	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl	Prozent gelöst
1	Gleichförmige Bewegung (1)	1	1	100.00%
2	Gleichförmige Bewegung (2)	2	2	100.00%
3	Beschleunigung (1)	1	1	100.00%
4	Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung (1)	2	2	100.00%
5	Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung (2)	1	0.5	50.00%

Abbildung C.4.: Auszug aus der Darstellung der Ergebnisse nach der Beendigung des Tests.

### C.2. Für die Dozenten

Auswertung für alle NutzerInnen [Aggregierte Testergebnisse](#) [Ergebnisse zu Einzelfragen](#)

Evaluationsdaten exportieren als

(1 - 24 von 24) [Filter anzeigen](#) ▾ [Spalten](#)

Namen	Benutzername	Erreichte Punkte	Note	Beantwortete Fragen	Bearbeitungsdauer	Detaillierte Statistik
Amphipova, Inna	(arkm10)	20 von 23	bestanden	18 von 18 (100%)	00:24:33	<a href="#">Detaillierte Statistik anzeigen</a>
Bally, Marco	(mbally)	21.5 von 23	bestanden	18 von 18 (100%)	00:36:19	<a href="#">Detaillierte Statistik anzeigen</a>
Beckers, Jennifer	(jbecke1)	22 von 23	bestanden	18 von 18 (100%)	00:29:22	<a href="#">Detaillierte Statistik anzeigen</a>
Bögggering, Ma	(mböegg)	23 von 23	bestanden	18 von 18 (100%)	00:23:01	<a href="#">Detaillierte Statistik anzeigen</a>
Bergner, Patrick	(pbergn)	21 von 23	bestanden	18 von 18 (100%)	01:02:11	<a href="#">Detaillierte Statistik anzeigen</a>
Birmelich, Doroth	(dbrim1)	20.5 von 23	bestanden	18 von 18 (100%)	00:17:57	<a href="#">Detaillierte Statistik anzeigen</a>
Geis, Florian	(fgeis)	19.5 von 23	bestanden	18 von 18 (100%)	01:05:37	<a href="#">Detaillierte Statistik anzeigen</a>
Grasberger, Jona	(jgrasn)	19.5 von 23	bestanden	18 von 18 (100%)	00:23:56	<a href="#">Detaillierte Statistik anzeigen</a>

Abbildung C.5.: Darstellung der Ergebnisse für die einzelnen NutzerInnen in ILIAS.

# Anhang

Fragen Info Einstellungen Teilnehmer Manuelle Bewertung Statistik Verlauf Metadaten Export Rechte

Auswertung für alle NutzerInnen **Aggregierte Testergebnisse** Ergebnisse zu Einzelfragen

Evaluationsdaten exportieren als

### Aggregierte Testergebnisse

(1 - 6 von 5)

Ergebnis	Wert
Gesamtzahl der Personen, die den Test gestartet haben	24
Gesamtzahl der beendeten Tests (NutzerInnen, die den Test durch Drücken der Test beenden Schaltfläche fertiggestellt haben)	7
Mittlere Bearbeitungsdauer aller Tests	00:37:54
Gesamtzahl der bestandenen Tests	23
Durchschnittliche Punktzahl der bestandenen Tests	20.64 von 23
Mittlerer Bearbeitungsdauer aller bestandenen Tests	00:35:46

(1 - 6 von 5)

### Durchschnittlich erreichte Punktzahl

(1 - 18 von 18)

Fragentitel	Punkte	Prozentsatz	Anzahl der Antworten
Beschleunigung 1	0.97 von 1.00	96.67%	30
Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung 2	0.70 von 1.00	70.00%	30
Beschleunigung 2	1.40 von 2.00	70.00%	30
Der Betrag der Erdbeschleunigung	0.97 von 1.00	96.67%	30
Die Erdanziehungskraft	1.93 von 2.00	96.67%	30
Die Erdbeschleunigung	0.70 von 1.00	70.00%	30
Die Erdbeschleunigung 2	2.00 von 2.00	100.00%	30
Die Erdbeschleunigung 1	1.00 von 1.00	100.00%	30
Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung	1.93 von 2.00	96.67%	30
Die Richtung der Erdbeschleunigung	0.98 von 1.00	98.33%	30
Die Strecke	1.03 von 2.00	51.61%	31
Geichförmige Bewegung	1.00 von 1.00	100.00%	30
Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm	0.83 von 1.00	83.33%	30
Gleichförmige Bewegung 1	0.95 von 1.00	95.00%	30
Impetustheorie	0.63 von 1.00	63.33%	30
Kräfte im Flug	0.43 von 1.00	43.33%	30

Abbildung C.6.: Darstellung der Aggregierten Testergebnisse in ILIAS.

Auszug aus ILIAS im Sommersemester 2011

**D. Handbuch: Entwicklung von Aufgaben in den  
Naturwissenschaften**

---

Entwicklung von Aufgaben in den  
Naturwissenschaften

---

Handbuch für Lehramtsstudierende

Marga Kreiten

# 1 Ansätze zur Entwicklung von Aufgaben

Bei der Entwicklung von Aufgaben sollten Sie stets modellgeleitet und nicht intuitiv vorgehen, denn nur dann können Ihre Aufgaben den Lernprozess optimal unterstützen. Bevor Sie mit der eigentlichen Aufgabenentwicklung beginnen, sollten Sie zunächst die Inhalte analysieren, die von Ihren Schülern gelernt werden sollen. Sie erhalten so nicht nur einen Überblick über die fachlichen Inhalte, sondern diese Analyse kann Ihnen auch Aufschluss über erforderliche Lernvoraussetzungen und mögliche Lernschwierigkeiten bei Ihren Schülern geben.

In den folgenden Abschnitten werden Ihnen zwei Ansätze vorgestellt, die Ihnen helfen sollen Lehrtexte zu analysieren, um möglichst gute Aufgaben zu entwickeln. Im Anschluss daran wird kurz auf das Thema Zusammenstellung von Testaufgaben sowie auf die Formulierung von Aufgaben eingegangen.

## 1.1 Der objektorientierte Ansatz

### Grundlagen des objektorientierten Ansatzes

Die Idee des objektorientierten Ansatzes stammt aus der objektorientierten Analyse und Modellbildung in der Softwareentwicklung. Die objektorientierte Modellbildung geht von der Annahme aus, dass man jedem Objekt Methoden und Eigenschaften zuordnen kann. Der Begriff "Objekt" wird häufig mit einem physikalisch existenten Objekt verbunden. Es muss aber nicht zwangsläufig ein realer Gegenstand gemeint sein. Entscheidend ist allein, dass zu einem Objekt eine sinnvolle und allgemeingültige Zuordnung der Eigenschaften und Methoden möglich ist.

**Eigenschaften:** Unter Eigenschaften fasst man alle feststehenden Merkmale zusammen. Das kann zum Beispiel die Farbe oder die Form eines Objektes sein.

**Methoden:** Unter Methoden fasst man die Fähigkeiten eines Objektes. Hierzu kann zum Beispiel gehören, dass das Objekt rotiert oder sich um andere Objekte bewegt.

### Die objektorientierte Aufgabenentwicklung

Das Ziel der Aufgaben, die mit der objektorientierten Methode entwickelt wurden, ist es zu überprüfen, ob die Lernenden den Objekten die richtigen Eigenschaften und Methoden zuordnen können.

Deshalb sollte man bei der **Entwicklung** objektorientierter Aufgaben in einem ersten Schritt die relevanten Objekte herausarbeiten, sowie deren Eigenschaften und Methoden.

Diese bisher sehr abstrakte Darstellung soll nun anhand eines Beispiels veranschaulicht werden. In einer Unterrichtsreihe zur Bewegung von Sonne, Erde und Mond kann eine Analyse wie in Abbildung 1 aussehen: Die Objekte sind in diesem einfachen Beispiel "Sonne", "Erde" und "Mond".

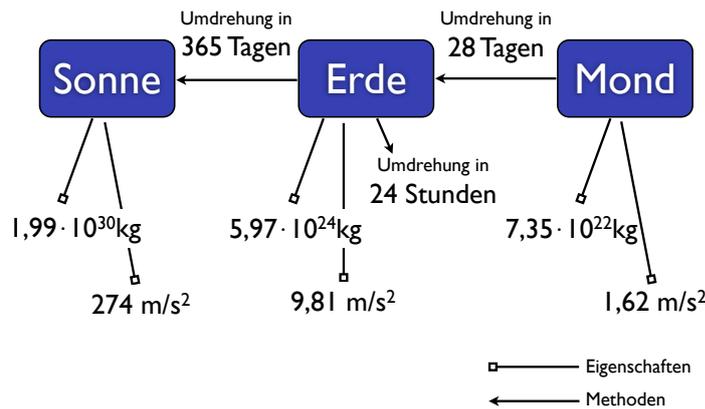


Abbildung 1: Den Objekten werden Methoden und Eigenschaften zugeordnet.

Dabei ist wichtig, dass man sich vor Beginn der eigentlichen Aufgabenformulierung über folgende Dinge Gedanken macht...

- Wie stehen die Objekte miteinander in Verbindung?
- Was sollte der Lernende zu den Objekten wissen?

Die Festlegung des zu überprüfenden Wissens, ist eine Voraussetzung zur Entwicklung der Aufgaben.

Bei Aufgaben mit *offenen Antwortformaten* kann man die einzelnen Eigenschaften und Methoden direkt abfragen. Wichtig ist hierbei, dass Begründungen eingefordert werden. Eine Aufgabe im offenen Antwortformat, könnte lauten: "Wie verhält sich der PTC bei steigender Temperatur? Begründe!" oder "Wie verändert sich der Widerstand beim Heißleiter bei sinkender Temperatur? Begründe!"

Bei Aufgaben mit *gebundenen Antwortformaten* erhält man die Distraktoren, indem man die Objekte, Methoden und Eigenschaften miteinander kombiniert.

**Beispiel:** *Der Mond dreht sich um die Erde in:*

- 24 Stunden
- 365 Tagen
- 28 Tagen

**Vorteile der objektorientierten Aufgabenentwicklung:**

Der Vorteil dieser Herangehensweise ist, dass man die Fragen sehr strukturiert entwickeln und auswählen kann. So kann man bei einem Objekt beginnen und nacheinander die einzelnen Methoden und Eigenschaften dieses Objektes abfragen.

## 1.2 Der konzeptorientierte Ansatz

### Grundlagen des konzeptorientierten Ansatzes

Konzeptfragen werden in der fachdidaktischen Forschung häufig eingesetzt zur Erhebung von themenspezifischen Vorwissen. Im Gegensatz zum objektorientierten Ansatz werden als Ausgangspunkt für die Entwicklung der Aufgaben nicht die Objekte, Methoden und Eigenschaften betrachtet, sondern die *Vorstellungen*, die die Lernenden zu den physikalischen Themen mitbringen.

### Die konzeptorientierte Aufgabenentwicklung

Das **Ziel** von Aufgaben, die mit der konzeptorientierten Methode entwickelt wurden, ist die Analyse der zugrunde liegenden Modelle und damit verbunden eine Diagnostik von falschen Vorstellungen.

Bei der **Entwicklung** dieser Aufgabe ist es daher nötig sich mit der Lerngruppe und mit typischen Fehlvorstellungen zu dem behandelten Thema auseinanderzusetzen (z.B. Abb. 2). Erst mit diesen Kenntnissen kann man Aufgaben entwickeln, die es ermöglichen, Aussagen über die verwendeten Modelle der Lernenden zu machen.

Themengebiet	Fehlvorstellung
<b>Erdbeschleunigung, freier Fall</b>	Die Richtung der Erdbeschleunigung ist immer gleich der Richtung der Geschwindigkeit.
	Die Erdbeschleunigung ist nicht konstant, sondern nimmt mit der Momentangeschwindigkeit zu oder ab.

Abbildung 2: Auflistung von falschen Vorstellungen zum freien Fall und der Erdbeschleunigung

Fragen mit *offenem Aufgabenformaten* dürfen nicht so formuliert werden, dass man mit „ja“/„nein“ allein antworten kann. Wichtig ist, dass der Lernende eine Begründung angibt. Diese Begründung muss anschließend analysiert werden, um Rückschlüsse auf die Verwendung richtiger oder falscher Modelle ziehen zu können.

**Beispiel:** *Wie verändert sich der Wert der Erdbeschleunigung, wenn man einen Ball in die Luft wirft. Begründen Sie Ihre Überlegungen.*

Bei Fragen mit *gebundenem Antwortformat* ergeben sich die Distraktoren aus den typischen Fehlvorstellungen. Wenn man sich für das gebundene Antwortformat entscheidet, muss man sich zuvor sehr genau mit den themenspezifischen Fehlvorstellungen auseinandersetzen. Die Auswertung der Antworten ist dafür anschließend wesentlich einfacher.

**Beispiel: Überprüfung der Fehlvorstellung: “Die (Erd-)Beschleunigung ist gleich der Geschwindigkeit”**

*In der Abbildung wird ein Ball nach oben (von links nach rechts) geworfen. Wählen Sie die richtige/n Aussage/n aus.*

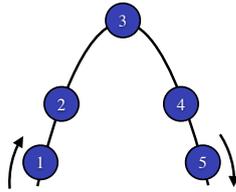


Abbildung 3: Aufgabe zum schiefen Wurf

- An der Position 3 ist die Beschleunigung gleich null.
- An der Position 3 ist die Beschleunigung kleiner als an Position 4.
- An der Position 2 hat die Beschleunigung ein anderes Vorzeichen als an Position 4.
- An der Position 2 und an der Position 5 ist die Beschleunigung gleich groß.

Nicht jeder, der die richtige Antwort ankreuzt, verwendet auch unbedingt ein richtiges Modell. Schließlich kann die richtige Antwort auch zufällig angekreuzt werden. Andersherum hat nicht jeder, der eine falsche Antwort ankreuzt auch unbedingt die Fehlvorstellung, die dieser Antwort zugrunde liegt. Denn die Antwort kann auch zufällig ausgewählt worden sein. Zudem kann es natürlich auch sein, dass die Vorstellung, die der Lernende hat, gar nicht von den Distraktoren erfasst wird.

Will man möglichst sichere Aussagen über die zugrunde liegenden Vorstellungen machen, so sollte man bei der Testentwicklung folgende Punkte beachten:

- Möglichst viele sinnvolle Distraktoren zu einer Fragestellung anbieten, damit die Wahrscheinlichkeit sinkt, dass eine bestimmte Lösung zufällig angekreuzt wird.
- Mehrere verschiedene Testaufgaben zu einer Fehlvorstellung entwickeln, damit man bei der Auswertung die Beantwortungen miteinander vergleichen kann.
- Die Aufgaben sollten nach Möglichkeit so gestellt werden, dass immer nur eine Fehlvorstellung damit getestet wird.
- Die richtige Lösung sollte nur auf Basis eines richtigen Modells angegeben werden können.

Zur Wahl des Antwortformats bei diesem Aufgabentyp sei abschließend noch gesagt: Wenn man die themenspezifischen Fehlvorstellungen gut kennt, dann bietet sich das gebundene Antwortformat an. Wenn man allerdings nicht nur bekannte Fehlvorstellungen überprüfen, sondern eventuell auch neue Fehlvorstellungen erkennen will, dann lassen Aufgaben mit offenen Antwortformaten mehr Möglichkeiten zu.

## 2 Zusammenfassung des konzeptorientierten und objektorientierten Ansatzes

Die „fertigen Aufgaben“, die mit dem Konzeptorientierten und dem objektorientierten Ansatz entstanden sind, unterscheiden sich manchmal kaum. Dennoch ist eine Unterscheidung dieser beiden Ansätze wichtig und sinnvoll, da die Ziele, die Konstruktion der Aufgaben und der Umgang mit den Ergebnissen unterschiedlich ist. Während man beim objektorientierten Ansatz die Antworten deklariert in „richtig vs. falsch“, überlegt man sich beim konzeptorientierten Ansatz, warum ein Lernender eine falsche Antwort angegeben hat und welches Modell er bei seinen Vorstellungen verwendet.

	<b>Objektorientierter Ansatz</b>	<b>Konzeptorientierter Ansatz</b>
<b>Ziel</b>	Die Zuordnung der Methoden und Eigenschaften zu Objekten soll überprüft werden.	Eine Analyse des zu Grunde liegenden Modells und Diagnostik von Fehlvorstellungen.
<b>Anwendbar</b>	Immer.	Mögliche fehlerhafte Vorstellungen müssen bekannt sein!
<b>Aufgabenkonstruktion</b>		
offenes Antwortformat	Sukzessives Abfragen der Methoden und Eigenschaften der Objekte.	Erfragen der Modellvorstellungen anhand hierzu ausgewählter Aufgabenstellungen.
Wahl der Distraktoren im gebundenen Antwortformat	Distraktoren ergeben sich aus einer falschen Kombination der Objekte, Methoden und Eigenschaften.	Distraktoren ergeben sich aus häufigen falschen Vorstellungen.
<b>Umgang mit Antworten</b>	Die Antworten werden mit richtig/falsch bewertet.	Es schließen sich Überlegungen an, wie und mit welchen Mitteln man falsche Modellvorstellungen korrigieren kann.

Abbildung 4: Zusammenfassung des objektorientierten und konzeptorientierten Ansatzes

## 3 Allgemeine Hinweise zur Aufgabenentwicklung

### 3.1 Testet die Aufgabe das, was sie testen soll?

Egal, ob man nun eine objektorientierte oder konzeptorientierte Aufgabe verwendet, immer sollte die Aufgabe an das bestehende Wissen der Lernenden anknüpfen und nicht Fachwissen voraussetzen, das der Lernende (noch) gar nicht hat.

#### Beispiel: objektorientierte Aufgabe

Wie berechnet man den Gesamtwiderstand in einer Reihenschaltung?

- Der Gesamtwiderstand ergibt sich aus der Summe der Widerstände.
- Der Gesamtwiderstand ergibt sich aus dem Kehrwert der Widerstände.
- Der Gesamtwiderstand ergibt sich aus dem Produkt der Widerstände.

Um diese objektorientierte Aufgabe lösen zu können, muss man die folgenden Begriffe kennen: Summe, Widerstand, Kehrwert, Gesamtwiderstand und Reihenschaltung. Erst dann kann man bei einer falschen Antwort schlussfolgern, dass die Zusammenhänge nicht verstanden worden sind. Jedoch kann man oft dieses Faktenwissen nicht voraussetzen. Wenn man einen Test konstruiert, sollte man deshalb neben Fragen, die Zusammenhänge (Vernetzungsfragen) abfragen, auch Fragen einbinden, die das dazu nötige Faktenwissen (Wissensfragen) testen. Eine typische Wissensfrage wäre in diesem Zusammenhang: *Welche der folgenden Abbildung zeigt eine Reihenschaltung von Widerständen* Bei konzeptorientierten Aufgaben gilt natürlich das Gleiche. Auch hier kann man nur auf ein zugrunde liegendes Modell schließen, wenn man zuvor sicherstellt, dass das Faktenwissen, das in der Aufgabe verwendet wird, den Lernenden auch bekannt ist.

### 3.2 Die Testkonstruktion

Wie bereits im vorherigen Absatz erläutert, ist es bei der Zusammenstellung eines Tests manchmal unumgänglich Wissensaufgaben einzubinden. Wenn man einen möglichst aussagekräftigen Test entwickeln will, dann sollte man neben den Wissensfragen auch Vernetzungsfragen und Modellfragen einbringen.

Vernetzungsaufgaben prüfen die Abhängigkeiten von Größen untereinander und die Eigenschaften dieser Größen. Entwickeln kann man diesen Aufgabentyp mithilfe des objektorientierten Ansatzes.

Modellaufgaben prüfen das zugrunde liegende Modell und können helfen Fehlvorstellungen zu diagnostizieren. Entwickeln kann man diesen Aufgabentyp mit dem konzeptorientierten Ansatz.

Es ist sinnvoll sowohl Vernetzungsfragen als auch Modellfragen im Test zu verwenden. Denn die Modellfragen und die Vernetzungsfragen sind nicht zwingend unabhängig von-

einander. So kann zum Beispiel ein falsches Modell dafür verantwortlich sein, dass Größen falsch vernetzt werden oder auch umgekehrt. Um die Ursache und die Wirkung besser voneinander trennen zu können, sollte man alle drei Aufgabentypen verwenden.

### Aufgaben zur Überprüfung von...

#### Faktenwissen

Die elektrische Stromstärke

Wie ist der elektrische Strom  $I$  definiert?

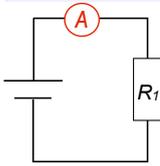
$I = \sqrt{\text{--- bitte auswählen ---}}$

- $dQ / dt$
- $dQ \cdot dt$
- $dQ / dt$
- $dt / dQ$

Entwicklung: Objektorientierten Ansatz

#### der Abhängigkeit phy. Größen

Der elektrische Widerstand



Wenn man den Widerstand  $R_1$  durch einen größeren Widerstand ersetzt, wie verändert sich die elektrische Stromstärke?

- Die elektrische Stromstärke wird größer.
- Die elektrische Stromstärke wird bleibt unverändert.
- Die elektrische Stromstärke wird kleiner.

Entwicklung: Objektorientierten Ansatz

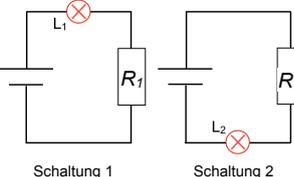
#### Modellvorstellungen

Verbrauchsvorstellung

Betrachten Sie die Schaltung 1 und die Schaltung 2. Die Lampen  $L_1$  und  $L_2$  sind baugleich.

Welche Aussage ist richtig?

- Die Lampe  $L_1$  leuchtet heller als die Lampe  $L_2$ .
- Die Lampe  $L_2$  leuchtet heller als die Lampe  $L_1$ .
- Die Lampen  $L_2$  und  $L_1$  leuchten gleich hell.



Entwicklung: Konzeptorientierten Ansatz

Abbildung 5: Verschiedene Aufgabentypen mit verschiedenen Aufgaben.

### 3.3 Hinweise zur Formulierung von Aufgaben und Distraktoren

- Aufgaben sollten möglichst kurz und eindeutig gestellt werden. Verwenden Sie zudem keine überflüssigen Wörter, die das Verständnis der Aufgabenstellung unnötig erschweren.
- Doppelte Verneinungen sollten vermieden werden. Verneinungen führen häufig zur Verwirrung, wie das folgende Beispiel zeigt.

**SCHLECHT:** Welche der folgenden Aussagen ist nicht richtig?

- s (Sekunde) ist eine SI Basiseinheit.
- m (Meter) ist keine SI Basiseinheit.
- N (Newton) ist keine SI Basiseinheit.
- J (Joule) ist eine SI Basiseinheit.

**BESSER:** Welche der folgenden *phy. Einheiten* gehört zu den *SI- Basiseinheiten*:

- s (Sekunde)
  - m (Meter)
  - N (Newton)
- Die Wahlantworten sollten möglichst homogen sein (Grammatik und Textlänge).
  - Die Wahlantworten sollten einheitlich und nach Möglichkeit immer positiv formuliert werden. Wenn Verneinungen verwendet werden, sollten die hervorgehoben werden (z.B. durch Unterstreichen).

**SCHLECHT:** Wann werden *Elektronen nicht durch ein Magnetfeld abgelenkt?*

- wenn die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  der Elektronen parallel zur Richtung des Magnetfeldes  $\vec{B}$  verläuft.
- wenn die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  der Elektronen senkrecht zur Richtung des Magnetfeldes  $\vec{B}$  verläuft.
- wenn die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  der Elektronen in einem Winkel von  $45^\circ$  zur Richtung des Magnetfeldes  $\vec{B}$  verläuft.

**BESSER:** *Elektronen werden durch ein Magnetfeld abgelenkt, AUSSER:*

- die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  verläuft der Elektronen parallel zur Richtung des Magnetfeldes  $\vec{B}$ .
  - die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  der Elektronen verläuft senkrecht zur Richtung des Magnetfeldes  $\vec{B}$ .
  - die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  der Elektronen verläuft in einem Winkel von  $45^\circ$  zur Richtung des Magnetfeldes  $\vec{B}$ .
- Distraktoren sollten sich möglichst plausibel anhören (keine „unterhaltsamen“ Distraktoren!). Jemand der keine Ahnung von der Materie hat, sollte alle Auswahlantworten mit der gleichen Wahrscheinlichkeit ankreuzen.
  - Die Qualität einer Aufgabe mit Wahlantworten wird in hohem Maße durch die Wahl der Distraktoren bestimmt! Unterschätzen Sie nicht, wie schwierig es sein kann, gute Distraktoren zu finden!
  - Die richtigen und falschen Lösungen sollten eindeutig sein.
  - Es sollten so viele Informationen wie möglich in der Aufgabenstellung enthalten sein.

**SCHLECHT:** Welche der folgenden Aussagen ist richtig:

- Der Mond dreht sich in 24 Stunden um die Erde.
- Der Mond dreht sich in 365 Tagen um die Erde.
- Der Mond dreht sich in 28 Tagen um die Erde.

**BESSER:** Der Mond dreht sich um die Erde in:

- 24 Stunden
  - 365 Tagen
  - 28 Tagen
- Verändern Sie zufällig die Position der richtigen Auswahlantwort.
  - Die Distraktoren sollten keine Hinweise auf richtige Lösungen enthalten.
  - Die verschiedenen Aufgaben eines Tests sollten unabhängig voneinander sein. Verraten Sie in einer Aufgabe nicht schon eine Lösung einer anderen Aufgabe.
  - Wenn Formeln, die in einem Lehrtext enthalten sind, abgefragt werden sollen, hat es sich als sinnvoll erwiesen, die Formeln nach verschiedenen Variablen umzustellen. Auf diese Weise kann verhindert werden, dass die Formeln nur im Text gesucht werden, ohne dass sich über den Inhalt Gedanken gemacht wird.

**Beispiel:** Üblicherweise wird die Abbildungsgleichung von idealen Linsen angegeben mit  $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ . Eine Aufgabe hierzu könnte lauten:

Welche Gleichungen gibt die Abbildungsgleichung für Linsen richtig wieder:

- $f = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$
- $f = \frac{b \cdot g}{b+g}$
- $\frac{1}{f} = \frac{b}{g}$
- $\frac{1}{f} = \frac{1}{g+b}$
- $f = g + b$

**Tipps zum weiterlesen:**

**Gronlund, N.E. (2003):** Assesment of Student Achievement.

**Haladyna, T.M. (1994):** Developing and Validating Multiple Choice Test Items.

## E. Unterlagen zu den Untersuchungen

### E.1. Informationsblätter

#### Information 1: Anschreiben an die Studierenden

Liebe Studierende,

Zur Vorbereitung auf einige Versuch müssen Sie einen Vortest bearbeiten. Dieser Vortest soll verhindern, dass Sie wegen mangelnder Vorkenntnisse von der Versuchsdurchführung ausgeschlossen werden müssen. Folgende Versuche haben einen Vortest:

- Der hydrostatische Druck
- Die Gleichungen der idealen Gase
- Dynamische und statische Ermittlung des Federkonstanten
- Mischungskalometrie

Bitte bearbeiten Sie den Vortest im Zeitraum vom 19.07.2010 - 02.08.2010. Damit der Test als *bestanden* bewertet wird, müssen Sie 70% der maximalen Punktzahl erreichen. Um diese Punktzahl zu erreichen stehen Ihnen jedoch auch zwei Testdurchläufe zur Verfügung. Nur wenn Sie den Vortest bestehen dürfen Sie den betreffenden Versuch durchführen! Sie finden den Vortest auf der E-Learning-Plattform „ILIAS“. Über die folgende Adresse gelangen Sie zum ILIAS Server:  
[hosting.e-learn.uni-koeln.de/praktikumphysik/login.php?](http://hosting.e-learn.uni-koeln.de/praktikumphysik/login.php?)

Ihr Benutzername ergibt sich aus Ihrem Vor- und Nachnamen: „vorname.nachname“ (Umlaute bitte ersetzen: ä=ae; ü=ue...). Das Passwort ist zunächst für alle Benutzer gleich und heißt: „willkommen“ (mit einem großen K)

Akzeptieren Sie zunächst die Nutzervereinbarungen. Bitte ändern Sie Ihr Passwort unter “Persönliches Profil” / “Passwort”

Um zum Kurs zu gelangen führen Sie bitte die folgenden Schritte aus:

1. Wählen Sie aus der dunkelblauen Leiste “Magazin” aus und anschließend: “Praktikum Physik”
2. Es erscheint nun der Kurs: “Experimentalpraktikum für Lehramtskandidaten und Umweltwissenschaftler”. Wenn Sie nun auf die Schaltfläche “Aktionen” klicken, können Sie dem Kurs beitreten. Wenn Sie sich das nächste Mal einloggen, wird der Kurs direkt auf Ihrer Startseite erscheinen.

Im Kurs Experimentalpraktikum für Lehramtskandidaten und Umweltwissenschaftler befindet sich eine Datei “Durchführung des Tests und Einblick in die Teststatistik”. Lesen Sie bitte diese Datei durch, bevor Sie den ersten Test bearbeiten! Bei technischen Fragen, die sich auf Schwierigkeiten oder Probleme von ILIAS beziehen, kontaktieren Sie bitte [marga.kreiten@uni-koeln.de](mailto:marga.kreiten@uni-koeln.de) .

## Information 2: Erläuterungen zu den ILIAS-Tests

### Durchführung der Tests und Einsicht in die Testergebnisse

Öffnen Sie den Kurs „Experimentalpraktikum für Lehramtskandidaten und Umweltwissenschaftler“. In diesem Kurs finden Sie die verschiedenen Tests für die ausgewählten Versuche.

Durch Anklicken auf “Test starten” können Sie einen Test öffnen.

Zunächst erscheint die Fragenübersicht. Da Sie bisher noch keine Frage bearbeitet haben, steht hinter jeder Frage dieses Symbol: X.

Fragenübersicht (1 - 14 von 14)

Reihenfolge	Titel	Maximale Punktzahl	Beantwortet
1	Ruhemasse I	1 Pt.	X
2	Ladung I	1 Pt.	X
3	Bewegung I	1 Pt.	X
4	Bewegung 2	1 Pt.	X
5	Lorentzkraft I	1 Pt.	X

Durch Klicken auf die einzelnen Fragen wird die jeweilige Frage geöffnet.

Beantworten Sie die Fragen und klicken Sie auf “weiter”. Alternativ können Sie auch immer wieder die Fragenübersicht aufrufen.

Fragenübersicht (1 - 14 von 14)

Reihenfolge	Titel	Maximale Punktzahl	Beantwortet
1	Ruhemasse I	1 Pt.	✓
2	Ladung I	1 Pt.	✓
3	Bewegung I	1 Pt.	✓

... [Zurück](#) [Test beenden](#)

Haben Sie alle Fragen beantwortet erscheint erneut die Fragenübersicht. Hinter jeder Frage, die Sie bearbeitet haben, steht nun das folgende Symbol: ✓.

Achtung: Das Symbol ✓ sagt noch nichts darüber aus, ob die Aufgabe richtig beantwortet wurde.

Nachdem Sie auf “Test beenden” geklickt haben erscheint Ihr Testergebnis. Durch “Details anzeigen” gelangen Sie zu einer genaueren Darstellung Ihrer Testergebnisse. Wie Sie in der folgenden Abbildung sehen, habe ich 90.91% der möglichen Punkte erzielt. Der Test wurde daher als bestanden gewertet, da ich über 70% der maximalen Punktzahl erreicht habe.

Bewerteter Durchlauf	Durchlauf	Datum	Beantwortete Fragen	Erreichte Punkte	Prozent gelöst	
1	1	Heute	10 von 10	10 von 11	90.91%	<a href="#">Details anzeigen</a>

Herzlichen Glückwunsch! Sie haben den Test bestanden und dabei die Note "bestanden" erzielt.

Reihenfolge	Titel	Maximale Punktezahl	Erreichte Punkte	Prozent gelöst
1	Ruhemasse 1	1	1	100.00%
2	Ladung 1	1	1	100.00%

## E.2. Personenbezogene Daten

Alle personenbezogenen Daten, die während der Untersuchung erhoben werden, werden zu ausschließlich wissenschaftlichen Zwecken ausgewertet. Die Daten werden hierzu anonymisiert, sodass eine Rückverfolgung auf Ihre Person verhindert wird. Ihre Leistungen, die Sie im Rahmen dieser Untersuchung zeigen, haben keine Auswirkung auf die Bewertung des Praktikum!

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Geschlecht:  weiblich  männlich

Haben Sie Physik in der Oberstufe belegt?

Nein

Ja

→  Grundkurs Physik

→  Grundkurs besucht bis zur Jahrgangsstufe: \_\_\_\_\_

→  Leistungskurs Physik

Physik Anschlussnote: \_\_\_\_\_

Abiturnote: \_\_\_\_\_

Anzahl der Fachsemester: \_\_\_\_\_

Welche physikbezogenen Veranstaltungen haben Sie bisher besucht: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Mit welcher Note haben Sie die Thermodynamikklausur abgeschlossen: \_\_\_\_\_

Mit welcher Note haben Sie die Mechanikklausur abgeschlossen: \_\_\_\_\_

In den kommenden Tagen werden Sie eine Email erhalten mit einem Link zum ILIAS Kurs. Nachdem Sie sich angemeldet haben können Sie auf die Unterlagen zugreifen.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

## E.3. Aufgabenblätter

### Beispiel für die Aufgaben zum Versuch Mischungskalorimetrie mit Lösungen

- Geben Sie den (modifizierten) 1. Hauptsatz der Wärmelehre wieder. (2P)
  - In einem abgeschlossenen System ... (1P)
  - ... ist die Summe aller Wärmemengen konstant (1P) oder alternativ:  $Q_{auf} = Q_{ab}$ .
- Geben Sie die Gleichung an, mit der man die Wärmemenge  $Q$  eines Stoffes bestimmen kann und erläutern Sie die Formelzeichen. (3P)

## Anhang

$$- Q = c \cdot m \cdot (T_2 - T_1) \quad (1P)$$

Q= Wärmemenge (0,5P); m=Masse (0,5P);  $T_1/T_2$  =Anfangs- und Endtemperatur  
bzw.  $\Delta T$ = Temperaturdifferenz (0,5P) c = spezifische Wärmekapazität (0,5P)

- Im Versuch sollen Sie u.a. die Wärmekapazität  $C$  des Kalorimeters bestimmen. Wie gehen Sie hierbei experimentell vor und welche Bestimmungsgleichung verwenden Sie hierzu. (4P)
  - Zu einer bestimmten Menge kaltem Wasser wird eine bekannte Menge warmes Wasser hinzugefügt. (1P)
  - Aus der Mischungstemperatur und den beiden Anfangstemperaturen kann man mit der Formel: (1P)
  - $cm_K(T_m - T_K) + C(T_m - T_K) = cm_H(T_H - T_m)$  (1P)
  - Durch Umstellen die Wärmekapazität  $C$  bestimmen. (1P)

### E.4. Zeitplan

Datum	Aufgabe
16. April (12.30 Uhr)	• Prätest
23. April bis 7. Mai	• Bearbeitung der Versuchsunterlagen • Durchführung des ILIAS-Tests • Bearbeitung des Übungspools sowie Festlegung der Fragen, die im Versuch selber experimentell überprüft werden sollen.
10. Mai bis 14. Mai	• Durchführung des Kolloquiums und des Versuches nach Absprache!
14. Mai bis 31. Mai	• Bearbeitung und Abgabe des Versuchsprotokolls
2. Juli (12.00 Uhr)	• Posttest
5. Juli bis 23. Juli	• Durchführung von Interviews/der Umfrage nach Absprache.

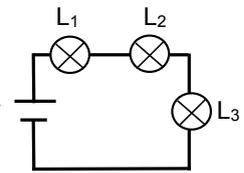
Tabelle 5.9.: Beispiel für einen Zeitplan zur Evaluation des Versuches “Die Kirchhoffschen Gesetze”.

## E.5. Konzepttest "Kirchhoffsche Gesetze"

### 1. Aufgabe

#### 1.1 Aufgabe

Drei gleiche Lampen werden in Reihe an einer Batterie angeschlossen. Kreuzen Sie die richtigen Antworten an!



Schaltung 1

#### Schaltung 1

Lampe  $L_1$  leuchtet so hell wie Lampe  $L_3$ .

richtig

falsch

weiß nicht

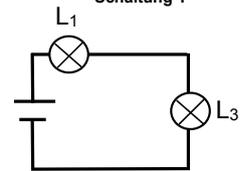



Lampe  $L_1$  leuchtet heller als Lampe  $L_3$ .




Lampe  $L_3$  leuchtet heller als Lampe  $L_1$ .





Schaltung 2

**Änderung:** Die Lampe  $L_2$  wird nun aus den Stromkreis entfernt.

#### Schaltung 2

In Schaltung 2 leuchtet die Lampe  $L_1$  heller als die Lampe  $L_3$

richtig

falsch

weiß nicht




#### 1.2 Aufgabe

#### Schaltung 2 & Schaltung 1

Lampe  $L_1$  in Schaltung 2 leuchtet genau so hell wie in Schaltung 1.

richtig

falsch

weiß nicht




Lampe  $L_1$  in Schaltung 1 leuchtet heller als in der Schaltung 2.



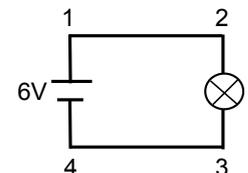

Lampe  $L_1$  in Schaltung 2 leuchtet heller als in der Schaltung 1.




### 2. Aufgabe

Wie groß ist in der **Schaltung 3** die Spannung zwischen den Punkten:

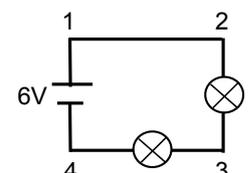
1 und 2: ..... 2 und 3: ..... 3 und 4: .....



Schaltung 3

Zwischen den Punkten 3 und 4 wird ein zweites Lämpchen der selben Sorte eingebaut. Wie groß ist in der **Schaltung 4** die Spannung zwischen den Punkten:

1 und 2: ..... 2 und 3: ..... 3 und 4: .....



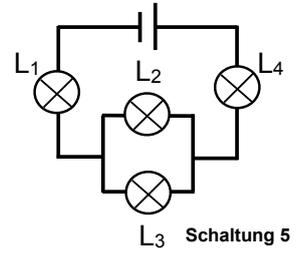
Schaltung 4

### 3. Aufgabe

In der nebenstehenden Abbildung (**Schaltung 5**) sind die Lampen alle gleich.

Beantworten Sie die folgenden Fragen:

	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$
Welche Lampen leuchten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		richtig	falsch	weiß nicht
Alle Lämpchen leuchten gleich hell.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$L_1$ leuchtet so hell wie $L_2$ .		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$L_1$ leuchtet so hell wie $L_4$ .		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$L_2$ leuchtet so hell wie $L_3$ .		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

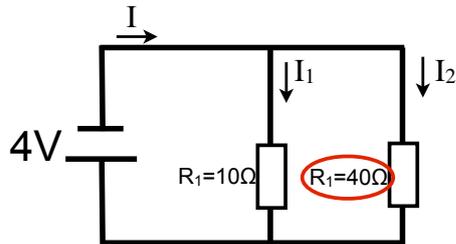


### 4. Aufgabe

Betrachten Sie die nebenstehende **Schaltung 6**.

Der Widerstand  $R_2 = 40\Omega$  wird durch einen  $50\Omega$ -Widerstand ersetzt!

Kreuzen Sie die richtigen Antworten an!



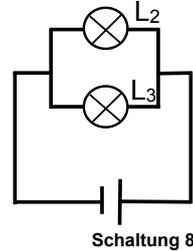
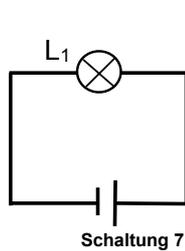
**Schaltung 6**

	kleiner	gleich bleiben	größer	weiß nicht
Der Strom $I$ wird?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Strom $I_1$ wird?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Strom $I_2$ wird?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 5. Aufgabe

### 5.1 Aufgabe

In den folgenden Abbildungen (Schaltungen 7, 8 und 9) sind die Lampen alle gleich. Die Batterie liefert zudem eine gleiche konstante Spannung. Beantworten Sie folgende Fragen:



#### Schaltung 8

Die Lampe  $L_2$  und  $L_3$  leuchten gleich hell.

richtig	falsch	weiß nicht
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### Vergleiche die Schaltung 7 und 8

$L_2$  und  $L_3$  in Schaltung 8 leuchten gleich hell wie  $L_1$  in Schaltung 7.

richtig	falsch	weiß nicht
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 5.2 Aufgabe

Nun wird in Schaltung 8 Lampe  $L_2$  aus der Fassung entfernt!

Die Lampe  $L_3$  leuchtet weiterhin.

richtig	falsch	weiß nicht
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Die Lampe  $L_3$  leuchtet so hell wie vorher.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------

Die Lampe  $L_3$  leuchtet heller als vorher.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------

Die Lampe  $L_3$  leuchtet gleich hell wie  $L_1$  in Schaltung 7.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------

### 5.2 Aufgabe

Betrachten Sie die Schaltung 9

Alle 3 Lampen leuchten gleich hell.

richtig	falsch	weiß nicht
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

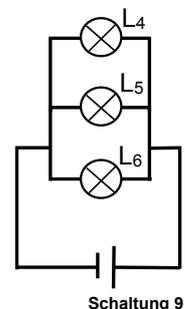
Lampe  $L_5$  leuchtet heller als Lampe  $L_4$ .

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------

Nun wird Lampe  $L_4$  aus der Fassung entfernt.

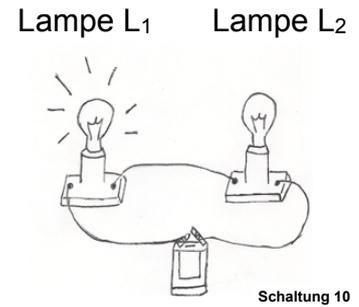
$L_5$  leuchtet jetzt heller als vorher.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------



## 6. Aufgabe

Die beiden Lampen in **Schaltung 10** sind in Serie an eine Batterie angeschlossen. Warum leuchtet dennoch nur die Lampe  $L_1$  ? Kreuzen Sie die richtige(n) Antwort(e)n an.

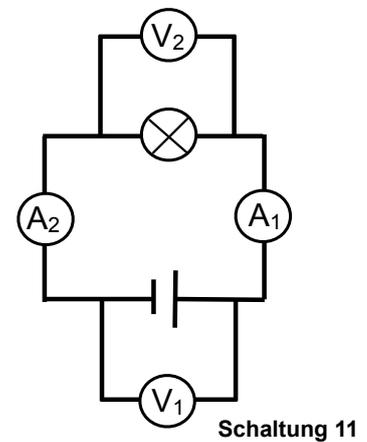


	richtig	falsch	weiß nicht
Die erste Lampe verbraucht den ganzen Strom.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lampen haben unterschiedlich große Widerstände.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Spannung in der Batterie reicht nur für die erste Lampe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lampe 2 ist defekt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Batterie ist falsch herum angeschlossen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 7. Aufgabe

Betrachten Sie die **Schaltung 11** und beantworten Sie anschließend folgende Fragen:

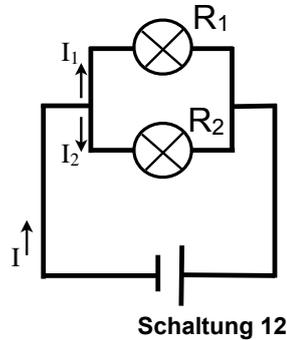
$V$  = Voltmeter  
 $A$  = Amperemeter



	richtig	falsch	weiß nicht
Die Spannung $V_1$ ist kleiner als die Spannung $V_2$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Spannung $V_1$ ist größer als die Spannung $V_2$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Stromstärke $A_1$ ist kleiner als die Stromstärke $A_2$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Stromstärke $A_1$ ist größer als die Stromstärke $A_2$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 8. Aufgabe

Betrachten Sie die **Schaltung 12**. Der Widerstand  $R_2$  der unteren Lampe ist **doppelt so groß** wie der Widerstand  $R_1$  der oberen Lampe ( $R_2 = 2 \cdot R_1$ ).

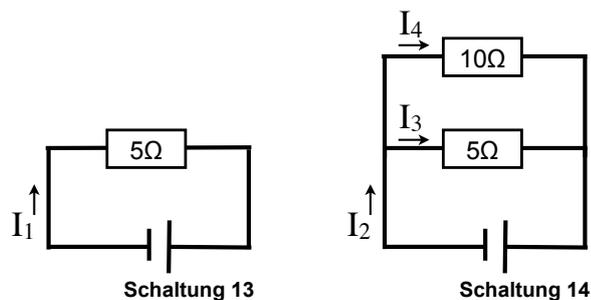


**Beantworten Sie die folgenden Fragen:**

	richtig	falsch	weiß nicht
Der Strom $I_1$ und der Strom $I_2$ sind gleich groß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Strom $I_1$ ist größer als der Strom $I_2$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Strom $I_1$ und der Strom $I_2$ sind zusammen so groß wie Strom $I$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Ströme $I_1$ und $I_2$ sind jeweils halb so groß wie der Strom $I$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 9. Aufgabe<sup>5</sup>

Vergleichen Sie die Ströme ( $I_1, I_2, I_3, I_4$ ) in der **Schaltungen 13** und in der **Schaltung 14** miteinander. Die Batterie liefert in beiden Schaltungen ein konstante Spannung.



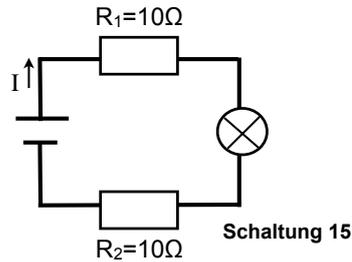
**Beantworten Sie die folgenden Fragen:**

	richtig	falsch	weiß nicht
Der Strom $I_1$ ist kleiner als der Strom $I_2$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Strom $I_1$ ist gleich groß wie der Strom $I_2$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Strom $I_3$ ist gleich groß wie der Strom $I_1$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Strom $I_3$ ist kleiner als der Strom $I_4$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Strom $I_3$ ist größer als der Strom $I_4$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<sup>5</sup>Die Aufgabe 9 wurde nicht bei allen Untersuchungen verwendet.

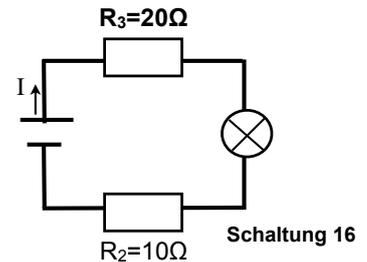
## 10. Aufgabe

Betrachten Sie die **Schaltung 15** mit den zwei gleich großen Widerständen.



**1. Änderung:** Der Widerstand  $R_1$  wird durch einen größeren Widerstand ( $R_3 = 20\Omega$ ) ersetzt. Batterie und Lämpchen bleiben dabei unverändert.

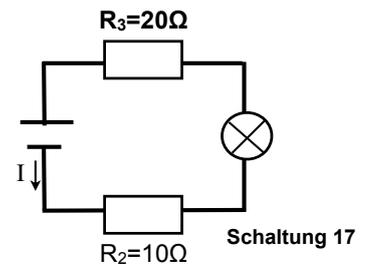
Vergleichen Sie die Schaltung 16 mit der Schaltung 15.



	richtig	falsch	weiß nicht
Das Lämpchen leuchtet nun schwächer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Lämpchen leuchtet nun heller.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Lämpchen leuchtet genau so hell wie vorher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**2. Änderung:** Änderung: Jetzt wird die Stromrichtung an der Spannungsquelle umgekehrt.

Vergleichen Sie nun die Schaltung 17 mit der ersten Schaltung 15 und kreuzen Sie an:



	richtig	falsch	weiß nicht
Das Lämpchen leuchtet nun schwächer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Lämpchen leuchtet nun heller.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Lämpchen leuchtet genau so hell wie vorher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## E.6. Konzepttest "Schiefer Wurf"

### 1. Aufgabe

a) Tünnes wirft einen Ball nach vorne in die Luft. Zeichnen Sie die Flugbahn des Balles bis zum Erreichen des Bodens ein!



b) Skizzieren Sie in dem unteren Diagramm, wie sich die Geschwindigkeit des Balles abhängig von der Zeit ändert.

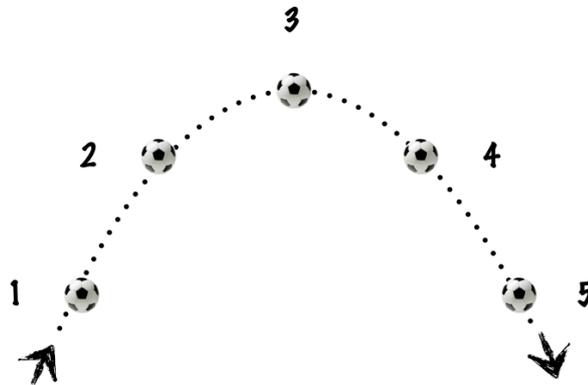


c) Begründen Sie ihre Überlegungen zu:

a) Wurfbahn des Balles und zu b) Veränderung der Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit.

## 2. Aufgabe

a) Zeichnen Sie in der Abbildung die wirkenden Kräfte (mit Pfeilen) ein, die auf den Ball an den verschiedenen Positionen wirken.

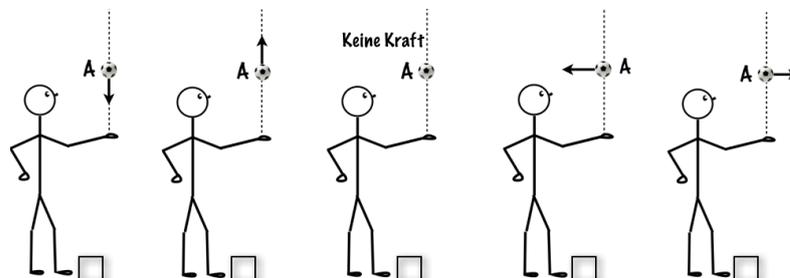
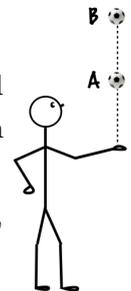


b) Begründen und erläutern Sie Ihre Überlegungen!

## 3. Aufgabe

a) Ein Ball wird senkrecht in die Luft geworfen. Nach dem Verlassen der Hand fliegt der Ball über Punkt A zum Punkt B und wieder zurück. Die Pfeile in den Abbildungen geben die Richtung der Kraft an, die auf den Ball wirkt.

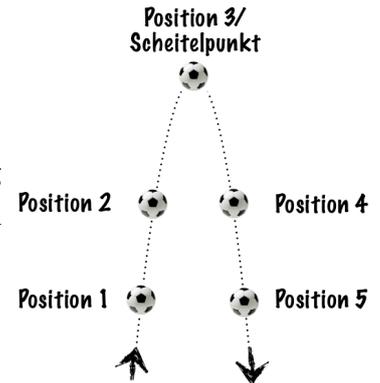
Welches dieser Bilder zeigt am Besten, welche Kraft auf dem Ball im Punkt A wirkt, wenn der Ball gerade nach oben fliegt?



b) Begründen Sie Ihre Entscheidung!

## 4. Aufgabe

Ein Ball wird in die Luft geworfen. Die nebenstehende Abbildung zeigt die Flugbahn des Balles. Wählen Sie die richtige/n Aussage/n über die Geschwindigkeit des Balles aus!



### Aufsteigender Ast (Position 1-3)

Der Ball steigt mit konstanter Geschwindigkeit.

richtig falsch weiß nicht

Der Ball wird beim Aufsteigen zunehmend langsamer.

Der Ball wird beim Aufsteigen zunehmend schneller.

Der Ball steigt zunächst mit konstanter Geschwindigkeit und wird erst kurz vor der Position 3 langsamer.

### Absteigender Ast (Position 3-5)

Der Ball sinkt mit konstanter Geschwindigkeit.

Der Ball wird beim Absteigen zunehmend langsamer.

Der Ball wird beim Absteigen zunehmend schneller.

Die Geschwindigkeit des Balles ist an jeder Position(1-5) gleich.

An Position 3 ist die Geschwindigkeit in senkrechter Richtung gleich null.

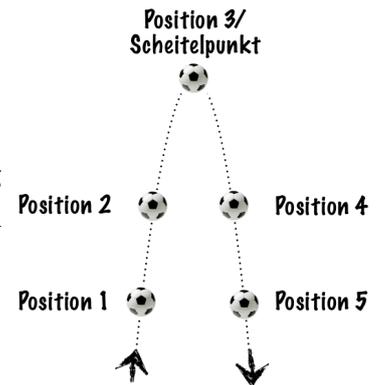
An Position 3 ist die Geschwindigkeit in senkrechter Richtung maximal.

Die Geschwindigkeit des Balles an Position 1 ist größer als an Position 2.

Die Geschwindigkeit des Balles an Position 4 ist größer als an Position 5.

## 5. Aufgabe

Ein Ball wird in die Luft geworfen. Die nebenstehende Abbildung zeigt die Flugbahn des Balles. Wählen Sie die richtige/n Aussage/n über die Beschleunigung des Balles aus!

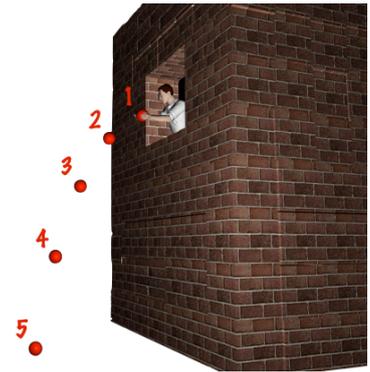


	richtig	falsch	weiß nicht
An Position 2 erfährt der Ball keine Beschleunigung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
An Position 4 erfährt der Ball keine Beschleunigung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
An Position 3 ist die Beschleunigung gleich null.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Beschleunigung ist an jeder Position (1-5) gleich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Beschleunigung an Position 1 ist kleiner als an Position 2.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Beschleunigung an Position 1 ist größer als an Position 2.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Beschleunigung an Position 4 ist größer als an Position 5.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Beschleunigung an Position 4 ist kleiner als an Position 5.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Beschleunigungen an Position 2 und Position 4 sind gleich groß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Beschleunigungen an Position 2 und Position 4 haben entgegengesetzte Vorzeichen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 6. Aufgabe

Eine Kugel wird aus der Position 1 fallen gelassen. Sie bewegt sich zunächst langsam und dann immer schneller, bis sie auf dem Boden auftrifft.

Welche der folgenden Aussagen über die Beschleunigung, die der Ball erfährt, sind richtig:



Die Beschleunigung an Position 4 ist kleiner als an Position 2.

richtig falsch weiß nicht

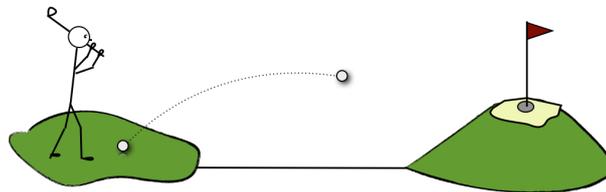
Die Beschleunigung an Position 4 ist größer als an Position 2.

Die Beschleunigung ist an jeder Position gleich.

An Position 4 erfährt der Ball die größte Beschleunigung.

## 7. Aufgabe

Ein Golfball bewegt sich längs eines „fairway“ mit folgender Flugbahn durch die Luft (s. Abbildung).



a) Welche Kraft wirkt, bzw. welche Kräfte wirken während der gesamten Flugbahn auf den Ball:

1. die Gravitationskraft
2. die Abschlagskraft
3. die Luftwiderstandskraft

A) nur 1

B) 1 und 2

C) 1,2 und 3

D) 1 und 3

E) 2 und 3

b) Begründen Sie ihre Entscheidung!

## 8. Aufgabe

Bewerten Sie die folgenden Aussagen.

Alle Effekte, die durch die Luftreibung entstehen, sollen vernachlässigt werden.

	richtig	falsch	weiß nicht
Die Geschwindigkeit eines Objektes bleibt konstant solange, die Beschleunigung konstant (und größer null) ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Geschwindigkeit eines Objektes bleibt konstant, wenn das Objekt immer stärker beschleunigt wird.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Geschwindigkeit eines Objektes bleibt konstant, wenn keine Beschleunigung wirkt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 9. Aufgabe

	richtig	falsch	weiß nicht
Die Erdbeschleunigung $g$ kann nur auf Körper wirken, die nach unten fallen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Erdbeschleunigung $g$ kann nur auf Körper wirken, die sich nach oben bewegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Erdbeschleunigung $g$ ist für alle Körper gleich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Erdbeschleunigung $g$ ist abhängig von der Masse des Körpers.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Erdbeschleunigung $g$ ist abhängig von der Geschwindigkeit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## E.7. Beispielaufgaben

Zur Testung des allgemeinen physikalischen Wissen in der Hauptstudie wurden u.a. folgende Aufgaben verwendet:

### Kraft zwischen Paralleldrähten

In zwei parallelen Drähten fließt ein elektrischer Gleichstrom. Die Leiter stoßen sich ab, wenn die Ströme in entgegengesetzter Richtung fließen und ziehen sich an, wenn die Ströme gleiche Richtung haben. Begründen Sie dies mit der Daumen- und Dreifingerregel (Skizze!).

### Halbe Sachen?

Durch eine Sammellinse entsteht ein reelles, verkleinertes und umgekehrtes Bild. Was passiert mit dem Bild, wenn Sie die Hälfte der Linse abdecken? Erläutern Sie Ihre Antwort.

### Entropie

Erläutern Sie den Begriff der Entropie aus kinetisch-statistischer Sicht und phänomenologischer Sicht!

## F. Ausgabe der Statistiken

### F.1. 1. Untersuchungsschwerpunkt

#### Vorstudie: Test auf Normalverteilung

**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: Gruppe A**

		Federkonstante Prätest	Druck Prätest	Mischungskalo- metrie Prätest	Ideales Gas Prätest
N		12	12	12	12
Parameter der Normalverteilung <sup>a,b</sup>	Mittelwert	,2067	,2833	,4667	,4325
	Standardabweichung	,22211	,11452	,18480	,27357
Extremste Differenzen	Absolut	,244	,281	,217	,319
	Positiv	,244	,281	,112	,193
	Negativ	-,176	-,134	-,217	-,319
Kolmogorov-Smirnov-Z		,845	,974	,753	1,105
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,473	,299	,622	,174

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Tabelle 5.10.: Test auf Normalverteilung bezüglich der Versuche in der Gruppe A.

**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: Gruppe B**

		Federkonstante Prätest	Druck Prätest	Mischungskalo- metrie Prätest	Ideales Gas Prätest
N		11	11	11	11
Parameter der Normalverteilung <sup>a,b</sup>	Mittelwert	,4418	,1418	,2591	,4518
	Standardabweichung	,25047	,18514	,18218	,28544
Extremste Differenzen	Absolut	,182	,307	,180	,145
	Positiv	,182	,307	,180	,145
	Negativ	-,149	-,222	-,160	-,140
Kolmogorov-Smirnov-Z		,605	1,019	,598	,481
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,858	,251	,866	,975

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Tabelle 5.11.: Test auf Normalverteilung bezüglich der Versuche in der Gruppe B.

### Vorstudie: Test auf Varianzhomogenität

#### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: M1: Druck Prätest

F	df1	df2	Sig.
1,506	3	19	,245

a. Design: Konstanter Term + FCI\_ERG + Gruppe + Geschlecht + Gruppe \* Geschlecht

#### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: W1:

Mischungskalometrie Prätest

F	df1	df2	Sig.
,589	3	19	,630

a. Design: Konstanter Term + TCI\_ERG + Gruppe + Geschlecht + Gruppe \* Geschlecht

#### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: M2 Federkonstante  
Prätest

F	df1	df2	Sig.
,635	1	21	,435

a. Design: Konstanter Term + FCI\_ERG + Gruppe

#### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: W2: Ideales Gas Prätest

F	df1	df2	Sig.
,591	3	19	,629

a. Design: Konstanter Term + TCI\_ERG + Gruppe + Geschlecht + Gruppe \* Geschlecht

Tabelle 5.12.: Test auf Varianzhomogenität: Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

## Hauptstudie: Test auf Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: Gruppe GP1 (A)

		Ergebnis in Prozent (Mechanik)	Ergebnis in Prozent (Wärmelehre)	Ergebnis in Prozent (Mechanik)	Ergebnis in Prozent (Wärmelehre)
N		10	10	10	10
Parameter der Normalverteilung <sup>a,b</sup>	Mittelwert	36,0530	67,5950	53,5030	77,3750
	Standardabweichung	21,80386	22,47617	14,80021	16,99957
Extremste Differenzen	Absolut	,228	,272	,154	,175
	Positiv	,114	,141	,112	,131
	Negativ	-,228	-,272	-,154	-,175
Kolmogorov-Smirnov-Z		,722	,861	,488	,553
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,674	,449	,971	,920

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: Gruppe GP1 (B)

		Ergebnis in Prozent (Mechanik)	Ergebnis in Prozent (Wärmelehre)	Ergebnis in Prozent (Mechanik)	Ergebnis in Prozent (Wärmelehre)
N		9	9	9	9
Parameter der Normalverteilung <sup>a,b</sup>	Mittelwert	57,6567	37,7511	71,7000	58,1778
	Standardabweichung	22,37262	22,17104	13,29367	16,68527
Extremste Differenzen	Absolut	,246	,247	,218	,247
	Positiv	,179	,247	,117	,247
	Negativ	-,246	-,171	-,218	-,136
Kolmogorov-Smirnov-Z		,737	,742	,653	,741
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,649	,641	,788	,642

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: Gruppe GP2 (A)

		Ergebnis in Prozent (Elektrik) nach Vorbereitung	Ergebnis in Prozent (Optik) nach Vorbereitung	Ergebnis in Prozent (Elektrik) nach Experimenten	Ergebnis in Prozent (Optik) nach Experimenten
N		10	10	10	10
Parameter der Normalverteilung <sup>a,b</sup>	Mittelwert	78,5820	56,9230	78,2230	73,5930
	Standardabweichung	7,26924	17,94776	9,06766	11,88136
Extremste Differenzen	Absolut	,133	,210	,162	,281
	Positiv	,111	,159	,135	,189
	Negativ	-,133	-,210	-,162	-,281
Kolmogorov-Smirnov-Z		,420	,666	,512	,890
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,995	,768	,956	,407

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: Gruppe GP2 (B)

		Ergebnis in Prozent (Elektrik) nach Vorbereitung	Ergebnis in Prozent (Optik) nach Vorbereitung	Ergebnis in Prozent (Elektrik) nach Experimenten	Ergebnis in Prozent (Optik) nach Experimenten
N		10	10	9	9
Parameter der Normalverteilung <sup>a,b</sup>	Mittelwert	28,5660	67,4800	59,1167	80,2456
	Standardabweichung	25,86166	24,37483	18,40343	15,14192
Extremste Differenzen	Absolut	,240	,223	,239	,172
	Positiv	,240	,165	,152	,120
	Negativ	-,163	-,223	-,239	-,172
Kolmogorov-Smirnov-Z		,759	,707	,716	,516
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,612	,700	,685	,952

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Tabelle 5.13.: Test auf Normalverteilung.

## Hauptstudie: Test auf Varianzhomogenität

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

(Wärmelehre nach der Vorbereitung)

F	df1	df2	Sig.
,053	1	17	,821

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Kon\_TCI + A\_B

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

(Mechanik nach der Vorbereitung)

F	df1	df2	Sig.
3,154	1	17	,094

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Kon\_FCI + A\_B

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

(Elektrik nach der Vorbereitung)

F	df1	df2	Sig.
15,480	1	18	,001

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Kon\_Elek + A\_B

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

(Optik nach der Vorbereitung)

F	df1	df2	Sig.
2,222	1	18	,153

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Kon\_Opt + A\_B

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

(Wärmelehre: Nach den Experimenten)

F	df1	df2	Sig.
,189	1	17	,669

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Kon\_TCI + A\_B

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

(Mechanik: Nach den Experimenten)

F	df1	df2	Sig.
1,790	1	17	,199

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Kon\_FCI + A\_B

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

(Elektrik nach den Experimenten)

F	df1	df2	Sig.
2,336	1	17	,145

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Kon\_Elek + A\_B

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**Abhängige Variable: Ergebnis in Prozent  
(Optik nach den Experimenten)

F	df1	df2	Sig.
,941	1	17	,346

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Kon\_Opt + A\_B

Tabelle 5.14.: Test Varianzhomogenität.

## F.2. 2. Untersuchungsschwerpunkt

### Elektrik: Test auf Gleichheit der beiden Versuchsgruppen aus dem Jahr 2009 und 2010

	Prätest		Posttest		Zuwachs (Posttest- Prätest)	
	Mittelwert	Sig.	Mittelwert	Sig.	Mittelwert	Sig.
<b>Kolmogorov- Smirnov- Anpassungstest</b>						
2009	29,8	0,720	57,5	0,433	27,8	0,650
2010	31,2	0,927	55,8	0,355	24,6	0,647
<b>Levene - Test auf Varianzhomogenität</b>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
2009 und 2010	0,90	0,766	0,514	0,477	0,52	0,821
<b>t-Test mit <i>df</i> = 42</b>	<i>T</i>	<i>Sig.</i>	<i>T</i>	<i>Sig.</i>	<i>T</i>	<i>Sig.</i>
2009 und 2010	-0,239	0,813	0,302	0,764	0,588	0,560

Tabelle 5.15.: Vergleich der beiden Versuchsgruppen. Die Ergebnisse lassen auf keine signifikanten Unterschiede schließen.

### Elektrik: Test auf Normalverteilung und Varianzhomogenität

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: KG (08)			Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: VG (09 & 10)			
		Lernzuwachs			Lernzuwachs	
N		13	N		44	
Parameter der Normalverteilung <sup>a,b</sup>	Mittelwert	7,0513	Parameter der Normalverteilung <sup>a,b</sup>	Mittelwert	26,1364	
	Standardabweichung	14,37194		Standardabweichung	17,57146	
Extremste Differenzen	Absolut	,150	Extremste Differenzen	Absolut	,160	
	Positiv	,150			Positiv	,160
	Negativ	-,133			Negativ	-,107
Kolmogorov-Smirnov-Z		,540	Kolmogorov-Smirnov-Z		1,059	
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,933	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,212	

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

#### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: Lernzuwachs

F	df1	df2	Sig.
1,000	1	55	,322

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Gruppe

Tabelle 5.16.: Ausgabe der Ergebnisse aus SPSS: Test auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest) und Varianzhomogenität (Levene-Test).

**Elektrik: Varianzanalyse**

**Tests der Zwischensubjekteffekte**  
Abhängige Variable: Lernzuwachs (Posttest-Prätest)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe <sup>b</sup>
Korrigiertes Modell	3655,184 <sup>a</sup>	1	3655,184	12,760	,001	,188	12,760	,939
Konstanter Term	11052,845	1	11052,845	38,585	,000	,412	38,585	1,000
Gruppe	3655,184	1	3655,184	12,760	,001	,188	12,760	,939
Fehler	15755,148	55	286,457					
Gesamt	46458,333	57						
Korrigierte Gesamtvariation	19410,331	56						

a. R-Quadrat = ,188 (korrigiertes R-Quadrat = ,174)  
b. Unter Verwendung von Alpha = 0,05

Tabelle 5.17.: Detaillierte Darstellung der Varianzanalyse. Die Daten wurden mit dem Statistikprogramm SPSS berechnet.

**F.3. 3. Untersuchungsschwerpunkt**

**Schiefer Wurf: Test auf Normalverteilung**

**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest**

		Differenz
N		22
Parameter der Normalverteilung <sup>a,b</sup>	Mittelwert	40,6846
	Standardabweichung	18,38373
Extremste Differenzen	Absolut	,124
	Positiv	,124
	Negativ	-,075
Kolmogorov-Smirnov-Z		,583
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,885

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.  
b. Aus den Daten berechnet.

Tabelle 5.18.: Test auf Normalverteilung.

**Schiefer Wurf: T-Test für abhängige Stichproben**

**Statistik bei gepaarten Stichproben**

		Mittelwert	N	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	Posttest	90,9933	22	11,49582	2,45092
	Prätest	50,3087	22	19,40251	4,13663

**Test bei gepaarten Stichproben**

Gepaarte Differenzen

	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		T	df	Sig. (2-seitig)
				Untere	Obere			
Paaren 1 Posttest - Prätest	40,68460	18,38373	3,91943	32,53371	48,83549	10,380	21	0,000

Tabelle 5.19.: T-Test für abhängige Stichproben

## Schiefer Wurf: Wilcoxon-Test

## Deskriptive Statistiken

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Prätest	27	46,9365	20,58543	3,70	83,33
Posttest	22	90,9933	11,49582	58,64	100,00

## Ränge

		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Posttest - Prätest	Negative Ränge	0 <sup>a</sup>	,00	,00
	Positive Ränge	22 <sup>b</sup>	11,50	253,00
	Bindungen	0 <sup>c</sup>		
	Gesamt	22		

a. Posttest &lt; Prätest

b. Posttest &gt; Prätest

c. Posttest = Prätest

Statistik für Test<sup>b</sup>

	Posttest - Prätest
Z	-4,108 <sup>a</sup>
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000

a. Basiert auf negativen Rängen.

b. Wilcoxon-Test

Tabelle 5.20.: Untersuchung auf signifikante Unterschiede zwischen dem Prätest und dem Posttest.

# Erklärung

“Ich versichere, dass ich die von mir vorgelegte Dissertation selbständig angefertigt, die benutzten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben und die Stellen der Arbeit – einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen –, die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, in jedem Einzelfall als Entlehnung kenntlich gemacht habe; dass diese Dissertation noch keiner anderen Fakultät oder Universität zur Prüfung vorgelegen hat; dass sie – abgesehen von unten angegebenen Teilpublikationen – noch nicht veröffentlicht worden ist sowie, dass ich eine solche Veröffentlichung vor Abschluss des Promotionsverfahrens nicht vornehmen werde. Die Bestimmungen der Promotionsordnung sind mir bekannt. Die von mir vorgelegte Dissertation ist von Prof. Dr. Andreas Schadschneider betreut worden”

## Teilpublikationen

- 2008 Kreiten, M. et al. (2008): Untersuchung der Elektrik- Vorkenntnisse zukünftiger GHR-Lehrer mit einem naturwissenschaftlichen Hauptfach. In: Didaktik der Physik – Berlin 2008. Berlin: Lehmanns Media.
- 2009 Kreiten, M., Schadschneider, A., Bresges, A. (2009): Kompetenzentwicklung im physikalischen Praktikum für Anfänger. In: Didaktik der Physik – 2009. Berlin: Lehmanns Media.
- 2010 Kreiten, M., Bresges, A., Schadschneider, A. (2010): Möglichkeiten von interaktiven 3d-Simulationen zur Unterstützung von Versuchen im physikalischen Praktikum. In: PhyDid-B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2010.
- Bresges, A., Hoffmann, S.; Kreiten, M.: Test and Assesment to support cooperative Learning of Physics with Moodle-Style web applications. In: “Multimedia in Physics Teaching and Learning” - Edited by: Marisa Michelini, Robert Lambourne and Leopold Mathelitsch. The Italian Physical Society, 2010.
- 2011 Kreiten, M., Vogt, P., Schadschneider A., Kuhn, J., Bresges, A. (2011): Effektivität elektronischer Testaufgaben zur Vorbereitung auf experimentelle Übungen. PhyDid-B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2011.

# Danksagung

Diese Dissertation ist das Ergebnis einer dreijährigen Arbeit am Institut für Physik und ihre Didaktik der Universität zu Köln, und der AG Physikdidaktik der Universität Koblenz-Landau, Campus Landau.

Neben den vielen Menschen in beiden Instituten, die mich auf diesem Weg begleitet haben, möchte ich vor allem meinem Betreuer Prof. Dr. Andreas Schadschneider und meinen Beratern Prof. Dr. Jochen Kuhn, Dr. Patrik Vogt, Prof. Dr. André Bresges und Prof. Dr. Wieland Müller danken. Sie boten mit ein Netzwerk aus Ideen und Unterstützung, aus dem ich mich für diese Arbeit hervorragend bedienen konnte.

Während der Arbeit mit Studierenden in den experimentellen Praktika des Institutes für Physik und Ihre Didaktik war die Unterstützung des Laborleiters, Herrn Anton Arendt, für mich unverzichtbar. Auf diesem Wege meinen Dank für seine kontinuierliche praktische Unterstützung von Studentenzeit an.

Meine Familie hat mir das Studium ermöglicht und mich immer unterstützt. Dafür bin ich insbesondere meinen lieben Eltern, Hans und Annetrud Kreiten, sehr dankbar und auf immer verpflichtet.