

Wissenschaftliche Hausarbeit für das Lehramt an Gymnasien

eingereicht dem Amt für Lehrerbildung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Ein Learn-Management-Kurs mit Videoaufzeichnungen
zur Ergänzung der Experimentalphysikvorlesungen

Fach: Physik

Sebastian Höfler

Betreuer: Prof. Dr. Rudolf Feile
Institut für Festkörperphysik
Technische Universität Darmstadt

Abgabe: 1. März 2010

1. Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis.....	i
2. Einleitung.....	1
2.1. Hinführung zum Thema.....	1
2.2. Inhaltlicher Aufbau.....	2
3. Physikalische Experimente, Neue Medien und E-Learning.....	4
3.1. Physikalische Experimente in Lehr-Lernsituationen.....	4
3.2. Neue Medien in Lehr-Lernsituationen.....	6
3.3. Abbilder physikalischer Experimente.....	6
3.3.1. Bilder.....	6
3.3.2. Videos.....	7
3.3.3. Animationen.....	9
3.3.4. Simulationen.....	9
3.3.5. Interaktive Bildschirmexperimente.....	10
3.4. E-Learning.....	11
3.4.1. Aktueller medienpädagogischer Standpunkt – Blended Learning.....	12
3.4.2. Studien und Evaluationen zur Nutzerakzeptanz von E-Learning- Angeboten.....	13
3.5. Fazit.....	15
4. Konzipierung eines E-Learning-Arrangements zur Ergänzung der Experimentalphysikvorlesungen.....	16
4.1. Problemanalyse.....	17
4.2. Infrastrukturelle Voraussetzungen für E-Learning an der TU Darmstadt - Ressourcenanalyse.....	17
4.3. Adressatenanalyse.....	19
4.4. Experimentalphysik an der TU Darmstadt im Wintersemester 2009/10.....	20
4.5. Analyse der Lernmotivation.....	21
4.6. Strukturierung eines E-Learning-Arrangements zur Ergänzung der Experimentalphysik	21
4.7. Lernmanagement-Systeme.....	23
4.7.1. Zentrale Lernmanagement-Systeme der TU Darmstadt.....	25
4.8. Didaktisches Design des Lernmanagement-Kurses.....	27
4.8.1. Lernerfahrung der Studierenden mit Lernmanagement-Systemen.....	28
4.8.2. Segmentierung des Lernmanagement-Kurses.....	29
4.8.3. Sequenzierung der Inhaltskomponente.....	30
4.8.4. Gestaltung der Kommunikationskomponente.....	36
4.8.5. Medienauswahl.....	38
5. Erstellung der Medien.....	40
5.1. Die Lehr-Lerntexte.....	40
5.1.1. Physikdidaktische und medienpädagogische Grundlagen und deren Umsetzung.....	40

5.2.Bilder.....	42
5.2.1.Medienpädagogische und physikdidaktische Grundlagen.....	43
5.2.2.Verwendete Technik.....	43
5.3.Videoaufzeichnungen physikalischer Experimente.....	44
5.3.1.Das Produktionsverfahren.....	44
5.3.2.Sprachkommentare.....	47
5.3.3.Verwendete Technik.....	48
5.3.4.Grundlagen zum Aufbau von physikalischen Experimenten zu Aufzeichnungszwecken.....	50
5.3.5.Aufnahmetechnische Probleme.....	52
5.3.6.Aufgezeichnete Experimente.....	56
5.3.6.1.Reflexion von Wärmestrahlung.....	56
5.3.6.2.Reflexion und Fokussierung von Wärmestrahlung.....	58
5.3.6.3.Lichtmühle.....	60
5.3.6.4.Absorption von Wärmestrahlung.....	61
5.3.6.5.Antrieb der Lichtmühle durch Wärmestrahlung.....	63
5.3.6.6.Emission von Wärmestrahlung.....	64
5.3.6.7.Kirchhoffsches Strahlungsgesetz.....	66
5.3.6.8.Lichtmühle in Eiswasser.....	68
5.3.6.9.Abstandsgesetz.....	69
5.3.6.10.Stefan-Boltzmann Gesetz.....	74
5.3.6.11.Wiensches Verschiebungsgesetz.....	85
5.4.Verwendung fremder Medien.....	90
6.Kurslayout und Implementierung der Medien.....	92
6.1.Kurslayout.....	92
6.1.1.Der Kursraum.....	92
6.1.2.Die Themenblöcke.....	93
6.1.3.Kommunikationswerkzeuge.....	94
6.2.Implementierung der Medien.....	94
6.2.1.PDF-Dokumente.....	94
6.2.2.Experimentvideos.....	95
7.Resumee und Ausblick.....	96
7.1.Resumee.....	96
7.2.Ausblick.....	98
Abbildungsverzeichnis.....	100
Literaturverzeichnis.....	101
Glossar.....	106
Anhang.....	107

2. Einleitung

2.1. Hinführung zum Thema

Aktuell ist E-Learning als ein wichtiges Element in nahezu allen Domänen der Bildungsarbeit etabliert. Dabei werden internetgestützte Lernumgebungen zu unterschiedlichsten Themen an unterschiedlichste Zielgruppen adressiert. Die zunehmende Durchdringung der Universitäts- und Hochschullehre mit internetgestützten und multimedial aufbereiteten Lernumgebungen erfordert für ihren zielgerichteten und sinnvollen Einsatz eine Auseinandersetzung mit deren Konzeption und Gestaltung.

Der vermehrte Einsatz des Mediums „Video“ in internetgestützten Lernumgebungen spiegelt dessen wichtige Rolle im E-Learning wider. Diese basiert auf einem einfachen Sachverhalt: Der Einsatz von Videos eignet sich besonders, „[...] *um komplizierte und realitätsnahe Zusammenhänge zu zeigen, die sich nur schwer in Worte fassen lassen.*“ (Kritzenberger 2005, S.92).

An der Technischen Universität Darmstadt wurde zur Integrierung des E-Learning in die universitäre Lernpraxis eigens eine Institution geschaffen, das *e-learning center*. Die Aufgabe des *e-learning centers* ist der Ausbau des Angebotes an E-Learning-Arrangements und deren Weiterentwicklung. In diesem Kontext werden als eine Realisierungsmöglichkeit internetgestützter Lernumgebungen sogenannte Lernmanagement¹-Kurse eingesetzt. Ihr Ziel ist, durch eine Bereitstellung multimedialer Lehr-Lernmaterialien Lernaktivitäten bei Studierenden anzuregen und zu unterstützen.

In diesem Zusammenhang untersucht die vorliegende wissenschaftliche Hausarbeit die Möglichkeit einer Ergänzung der Experimentalphysikvorlesungen mit einem Lernmanagement-Kurs im Sinne einer vorlesungsbegleitenden Selbstlern-einheit. Neben der Erarbeitung eines dazu geeigneten Konzeptes und dessen Realisierung in einem prototypischen Lernmanagement-Kurs zum Themengebiet „Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“ liegt ein weiterer Schwerpunkt dieser

¹ Der Begriff „Lernmanagement“ wird in der Fachliteratur nicht einheitlich verwendet, gebräuchlich sind auch die Bezeichnungen „Learn-Management“ und „Learning Management“. In dieser Arbeit wird durchgängig der Begriff „Lernmanagement“ verwendet.

Arbeit auf der Planung und der Produktion von Videoaufzeichnungen physikalischer Experimente und deren Einbindung in die Lernumgebung. Die Bereitstellung der Videoaufzeichnungen physikalischer Experimente ist als Ergänzungsangebot zu den in den Vorlesungen gezeigten Demonstrationsversuchen vorgesehen. Diese Anreicherung der Selbstlernphase mit Videoaufzeichnungen soll den Studierenden das Lernen physikalischen Grundlagenwissens erleichtern und ihren Lernprozess effektivieren.

Dazu sollen den Studierenden nicht nur Lehr-Lernmaterialien zu den physikalischen Inhalten bereitgestellt werden, sondern auch deren Kommunikation untereinander und mit den Lehrenden für fachliche Diskussionen auf möglichst einfachem Weg ermöglicht werden.

2.2. Inhaltlicher Aufbau

Zu Beginn dieser Arbeit wird die physikdidaktische und medienpädagogische Grundlage für eine Ergänzung der Experimentalphysikvorlesungen geschaffen. In Kapitel 3 werden dazu die Relevanz von Experimenten für das Verständnis physikalischer Inhalte und die Möglichkeiten ihrer Darstellung in Form digitaler Medien diskutiert. Außerdem werden grundlegende medienpädagogische Begrifflichkeiten bezüglich des E-Learning eingeführt und Ergebnisse aus Studien zu diesem Thema vorgestellt.

Die angestellten Gedankengänge fortführend wird in Kapitel 4 die Erarbeitung eines Konzepts zur Ergänzung der Experimentalphysikvorlesungen mithilfe eines Lernmanagement-Kurses ausgeführt. Dazu werden im Rahmen des didaktischen Designs getroffene Entscheidungen beschrieben und deren Umsetzung im prototypischen Lernmanagement-Kurs mit dem Titel „EXPERIMENTALPHYSIK–Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“ dargestellt.

Anschließend wird in Kapitel 5 die Produktion der für die Erstellung der konzipierten Selbstlernumgebung benötigten Lehr-Lernmedien, insbesondere die Videoaufzeichnung physikalischer Experimente, behandelt. In den Ausführungen werden insbesondere die Planungsphase betreffende gestaltungsorientierte Fragestellungen und technische Aspekte berücksichtigt und deren Umsetzung dargelegt. Am Ende des Kapitel wird eine detaillierte Auflistung aller aufgezeichneten Experimente gegeben.

In Kapitel 6 werden die Implementierung der produzierten Lehr-Lernmedien in den Lernmanagement-Kurs und das entstandene Kurslayout erläutert.

Zum Abschluss wird in Kapitel 7 ein Ausblick auf die Möglichkeiten einer Ausweitung des Angebotes an Lernmanagement-Kursen und deren Weiterentwicklung gegeben.

In dieser wissenschaftlichen Hausarbeit werden, soweit möglich und sinnvoll, geschlechtsneutrale Begriffe benutzt. Zugunsten eines guten Leseflusses wurde auf eine durchgehende Bildung der weiblichen Form verzichtet. Weibliche Personen sind in den gewählten Formulierungen stets mit eingeschlossen.

3. Physikalische Experimente, Neue Medien und E-Learning

Dieses Kapitel beinhaltet die für die Konzipierung eines E-Learning-Angebotes zur Ergänzung und Bereicherung der Experimentalphysikvorlesungen essentiellen physikdidaktischen und medienpädagogischen Grundlagen.

3.1. Physikalische Experimente in Lehr-Lernsituationen

Experimente sind ein unverzichtbarer Bestandteil der physikalischen Methode. Nach Bleichroth bezeichnet der Begriff *Experiment* aus didaktischer Sicht „[...] spezielle apparative Anordnungen, die physikalische Vorgänge unter reproduzierbaren und variierbaren Bedingungen beobachtbar machen und die entwickelt werden, um Hypothesen oder Prognosen in Zusammenhang physikalischer Theorien zu prüfen.“ (Bleichroth [u.a.] 1999, S.247/248). Experimente eignen sich daher, Lernenden Denk- und Arbeitsweisen der Physik zu vermitteln sowie Lernende bei der Gewinnung von Erkenntnissen und Einsichten in physikalische Zusammenhänge zu unterstützen (vgl. Bleichroth [u.a.] 1999, S.248).

Kircher, Girwidz und Häußler (2001, S.119ff) konkretisieren diese Hilfestellung und zeigen die Möglichkeiten einer Vereinfachung des Lernens von Physik durch Experimente:

- Charakteristische Eigenschaften eines physikalischen Begriffs können mittels Experiment demonstriert werden. *„Eine solche Demonstration kann ausdrucksstärker, informativer, lernökonomischer als eine noch so genaue Beschreibung oder Definition des entsprechenden Begriffs sein.“* (Kircher, Girwidz & Häußler 2001, S.119).
- Idealisierungen werden durch Experimente veranschaulicht und können so in die Lebenswelt der Lernenden zurückgeholt werden.
- Durch Experimente können Abhängigkeiten physikalischer Größen direkt veranschaulicht und analysiert werden.
- Experimente gestalten das Lernen erlebnisreicher und können es so zufriedenstellender realisieren.

Die hier genannten Aspekte zeigen deutlich die vermittelnde Funktion des Experiments im Lehr-Lernprozess. Das Experiment ist ein wichtiges Medium zur Veranschaulichung von Phänomenen und zur Vermittlung physikalischer Vorstellungen beziehungsweise der Korrektur von Fehlvorstellungen.

Besonders selbstständiges Experimentieren ist förderlich für den Lernerfolg. Hier werden sowohl eigene fachspezifische Experimentierfähigkeiten und -fertigkeiten erworben, als auch theoretisches physikalisches Wissen durch Anwenden gefestigt, vertieft und begreifbar gemacht. Nachteilig am selbstständigen Experimentieren ist der hohe Zeitaufwand bei der Vorbereitung und Justierung der Aufbauten, sowie der zusätzliche Aufwand durch die notwendige Betreuung beim Experimentieren (vgl. Kircher, Girwidz & Häußler 2001, S.290).

Im Rahmen einer Experimentalphysikvorlesung an einer Universität oder Hochschule ist selbstständiges Experimentieren der Studierenden nicht vorgesehen. Experimentelle Fertigkeiten sollen Studierende durch absolvieren der Grund- und Fortgeschrittenenpraktika erlernen. Zur Förderung des Lernprozesses werden in den Vorlesungen so genannte *Demonstrationsversuche* eingesetzt: Vor der Vorlesung werden die Versuche aufgebaut und eingerichtet. In der Vorlesung demonstriert der Lehrende oder ein Assistent den Studierenden die vorbereiteten Versuche.

Der entscheidende Nachteil des Demonstrationsversuches gegenüber einem selbst durchgeführten Experiment ist die passive Rolle des Studierenden. Die fehlende Eigentätigkeit verhindert den Erwerb experimenteller Kompetenzen. Für das Verständnis physikalischer Begriffe und Gesetzmäßigkeiten sind Demonstrationsversuche allerdings förderlich, indem sie zum Beispiel in den Experimentalphysikvorlesungen sprachlich oder mathematisch beschriebene physikalische Lerngegenstände visualisieren.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Experimente einen erheblichen Beitrag zum etwaigen Lernerfolg in der Physik leisten. Leider ist aus praktischen Gründen das Angebot für selbstständige Experimentiererfahrungen und auch das Angebot an dargebotenen Demonstrationsversuchen beschränkt. Eine Möglichkeit den Lehr-Lernprozess trotzdem mit Experimenten anzureichern bietet der Einsatz Neuer Medien. Ein solches mediales Angebot kann beispielsweise über ein E-Learning-Arrangement zur Verfügung gestellt werden.

3.2. Neue Medien in Lehr-Lernsituationen

Unter den Begriff der *Neuen Medien* fallen diejenigen Medien, welche digital mit Hilfe des Computers und des Internets realisiert werden (vgl. Lermen 2008, S.218). In Lehr-Lernsituationen wird ihnen ein den Lernerfolg förderndes Potential zugesprochen. Nach Reinmann-Rothmeier (2003, S.13) können Neue Medien die Darstellung und die Vermittlung von Wissen verbessern und neue Formen des Lernens anregen, anleiten und begleiten sowie die Organisation des Lernens verändern. Voraussetzung hierfür ist allerdings ihr Einsatz im richtigen didaktischen Rahmen. Neue Medien an sich sind nicht zwangsläufig lernförderlich. Ihre Lernwirksamkeit entfalten sie nur durch den Einsatz in didaktisch und methodisch sinnvoll gestalteten Lehr-Lernsituationen. Zu berücksichtigen ist daher immer die Frage nach dem Mehrwert, welcher im Lernprozess durch ihren Einsatz erreicht wird, denn Neue Medien sollen Lernarrangements mit traditionellen Medien nicht ersetzen, sondern bereichern (vgl. Kerres 2001, S.85).

Die Anreicherung von Lehr-Lernsituationen im Fach Physik mit physikalischen Experimenten kann durch ein Angebot von Abbildern physikalischer Experimente in Form von Neuen Medien realisiert werden. Eine detaillierte Betrachtung der hierfür in Frage kommenden Abbilder ist im anschließenden Unterkapitel gegeben.

3.3. Abbilder physikalischer Experimente

Als standardmäßig in Lehr-Lernsituationen eingesetzte Abbilder physikalischer Experimente wurden durch Recherche die folgenden Typen identifiziert: Bilder, Videos, Animationen, Simulationen und Interaktive Bildschirmexperimente. Im Folgenden wird ein Überblick über deren Nützlichkeit in Lehr-Lernsituationen gegeben.

3.3.1. Bilder

Bilder bieten die Möglichkeit, komplexe Sachverhalte, welche verbal aufwendig zu erklären sind, ökonomischer zu beschreiben (vgl. Kircher, Girwidz & Häußler 2001, S.247). So können zum Beispiel fotografische Abbilder realer Versuchs-

aufbauten sprachliche Beschreibungen des Versuchs veranschaulichen. Durch den Einsatz von Bildbearbeitungsprogrammen können digitale Fotografien nachbearbeitet werden, um so für den Betrachter das Verstehen des Bildes zu erleichtern. Realisiert werden können solche Hilfestellungen zum Beispiel durch das Umrahmen wichtiger Bildteile, das Vergrößern von Ausschnitten und das Anbringen von Hinweisen zur Bildbetrachtung mit Pfeilen oder Nummern (vgl. Niegemann [u.a.] 2008, S.219/220).

3.3.2. Videos

Der Begriff *Video* steht für eine elektronisch gespeicherte beziehungsweise übermittelte Filmaufnahme (vgl. Niegemann [u.a.] 2004, S.147). Im Rahmen dieser Arbeit wird der Definition dieses Objekts explizit die Eigenschaft der Speicherung und Übermittlung der Daten in digitaler Form hinzugefügt.

Videos kombinieren auditive und visuelle Informationen. Im Vergleich zu reinen text-, bild- oder tonbasierten Medien bieten Videos eine Reihe von Vorteilen:

- *Realitätsnähe und Informationsdichte*: Aktuell stellen Videos die genaueste Möglichkeit dar, Realität abzubilden (vgl. Kritzenberger 2005, S.91). Das Video ist der Sprache hinsichtlich der Detailliertheit und Fülle der übermittelten Information überlegen. Dies resultiert aus der Kombination von visuellen Informationen, ergänzenden Hintergrundgeräuschen und gesprochenen Kommentaren (vgl. Niegemann [u.a.] 2004, S.148). Wie für das Medium Bild gilt auch für das Video, dass komplexe Versuchsaufbauten ökonomischer beschrieben werden als unter Verwendung reiner Sprache. Ferner existiert keine wirklichkeitsgetreuere Abbildung der in einem Experiment zu beobachtenden Phänomene als das Video.
- *Räumliches Empfinden*: Videos ermöglichen im Vergleich zu Bildern ein höheres räumliches Empfinden. Bewirkt wird dies durch die Bewegung der Objekte und der Möglichkeit zur dynamischen Veränderung des Blickwinkels (vgl. Kircher, Girwidz & Häußler 2001, S.265). Diese Unterstützung der Wahrnehmung erleichtert das vollständige Erfassen einer Versuchsanordnung und fördert somit das Erschließen der Gesamtheit ihrer Funktionen.

-
- *Zeitbezug*: Eine Videoaufnahme bildet Prozesse in Echtzeit ab. Damit sind Videos für die Darstellung von zeitabhängigen Vorgängen, wie zum Beispiel physikalischer Experimente, hervorragend geeignet (vgl. Niegemann [u.a.] 2004, S.148). Sehr langsame beziehungsweise sehr schnelle Abläufe können mittels der filmtechnischen Methode des Zeitraffers oder der Zeitlupe anschaulicher gestaltet werden.
 - *Interaktivität*: Ein Video bietet seinem Betrachter die Option, die Wiedergabe aktiv zu steuern. Insbesondere bei der Betrachtung mittels Computer, da hier die Funktionen Start, Stopp und Wiederholung besonders einfach zu bedienen sind. So besteht beispielsweise die Möglichkeit, interessante beziehungsweise kritische Passagen beliebig oft anzusehen oder durch Anhalten des Videos einzelne Standbilder zu betrachten. Dem Betrachter erlaubt dies die Anpassung der Informationsaufnahme an dessen individuelles Lerntempo sowie eine im Vergleich zu anderen Medien gesteigerte „[...]Qualität der geistigen Auseinandersetzung mit dem Gezeigten[...]“ (Niegemann [u.a.] 2004, S.149).
 - *Steuerung der Aufmerksamkeit*: Bei der Produktion eines Videos stehen verschiedene filmtechnische Methoden zur Verfügung, welche die Informationsaufnahme beeinflussen können: Kameraführung, Filmschnitt, Zeitlupe, Zeitraffer, Zoom und Trickeinblendungen (vgl. Kircher, Girwidz & Häußler 2001, S.265). Mit ihrer Hilfe kann die Aufmerksamkeit des Betrachters ganz gezielt auf wesentliche Aspekte eines Experiments gelenkt werden.
 - *Veranschaulichung schwer erkennbarer Details*: Die filmtechnischen Methoden, Zoom, Zeitlupe und Zeitraffer, gestatten das Sichtbarmachen von in der Realität nur schlecht sichtbaren oder gar nicht sichtbaren Vorgängen oder Details eines Experiments.

Eine hohe Informationsdichte kombiniert mit schnell aufeinander folgenden Szenewechseln kann die Verarbeitungskapazität des Betrachters überfordern. Vor ihrem Einsatz in Lehr-Lernsituationen sollten Videoaufnahmen daher auf diese Gefahr geprüft werden.

Ebenfalls kritisch zu sehen ist die fehlende Eingriffsmöglichkeit in den Ablauf des aufgezeichneten Experiments. Darbietungsreihenfolge und auch Darbietungsdauer können vom Betrachter nicht aktiv beeinflusst werden (vgl. Kircher, Girwidz & Häußler 2001, S.265).

Positiv auf die Verwendung von Videoaufzeichnungen in Lehr-Lernsituationen wirkt sich folgende Entwicklung aus: In den letzten Jahren sind der Aufwand zur Produktion eines Videos und die damit verbundenen Kosten stark gesunken. Die zur Erstellung und Bearbeitung erforderlichen Werkzeuge sind kostengünstig, wenn nicht sogar kostenfrei, verfügbar (vgl. Falke 2009, S.223/224). Auch die zur Betrachtung nötigen Werkzeuge sind in der Regel kostenfrei. Hierdurch wird eine breitere Nutzung von Videos in Lehr-Lernsituationen ermöglicht.

3.3.3. Animationen

Unter einer Animation wird die Wiedergabe einer Folge unbewegter Einzelbilder verstanden. Im Unterschied zum Video werden die einzelnen Bilder nicht kontinuierlich aufgezeichnet, sondern einzeln produziert und anschließend zusammengesetzt (vgl. Niegemann [u.a.] 2004, S.135).

Dynamische Animationen eignen sich nach Kircher, Girwidz & Häußler (2001, S.270/271) im besonderen Maße zum Demonstrieren sequentieller Abläufe, dem Veranschaulichen kausaler Zusammenhänge in komplexen Systemen und der Visualisierung von unsichtbaren Funktionen und Verhaltensweisen von Systemen. Des Weiteren können sie verbal nur schwer beschreibbare Aufgaben illustrieren sowie abstrakte und symbolische Konzepte über visuelle Analogien darstellen. Durch bewusstes Ausblenden von Unwesentlichem kann die Aufmerksamkeit auf relevante Details gelenkt werden.

Die Interaktionsmöglichkeiten beim Einsatz einer Animation sind eingeschränkt: Versuchsparameter können in der Regel nicht verändert werden. Lediglich die Wiedergabe kann analog zu der Wiedergabe einer Videoaufzeichnung beeinflusst werden.

3.3.4. Simulationen

Eine Simulation bezeichnet eine besondere Art von Modell. Modelliert werden in der Regel reale dynamische Systeme, auf der Grundlage eines mathematischen Modells oder einer physikalischen Theorie (vgl. Niegemann [u.a.] 2004, S.136).

Simulationen bilden prinzipiell nur Teilaspekte der Realität ab und zeigen damit ein reduziertes Bild der Wirklichkeit. Hierin liegen sowohl Vor- als auch Nachteile für ihren Einsatz als Abbilder physikalischer Experimente in Lehr-Lernsituationen: Im Vergleich zu Bildern und Videos zeigen simulierte Experimente keine realen Messwerte, sondern auf der Basis des mathematischen Modells berechnete Werte. Statistische Schwankungen und Messfehler werden in der Regel nicht berücksichtigt. Das Experiment verliert an Wirklichkeitsnähe. Die am Bildschirm beobachteten Vorgänge entsprechen den durch die zugrunde liegenden Gleichungen determinierten Abläufen. Reale Experimente lassen sich durch Simulationen daher nicht ersetzen.

Zur Förderung des Verständnisses können sie jedoch ergänzend eingesetzt werden: Für ihre Anwendung in Lehr-Lernprozessen bieten Simulationen durch ihre Vereinfachung der Wirklichkeit interessante Perspektiven. *“Die Reduktion auf wenige aber entscheidende Faktoren und ein „Ausblenden“ unwichtiger Aspekte reduziert die Komplexität eines Inhalts. Gleichzeitig werden damit auch die wichtigen Einflussgrößen akzentuiert und ihre Wirkung deutlich herausgehoben.“* (Kircher, Girwidz & Häußler 2001, S.271)

Der Vorteil einer Simulation gegenüber einer Videoaufzeichnung eines physikalischen Experiments ist die potentiell höhere Interaktivität der Simulation. Versuchsparameter können verändert und so das Verhalten des Systems unter verschiedenen Start- und Nebenbedingungen untersucht werden.

3.3.5. Interaktive Bildschirmexperimente

Verwirklicht werden Interaktive Bildschirmexperimente durch die Aufnahme von Einzelbildern und Videosequenzen realer Versuchsanordnungen bei unterschiedlicher Einstellung der Versuchsparameter. Danach werden die einzelnen Aufnahmen zusammengeführt, so dass ein realitätsgetreues Abbild des realen Experiments entsteht, welches auf dem Computerbildschirm dargestellt wird (vgl. Ziegler 2000, S.10).

Wie der Name suggeriert, bieten Interaktive Bildschirmexperimente ein hohes Maß an Interaktion zwischen Benutzer und Experiment. Durch Manipulation verschiedener Versuchsparameter kann das Experiment aktiv gesteuert und die Reaktion des Systems am Bildschirm beobachtet werden. Der Benutzer ist dabei aufgefordert per Computermaus verschiedenste Einstellungen an dem ab-

gebildeten Versuchsgerät vorzunehmen. Die durchführbaren Veränderungen beschränken sich dabei auf die bei der Realisierung erfassten Einstellungen.

Der Umgang mit einem Interaktiven Bildschirmexperiment gleicht dem eines realen Experiments und bietet somit auch die Möglichkeiten der Analyse und der Auswertung der Ergebnisse. Im Gegensatz zur Simulation zeigt das Bildschirmexperiment keine idealisierten Messwerte sondern die tatsächlichen Messwerte des realen Experiments einschließlich der Messfehler (vgl. Willer 2003, S.358). Da bei der Arbeit mit Interaktiven Bildschirmexperimenten das Experiment nicht nur nachvollzogen, sondern interaktiv und virtuell durchgeführt wird, entwickeln Lernende hier im Gegensatz zu den davor beschriebenen Abbildern physikalischer Experimente auch handlungsorientierte Kompetenzen.

Alle in diesem Kapitel vorgestellten Abbilder physikalischer Experimente können durch Neue Medien realisiert werden. Das Bereitstellen digitaler Medien auch für große Gruppen von Lernenden ist vergleichsweise einfach. Durch die aktuellen Informations- und Kommunikationstechnologien können verschiedenste Formate über das Internet verfügbar gemacht werden. Dies schafft eine gute Ausgangslage für den Einsatz Neuer Medien in E-Learning-Arrangements.

3.4. E-Learning

Der Begriff *E-Learning*² ist zunächst weit gefasst: „*E-Learning ist die Bezeichnung für Lehr- und Lernprozesse mit neuen, internetgestützten Medien. Mit dem Begriff E-Learning sind alle Varianten von Lehr- und Lernaktivitäten gemeint, die das Internet für Informationen oder Kommunikation nutzen.*“ (de Witt 2008, S.445).

Allgemein wird ein E-Learning-Arrangement nach de Witt (2008, S.445) durch drei Komponenten beschrieben:

- Der bereitgestellte *Inhalt* regt kognitive und motivationale Prozesse an.
- Durch die *Gestaltung* werden individuelle und kooperative Lernaktivitäten gefördert.
- Die *Kommunikation* zwischen Lernenden und Lehrenden wird synchron und asynchron ermöglicht.

² E-Learning: electronic learning

In verschiedenen E-Learning-Arrangements müssen Inhalt, Gestaltung und Kommunikation nicht immer gleichgewichtet vorkommen. Auch deren Formen können differieren. Abhängig sind Maß und Form der verschiedenen Komponenten von den Randbedingungen des didaktischen Feldes, in welcher das Arrangement eingesetzt werden soll (ebd.). Steht die Vermittlung spezifischen Fachwissens im Vordergrund, so ist die Inhaltskomponente besonders stark zu berücksichtigen. Liegt der Schwerpunkt allerdings auf fachlichem Diskurs, muss durch eine passende Konzeption im besonderen Maße die Kommunikation organisiert werden.

3.4.1. Aktueller medienpädagogischer Standpunkt – Blended Learning

Der aktuelle medienpädagogische Standpunkt sieht die Innovation durch E-Learning nicht im Ersatz von Präsenzveranstaltungen durch internetgestützte Angebote, sondern in einer Anreicherung der bestehenden Veranstaltungen durch E-Learningelemente. Damit wird nicht die Virtualisierung der Lehre, sondern die Integration von Lehr-Lernarrangements mit Neuen Medien in die traditionelle Hochschullehre gefordert (vgl. Reinmann-Rothmeier 2003, S.17). Ergänzt werden dabei Lernphasen in den Präsenzveranstaltungen durch Phasen selbständigen internetgestützten Lernens. Studierende erhalten dadurch die Möglichkeit, Teile ihres Lernprozesses an von ihnen gewählten Orten zu den von ihnen gewählten Zeiten, selbstorganisiert und in Kooperation mit anderen Studierenden sowie den Lehrerenden zu gestalten.

Für die eben beschriebene, didaktisch sinnvolle Verknüpfung der Präsenzlehre mit E-Learningelementen wurde von der Mediendidaktik der Begriff der *Hybriden Lernform* oder des *Blended Learning*, zu Deutsch „gemischtes Lernen“, geprägt. Dabei können die Anteile der Präsenz- und der E-Learning-Komponenten sowie der Grad der Verzahnung je nach Zielsetzung und Rahmenbedingungen variiert werden. Beim Blended Learning werden die Vorteile von internetbasierten und traditionellen Lernformen kombiniert, um so Synergieeffekte zu schaffen (vgl. Lermen 2008, S.229).

Neben der medienpädagogischen Sichtweise zur Integration von E-Learning in die Hochschullehre, ist auch der Standpunkt und die Sichtweise der Studierenden als

potentielle Nutzer von Interesse. Findet ein E-Learning-Angebot keine Akzeptanz unter seinen Nutzern, bleibt auch der erhoffte Lernerfolg fraglich. Eine Analyse der Ansichten Studierender liegt in Form verschiedener Studien und Evaluationen vor.

3.4.2. Studien und Evaluationen zur Nutzerakzeptanz von E-Learning-Angeboten

Eine der ersten Studien, welche sich mit der Akzeptanz von E-Learning-Arrangements bei deren Nutzern befasst, wurde 2002 von der Bertelsmann Stiftung erstellt. Sie kommt unter anderem zu dem Schluss: E-Learning-Angebote haben nur eine Chance auf Akzeptanz, wenn sie genau an die Bedürfnisse ihrer Nutzer angepasst sind (vgl. Bertelsmann 2002, S.3). Im Zuge der Qualitätssicherung von E-Learning-Angeboten an der TU Darmstadt wurden Ansichten und Meinungen der Studierenden zu den von ihnen genutzten E-Learning Angeboten evaluiert. Ein wichtiges Ergebnis dieser Umfragen, welches in Einklang zu der Erkenntnis aus der Bertelsmann Studie steht, ist:

Lernerorientierung steigert die Akzeptanz (vgl. Sonnberger 2008, S.182-185).

Damit stellt sich die Frage nach den Bedürfnissen der Nutzer sowie deren Ansprüche an ein E-Learning-Angebot. Die Ergebnisse der an der TU-Darmstadt durchgeführten Evaluationen sind bei der Beantwortung dieser Frage von besonderem Interesse, da sie speziell die Zielgruppe des im Rahmen dieser Arbeit konzipierten E-Learning-Arrangements betreffen. Im Folgenden sind die aus den Evaluationen gewonnen akzeptanzfördernden Aspekte eines E-Learning-Angebots dargestellt (vgl. Sonnberger 2008, S.182-185 und e-learning center, 2009):

- Bereitstellen von aktivierendem oder multimedialem Arbeitsmaterial zur Wiederholung, Vertiefung oder gezielten Prüfungsvorbereitung.
- Zeitliche und räumliche Flexibilität bei der Arbeit mit den bereitgestellten Lernmaterialien.
- Zeitlich und räumlich flexible Kommunikationsangebote.
- Unterstützung von selbstorganisiertem Lernen und Möglichkeit zum Einschlagen individueller Lernwege.
- Zentrale Organisation von Lernmaterialien auf einer Lernplattform.

-
- Information über aktuelle organisatorische Veränderungen, wie zum Beispiel Termin- oder Raumverlegungen.

Kritisiert wurden durch die Studierenden folgende Gesichtspunkte eines E-Learning-Arrangements (vgl. e-learning center, 2009):

- Geringe Benutzerfreundlichkeit, wie beispielsweise unübersichtliche Gestaltung der Lernplattformen oder durch zu langsamen Webseitenaufbau verursachte lange Wartezeiten.
- Technische Instabilität, wie Unerreichbarkeit der Server oder nicht funktionierende Verknüpfungen zu anderen Webseiten.
- Unzureichende Transparenz, durch fehlende Aufklärung über den Funktionsumfang eines E-Learning-Arrangements wird die Komplexität des Angebots nicht vollständig ausgeschöpft.

Deutschlandweite Studien unter E-Learning-Nutzern aus den Jahren 2001/02 hatten zum Ergebnis, dass einerseits die Möglichkeit des bedarfsgerechten, problemnahen Lernens je nach individuellem Wissens- und Kenntnisstand begrüßt wird. Andererseits wurde die damit verbundene Notwendigkeit eines hohen Grades an Selbstlernkompetenz und dem damit einhergehenden hohen Maß an Eigenmotivation als negativ empfunden (vgl. Michel & Johanning 2003, S.2/3).

Die in der Studie von Michel & Johanning (2003, S.2/3) befragten E-Learning-Nutzer kritisierten den begrenzten sozialen Austausch während der Teilnahme an E-Learning-Angeboten. So möchte ein Großteil der Befragten den Austausch mit anderen Lernenden an realen Lernorten ermöglicht bekommen.

Unter Berücksichtigung der eben aufgeführten Kritik liegt die Schlussfolgerung nahe, dass rein virtuelle E-Learning-Angebote von Lernenden weder gefordert werden, noch gewollt sind. Eine von Schulmeister (2009, S.137) unter Studierenden durchgeführte Evaluation erhärtet diesen Verdacht: 78% der befragten Studierenden lehnen rein virtuelle Lehrveranstaltungen ab. Die Ausweitung der vorhandenen Kommunikationsformen auf die durch aktuelle Kommunikations- und Informationstechnologien realisierten, wird von den Studierenden hingegen sehr begrüßt: 70% der Befragten erleben die zusätzlichen Kommunikationsmöglichkeiten als ihr Studium erleichternd.

3.5. Fazit

Zunächst ist an dieser Stelle, wie Eingangs beschrieben, festzuhalten, dass physikalische Experimente den Lernprozess physikalischer Inhalte fördern. Sie sollten daher jedem Studierenden in ausreichendem Maße zur Effektivierung seiner Lernaktivitäten zur Verfügung stehen. Das Potential hierfür bietet ein internetbasiertes E-Learning-Arrangement. Physikalische Experimente können in diesem Zuge in Form digitaler Abbilder Studierenden zugänglich gemacht werden.

Ein solches E-Learning-Arrangement soll nicht dazu dienen, Experimentalphysikvorlesungen zu ersetzen, sondern diese im Sinne einer Ergänzung zu bereichern. Der Vergleich des aktuellen medienpädagogischen Standpunktes hinsichtlich E-Learning, dem Blended Learning, mit Umfrageergebnissen unter E-Learning-Nutzern zeigt deutlich den Konsens beider Parteien in Bezug auf eine unerwünschte, vollkommene Virtualisierung der Lehre. Dennoch sprechen beide Gruppen E-Learning-Angeboten uneingeschränkt ein positives Potential zur Unterstützung von Lernaktivitäten zu. Dieses pädagogische Potential, in Kombination mit der Möglichkeit zur Distribution physikalischer Experimente in Form von digitalen Abbildern über das Internet, macht das E-Learning zu einem geeigneten Ansatz für die Ergänzung der Experimentalphysikvorlesungen. Die für das Lernen von Physik bedeutsamen Experimente können auf diesem Weg Studierenden präsentiert und deren Lernprozess auf diesem Wege angereichert werden.

Die Untersuchung der die Nutzerakzeptanz beeinflussenden Faktoren führt zu wichtigen Qualitätskriterien an ein E-Learning-Angebot. Infolgedessen werden diese Kriterien bei der Konzipierung des E-Learning-Arrangements im nächsten Kapitel an verschiedenen Stellen aufgegriffen.

4. Konzipierung eines E-Learning-Arrangements zur Ergänzung der Experimentalphysikvorlesungen

Wie im vorherigen Kapitel dargelegt, bietet ein E-Learning-Arrangement im Sinne des Blended Learning das Potential, eine Experimentalphysikvorlesung durch die Bereitstellung von Abbildern physikalischer Experimente in Form Neuer Medien zu bereichern. Der Lernprozesses der Studierenden wird dadurch nachhaltig unterstützt.

Aus dem Einsatz von E-Learning und Neuen Medien an sich resultiert nicht zwangsläufig eine Innovation der Lehre. Lernwirksam wird ein durch Neue Medien gestütztes E-Learning-Arrangement erst im Rahmen eines passenden didaktischen Konzeptes (vgl. Kerres 2001, S.48/49). Eine didaktische Konzeption, sowie deren prototypische Realisierung in einem E-Learning-Arrangement mit dem Titel „EXPERIMENTALPHYSIK-Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“ wird in diesem Kapitel erarbeitet und vorgestellt.

„Die didaktische Konzeption von mediengestützten Lernangeboten beginnt mit der Benennung eines Bildungsproblems, d.h. der Bestimmung einer Zielgruppe und Lernsituation sowie der Spezifikation von Lehrzielen und Aufbereitung der Lerninhalte. Dabei sind auch die Funktionen der Medien sowie die Gründe für ihren Einsatz zu benennen.“ (Kerres 2001, S.85).

Die Notwendigkeit einer didaktisch fundierten Konzipierung sieht auch Niegemann (2004, S.51/52). Sie umfasst verschiedene Analysen:

- *Ressourcenanalyse*: Analyse der technischen Ausgangslage.
- *Problemanalyse*: Analyse und Formulierung des Bildungsproblems.
- *Adressatenanalyse*: Klärung der Zielgruppe sowie der Ausgangslage.
- *Analyse des zu vermittelnden Wissens, der Lehrinhalte und Lernaufgaben*: Inhaltsanalyse des Themengebietes „Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“.

4.1. Problemanalyse

Die Benennung des Bildungsproblems ist durch die Ausführungen in Kapitel 3 bereits gegeben. An dieser Stelle wurde argumentiert:

Das Erlernen des physikalischen Grundlagenwissens der Experimentalphysik verläuft effektiver bei einer Anreicherung des Lernprozesses durch physikalische Experimente. Studierenden der Physik sollte daher ein möglichst breiter Zugang zu physikalischen Experimenten gewährt werden. Dieser kann durch ein, die Präsenzvorlesungen bereicherndes, E-Learning-Arrangement realisiert werden.

4.2. Infrastrukturelle Voraussetzungen für E-Learning an der TU Darmstadt - Ressourcenanalyse

Eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg eines E-Learning-Konzepts ist eine funktionierende Infrastruktur. Einerseits müssen den Lehrenden die notwendigen Werkzeuge für die Umsetzung ihres Konzeptes zur Verfügung stehen. Andererseits muss den Studierenden eine sichere und stabile Nutzung des E-Learning-Angebots ermöglicht werden, da gerade Instabilität der eingesetzten Informations- und Kommunikationstechnologien zu einer Ablehnung des Angebots unter den Nutzern führen kann (vgl. Kapitel 3.4.2).

An der TU Darmstadt herrschen auf Grund einer guten technischen Infrastruktur günstige institutionelle Voraussetzungen, um E-Learning auf breiter Basis anzubieten und den Studierenden verfügbar zu machen. „[...]*[D]er Einsatz von ICT³ [ist] in allen Bereichen der TU Darmstadt eine Selbstverständlichkeit.*“ (Prof. Dr. Gehrig & Dual Mode Beirat der TU Darmstadt 2008, S.6).

Zu diesen Voraussetzungen zählen folgende Faktoren:

Mit dem Hochschulrechenzentrum verfügt die TU Darmstadt über eine zentrale, leistungsfähige Einrichtung, zu deren Aufgaben die Bereitstellung und Wartung des an der TU Darmstadt in Forschung, Lehre und Verwaltung genutzten Kommunikations- und Informationsstruktur zählen.

Neben der zentral zur Verfügung gestellten Infrastruktur nutzen viele Fachbereiche und Fachgebiete zusätzlich noch eigene Kapazitäten. Ein Beispiel hierfür ist der Physikalische Rechnerpool. Die zentrale und dezentrale Versorgung mit W-LAN ermöglicht Studierenden und Mitarbeitern fast flächendeckend auf dem

³ ICT: Informations- und Kommunikationstechnologie.

gesamten Campus die Nutzung der Informations- und Kommunikationstechnologie. Neben diesem W-LAN stehen den Studierenden verschiedene PC-Pools des Hochschulrechenzentrums, sowie der einzelnen Fachbereiche, für computer- und internetgestütztes Arbeiten zur Verfügung.

Zur Etablierung von E-Learning an der TU Darmstadt wurde 2004 eine zentrale Einrichtung, das *e-learning center* gegründet. Organisatorisch ist die Arbeitsgruppe in das Hochschulrechenzentrum integriert. Aufgabe des *e-learning centers* ist die Gestaltung der technischen und administrativen Rahmenbedingungen für E-Learning an der TU Darmstadt sowie die Umsetzung „[...]der didaktisch sinnvollen und qualitativ hochwertigen Verankerung von E-Learning in der Lehre einer Präsenz-Universität.“ (Steitz 2008).

Die Gewährleistung des technischen Rahmens beinhaltet unter anderem die Bereitstellung der für E-Learning benötigten Werkzeuge. Das *e-learning center* ermöglicht:

- Die Aufzeichnung von Lehrveranstaltungen, Folien- oder Tafelanschrieben.
- Die Organisation und Bereitstellung von Lernmaterialien, Tests und Übungsgruppen im Rahmen einer zentralen Plattform.
- Die Erstellung multimedialer webbasierter Selbstlerneinheiten.
- Die Durchführung von Lehrveranstaltungen und Seminaren über das Internet per Audio- und Videoübertragung.

Außer der bloßen Bereitstellung bietet das *e-learning center* auch Schulungen im Umgang mit den Werkzeugen oder auch Beratung und Betreuung der Lehrenden bei der Umsetzung von E-Learning Projekten.

Das *e-learning center* verfolgt bei der Umsetzung von E-Learning an der TU Darmstadt eine so genannte *Dual-Mode* Strategie. *Dual-Mode* strebt die didaktische Verbindung von klassischer Präsenzlehre mit E-Learning an. Innerhalb der nächsten Jahre lautet die Zielsetzung der *Dual-Mode* Strategie (vgl. Prof. Dr. Gehrig & Dual Mode Beirat der TU Darmstadt 2008, S.11):

- 20% des Veranstaltungsangebotes als reine Onlineveranstaltungen bereitzustellen.
- 30% der Präsenzlehrveranstaltungen mit der Verfügbarkeit der Inhalte in digitaler Form, der Möglichkeit der digitalen Kommunikation mit den

Lehrenden und der Erreichbarkeit über homogene Zugangswege auszustatten.

- 100% der Präsenzlehrveranstaltungen dauerhaft, nachvollziehbar und leicht erreichbar im Internet zu dokumentieren.

4.3. Adressatenanalyse

Das intendierte E-Learning-Arrangement richtet sich an Teilnehmer der Experimentalphysikvorlesungen der TU Darmstadt. An der TU Darmstadt werden Experimentalphysikvorlesungen für Publikum verschiedener Studiengänge angeboten. Neben dem Bachelor- und dem Lehramtsstudiengang „Physik“ sehen auch Studienordnungen anderer Studiengänge den Besuch von Veranstaltungen der Experimentalphysik vor. So beinhaltet beispielsweise der Studiengang „Maschinenbau“ die Veranstaltungsreihe „Naturwissenschaft“.

Die nachfolgenden Überlegungen untersuchen gezielt die Ausgangslage der Studierenden des Bachelorstudienganges und des Lehramtsstudienganges Physik. Das E-Learning-Arrangements zum Themengebiet „Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“ kann diesen Studierenden im Zuge ihrer Teilnahme an der Veranstaltung *Physik III* zur Verfügung gestellt werden. Diese Experimentalphysikvorlesung beinhaltet die Themen „Absorption“, „Emission“ und „Strahlungsgesetze“ (vgl. *Modulhandbuch - Studiengang Physics 2008*, S.4).

Die Studierenden sollten zum Zeitpunkt der Behandlung dieser Themen Kenntnisse über Geometrische Optik, Wellenoptik, Reflexion und Brechung aus den vorangegangenen Vorlesungen besitzen (vgl. *Modulhandbuch - Studiengang Physics 2008*, S.4). Diese Kenntnisse werden bei der Konzipierung des E-Learning-Arrangements als vorhandenes Ausgangsniveau angenommen.

4.4. Experimentalphysik an der TU Darmstadt im Wintersemester 2009/10

An der TU Darmstadt ist die Veranstaltungsreihe *Physik I - IV* als fester Bestandteil in den Bachelorstudiengang Physik integriert. Ziel dieser Experimentalphysikvorlesungen ist die zusammenhängende Darstellung und Vermittlung von Grundlagenwissen der klassischen und modernen Physik. Die Veranstaltungsreihe ist Teil des Pflichtbereiches und wird in der Regel in den ersten vier Semestern des Studiums besucht.

Im Wahlpflichtbereich der Experimentellen Physik ist die Teilnahme an zwei Fachkursen vorgesehen. Sie dienen der Vertiefung und der Einführung in Arbeitsgebiete der einzelnen Institute. Zur Auswahl stehen Festkörperphysik, Kern- und Teilchenphysik sowie Optik (vgl. Studienordnung für den Studiengang Physik mit Abschluss Bachelor of Science (B.Sc.) vom 4. April 2008).

Der Studiengang *Lehramt am Gymnasium* umfasst in seinen Modulen ebenfalls die Vorlesungen *Physik I-IV*. Studierende des Lehramtes besuchen nur einen der angebotenen Fachkurse. Ihnen steht zusätzlich noch der Kurs „Struktur der Materie“ zur Auswahl (vgl. Studienordnung für das Fach Physik Lehramt an Gymnasien Endfassung vom 18. August 2006).

Ergänzt werden die Vorlesungen durch Übungen, in denen die Studierenden selbstständig Problemstellungen bearbeiten. Ziel ist die Anwendung und Vertiefung der in der Vorlesung behandelten Inhalte. Die Übungsgruppen sollen darüber hinaus die Möglichkeit zur Selbstkontrolle und Diskussion bieten (vgl. Studienordnung für den Studiengang Physik mit Abschluss Bachelor of Science (B.Sc.) vom 4. April 2008).

Für Lehramtsstudierende ist zudem noch die Teilnahme an den vorlesungsbegleitenden Tutorien verpflichtend. Hierdurch wird ihnen die Möglichkeit zur didaktischen Reflexion der Vorlesungsinhalte mit der weiterführenden Aufgabe, diese auf die Umsetzbarkeit im Schulalltag zu überprüfen, gegeben (vgl. Studienordnung für das Fach Physik Lehramt an Gymnasien Endfassung vom 18. August 2006).

4.5. Analyse der Lernmotivation

Studierende der Naturwissenschaften zeigen eine überdurchschnittlich hohe fachliche und wissenschaftliche Orientierung, welche sich auf das Interesse der Studierenden an Sachthemen und Forschungsfragen ihres Faches bezieht. Damit einhergehend ist eine erhöhte intrinsische Motivation dieser Studierenden messbar (vgl. Asmussen 2006, S.101). Im Fall intrinsischer Motivation lernen Studierende aus Interesse am Lerngegenstand selbst, sie benötigen keine zusätzlichen Anreize, um eine Lernaktivität anzuregen.

Nicht auszuschließen ist allerdings auch die Möglichkeit, dass ein Teil der Studierenden, speziell in einzelnen Veranstaltungen, nur für das Erreichen bestimmter Ziele lernt, beispielsweise das Bestehen der Klausur, das Erreichen guter Noten oder die Anerkennung von Freunden. Diese Studierenden setzen sich extrinsisch motiviert mit einem Lerngegenstand auseinander. Für extrinsisch motivierte Studierende ergeben sich Konsequenzen, welche bei der Strukturierung des E-Learning-Arrangements berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 4.8.2).

4.6. Strukturierung eines E-Learning-Arrangements zur Ergänzung der Experimentalphysik

Die Konzipierung eines E-Learning-Arrangements wirft die Frage nach der Einteilung und der Anordnung der Lehrinhalte auf. Umfangreichen Lehrstoff gilt es zunächst in Abschnitte einzuteilen, die dann wiederum hinsichtlich ihrer Segmentierung analysiert werden (vgl. Niegemann [u. a.] 2008, S.143).

Die Ergänzung aller Experimentalphysikvorlesungen durch die Bereitstellung von Abbildern physikalischer Experimente in nur einem E-Learning-Arrangement zu vereinen, ist ein Projekt, welches enorm hohen zeitlichen und organisatorischen Aufwand erfordert. Leichter realisierbar ist ein Konzept, welches thematisch abgegrenzte Kurse vorsieht, zum Beispiel „Mechanische Schwingungen“ oder „Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“. Diese Kurse zu einzelnen Themenbereichen können wiederum zur durchgehenden thematischen Abdeckung einer Vorlesung in einer Kursreihe zusammengefasst werden. Die Einteilung in einzelne, abgeschlossene Kurse eröffnet eine größere Flexibilität hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit und Wiederverwendbarkeit (vgl. Kapitel 4.7.1).

Die Auswahl der Themengebiete und deren Inhalt kann aus verschiedenen Absichten heraus erfolgen. Lehrenden ermöglicht dies, ihrer Veranstaltung eine größere inhaltliche Tiefe und Breite zu geben sowie die Qualität der Lehre zu steigern. Mögliche Intentionen für die Auswahl der Kursinhalte können sein:

- *Vorbereitung von Vorlesungsinhalten:* Lehrende können Kurse zur Vorbereitung ihrer Vorlesungen anbieten. Die dabei von den Studierenden bearbeiteten Inhalte können ihnen eine Übersicht über die Struktur der sie erwartenden Vorlesungsinhalte vermitteln und einen Überblick über deren wichtigsten physikalischen Größen und Gesetzmäßigkeiten geben. Durch diese Verlagerung von Faktenwissen in die vorbereitende Selbstlernphase können in der Vorlesung höhere Lehr-Lernziele angesetzt werden. Die in diesem Rahmen eingesetzten Abbilder physikalischer Experimente erlauben den Studierenden die experimentellen Aufbauten schon vor der Demonstration in der Vorlesung kennen zu lernen und ermöglichen ihnen dadurch, sich in der Vorlesung gezielt auf das Wesentliche zu konzentrieren oder auch gezielt Fragen zu Unverstandenem zu stellen.
- *Nachvollziehen und Wiederholen von Vorlesungsinhalten:* Themen, welche in der Vorlesung ausführlich behandelt wurden, können in einem Kurs aufbereitet und den Studierenden so zur Wiederholung verfügbar gemacht werden. Beispielsweise können Experimente, die Studierende in der Vorlesung gesehen haben, als Videoaufzeichnung rekapituliert werden. Konnten Experimente aus mangelnder Zeit nicht demonstriert werden, ist es möglich, diese per Video anzubieten.
- *Vertiefen und Ergänzen von Vorlesungsinhalten:* Für Themen, welche zum physikalischen Grundlagenwissen zählen oder besondere Relevanz besitzen, in der Vorlesung aber nicht ausführlich behandelt werden können, besteht die Möglichkeit einer umfassenden Darstellung in einem Kurs.
- *Prüfungsvorbereitung:* Themen, bei welchen Studierende erfahrungsgemäß Lernschwierigkeiten aufweisen, können zur Verbesserung der Verstehensleistung mediendidaktisch aufbereitet und mit zusätzlichen Abbildern von Experimenten zur Schaffung neuer Lernanreize in einem Kurs von den Studierenden aufgearbeitet werden.

4.7. Lernmanagement-Systeme

Eine Organisation in Kursen erfordert für deren Bereitstellung über das Internet eine technische Plattform, welche die Verwaltung der einzelnen Kurse erlaubt. Die Plattform muss die Präsentation und Distribution digitaler Medien unterstützen sowie Kommunikationswerkzeuge zur Verfügung stellen. Weiterhin wäre zur Erleichterung einer themendeckenden Versorgung der Vorlesungen mit Kursen deren Übertragbarkeit wünschenswert. Die Möglichkeit, einen einmal erstellten Kurs mit geringem Aufwand an die Rahmenbedingungen einer anderen Experimentalphysikvorlesung oder eines neuen Semesters anzupassen sowie bestehende Kurse nach den persönlichen Vorstellungen der einzelnen Lehrenden zu individualisieren, würde eine Neuentwicklung von Kursen zu bereits abgedeckten Themen erübrigen.

Eine adäquate Plattform bietet ein so genanntes Lernmanagement-System⁴, welches Lehrveranstaltungen in Kursen, im Folgenden Lernmanagement-Kurse genannt, strukturiert. Wichtigste Aufgabe eines Lernmanagement-Systems ist die Unterstützung von Lernprozessen durch deren Organisation.

Ein Lernmanagement-System ist ein Software-System, welches verschiedene E-Learning-Werkzeuge unter einer Oberfläche vereint und seinen Nutzern, Studierenden wie Lehrenden, verschiedene Funktionen bietet. Lernmanagement-Systeme können sowohl zur Ergänzung der Präsenzlehre im Sinne des Blended Learning als auch für rein virtuelle Lehrveranstaltungen genutzt werden (vgl. Kritzenberger 2005, S.130).

⁴ In der Fachliteratur wird der Begriff nicht einheitlich gebraucht, neben Lernmanagement-System sind auch die Bezeichnung Learnmanagement-System, Learning-Management-System und Lernplattform gebräuchlich. Im Folgenden wird durchgängig der Begriff des Lernmanagement-Systems verwendet.

Die Funktionsbereiche eines Lernmanagement-Systems nach Baumgartner, Häfele & Maier-Häfele (2002, S.17) sind in Abbildung 1 dargestellt.

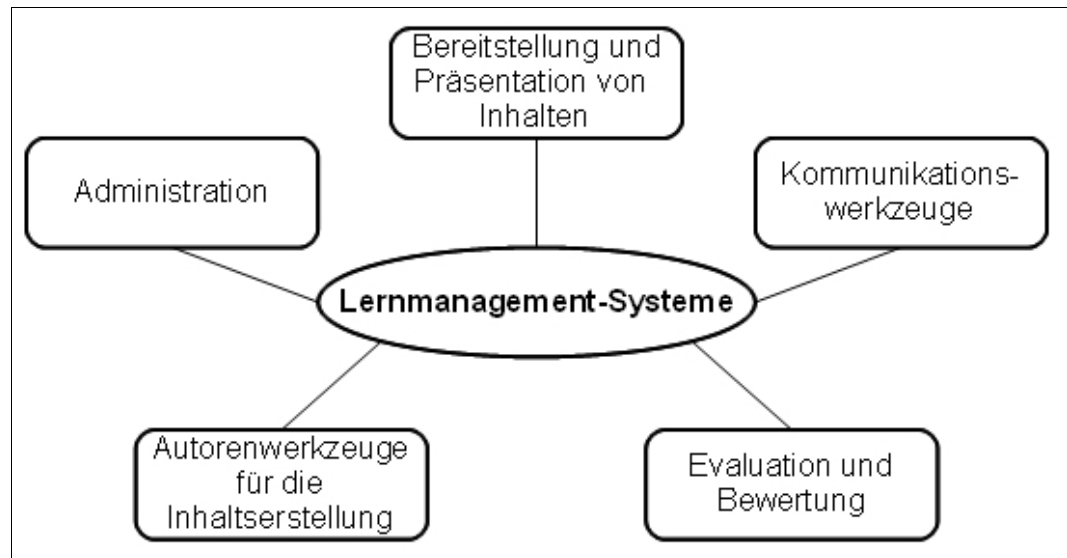


Abbildung 1: Funktionsbereiche eines Lernmanagement-Systems.

Der Einsatz eines Lernmanagement-Systems erleichtert die didaktisch-pädagogische sowie administrative Organisation von Lernprozessen und ist daher empfehlenswert, insbesondere bei der Notwendigkeit der Verwaltung mehrerer Kurse durch ein zentrales System, wie sie bei einer Ergänzung der Experimentalphysikvorlesungen durch einzelne thematisch begrenzte Kurse gegeben ist (vgl. Baumgartner, Häfele & Maier-Häfele 2002, S.17). Ein solches Software-System kennzeichnet nach Schulmeister (2005, S.12):

- *Kursverwaltung:* Die Organisation und Verwaltung von Kursen, deren Inhalt sowie von Mediendateien wird über das Lernmanagement-System vorgenommen.
- *Benutzerverwaltung:* Die Benutzerverwaltung ermöglicht Administration von Benutzerdaten unter Wahrung deren Sicherheit.
- *Rollen- und Rechtevergabe:* Lernmanagement-Systeme sehen für ihre Nutzer verschiedene Rollen mit unterschiedlichen Rechten bezüglich der Administration von Kursen und Nutzern und der Verwaltung von Kursinhalten vor, beispielsweise für Lehrende den Kursautor und für Studierende den Kursteilnehmer.

-
- *Kommunikationsmethoden und -werkzeuge*: Angeboten werden Wege zur synchronen wie auch asynchronen Kommunikation, etwa durch Chats oder Foren.
 - *Lernwerkzeuge*: Beispielsweise Notizblock oder Kalender.
 - *Präsentation der Kursinhalte und Lernmedien in einem Internetbrowser*: Die Nutzung eines Lernmanagement-Systems erfordert lediglich eine bestehende Internetverbindung sowie einen internetfähigen Browser. Dies gilt für alle Kursnutzer, sowohl Kursautoren als auch Kursteilnehmer. Die Darstellung von Medien kann unter Umständen die Installation eines zusätzlichen Browser-Plugins⁵ erfordern.

Ein Software-System mit diesen Eigenschaften stellt alle für ein E-Learning-Arrangement notwendigen Funktionen zur Ergänzung der Experimentalphysikvorlesungen bereit.

4.7.1. Zentrale Lernmanagement-Systeme der TU Darmstadt

Das *e-learning center* der TU Darmstadt offeriert Lehrenden kostenlos zwei unterschiedliche Lernmanagement-Systeme zur Inanspruchnahme. Neben der Bereitstellung übernimmt das *e-learning center* auch die technische Betreuung und berät bei der Konzeption von Lernmanagement-Kursen. Ein zentral zur Verfügung gestelltes Lernmanagement-System weist einige Vorteile gegenüber dezentralen Systemen auf. Zunächst minimieren sich für den Fachbereich durch die bereits vorhandene technische Infrastruktur die Kosten und der Aufwand hinsichtlich der Beschaffung, der Entwicklung, der technischen Wartung und der Administration eines solchen Systems. Die Nutzung eines einheitlichen Lernmanagement-Systems durch verschiedene Lehrenden gestattet diesen, von ihnen erstellte Lernmanagement-Kurse untereinander zu tauschen. Auch Einzelne Lehr-Lernmaterialien oder produzierte Medien, wie zum Beispiel Videoaufzeichnungen physikalischer Experimente, können gemeinsam genutzt werden. Einmal erstellte Strukturen und Materialien sind für weitere Lernmanagement-Kurse wiederverwendbar. Für Steinmetz und Offenbartl (2005, S.73/74) ergibt sich perspektivisch durch die Wiederverwendung von digitalisierten Inhalten eine

⁵ Ein Browser Plugin ermöglicht dem Internetbrowser die Darstellung von Inhalten, welche nicht in browsertypischen Dateiformaten vorliegen.

Reduktion des Aufwandes zur Bereitstellung von Lernmaterialien, auch wenn mit deren Produktion zunächst ein Mehraufwand verbunden ist.

Ein einheitliches Lernmanagement-System bringt Studierenden den Vorteil, die Funktionsweise nur eines Systems erlernen zu müssen. Das Wechseln zwischen verschiedenen Lernmanagement-Kursen ist für Teilnehmer mehrerer Kurse in einem zentral genutzten Lernmanagement-System problemlos, der Zugriff auf Lernmaterialien wird für Studierende hierdurch, im Vergleich zur Distribution durch dezentrale Systeme, erleichtert.

Die beiden durch das *e-learning center* angebotenen Lernmanagement-Systeme sind *Moodle*⁶ und *CLIX*[®]. Vor der Entscheidung für eines der beiden Systeme, wurden beide ausführlich getestet. Das Lernmanagement-System *Moodle* wurde dabei der Alternative *CLIX*[®] aus verschiedenen Gründen vorgezogen:

Moodle stellt alle für die Umsetzung eines kursbasierten E-Learning-Arrangements notwendigen Funktionen zur Anreicherung der Experimentalphysikvorlesungen mit Videoaufzeichnungen physikalischer Experimente zur Verfügung. Wichtigster Baustein des Systems ist der Kursraum, in dem den Studierenden Arbeitsmaterialien, Aktivitäten und Kommunikationsmöglichkeiten angeboten werden. Mehrere zu einer Veranstaltung vorhandene Lernmanagement-Kurse können zu einem Kursbereich zusammengefasst werden, wodurch die Übersichtlichkeit des Systems erhöht wird (vgl. Hösl 2007, S.50). Gegenüber *CLIX*[®] ist die Benutzeroberfläche der Software *Moodle* visuell übersichtlicher gestaltet. Sie ermöglicht bereits mit Grundkenntnissen in der Nutzung von Internetanwendungen eine intuitive Bedienung der wichtigsten Funktionen. Für im Umgang mit Lernmanagement-Systemen unerfahrene Nutzer wird so ein unkomplizierter Einstieg mit kurzer Einarbeitungszeit in deren Benutzung gegeben. Dies betrifft sowohl Studierende als Kursteilnehmer wie auch Lehrenden als Kursautoren. Die Bedienung der Software *CLIX*[®] ist im Vergleich dazu weniger intuitiv, was der Komplexität des Systems geschuldet ist. *CLIX*[®] ist in Ordnern organisiert, über die Arbeitsmaterialien und Aktivitäten distribuiert werden. Für die Präsentation von Experimentvideos in *CLIX*[®] ist nachteilig, dass in der Ordnerstruktur eine grafische Oberfläche zur direkten Darstellung von Arbeitsmaterialien im Lernmanagement-Kurs fehlt. Die Software *Moodle* bietet die Option, Videos direkt in den Kursräumen zu betrachten. Die Strukturierung eines

⁶ *Moodle* ist eine Abkürzung für Modular Object Oriented Dynamic Learning Environment.

Lernmanagement-Kurses kann in Moodle über eine zeitliche, zum Beispiel wöchentliche, Anordnung der Inhalte oder über eine thematische Aufteilung erfolgen, was zusätzliche Entscheidungsfreiheiten bei der Gestaltung des Lernmanagement-Kurses bringt.

Moodle bietet neben den in Kapitel 4.7 beschriebenen Funktionsbereichen eines Lernmanagement-Systems vielfältige weitere Funktionen. Auf deren Details sowie weitere Einzelheiten zum Aufbau des Systems soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden. Eine gute Übersicht bietet das Buch von Hoeksema und Kuhn „Unterrichten mit Moodle: Praktische Einführung in das E-Teaching“ (2008). Funktionen und Werkzeuge, die für die konkrete Erstellung des prototypischen Lernmanagement-Kurses Verwendung fanden, werden an der jeweils relevanten Stelle näher erläutert.

4.8. Didaktisches Design des Lernmanagement-Kurses

Eine didaktische Konzipierung eines E-Learning-Arrangements ist zwingend notwendig, da wie bereits beschrieben, E-Learning und Neue Medien ohne didaktisches Konzept nicht zwangsläufig lernförderlich sind und eventuell sogar den Lernprozess behindern. Prinzipien für eine didaktisch fundierte Konzipierung sind in dem Modell des *didaktischen Designs* zusammengefasst, welches die Gestaltung aller für das Lernen relevanten Prozesse und Strukturen beinhaltet. Betrachtet werden Ansätze, die Möglichkeiten des Vorgehens bei der Planung und Konzeption sowie der Produktion von Lernangeboten beschreiben (vgl. Kerres 2001, S.39).

Eine Diskussion der auf den Leitlinien des didaktischen Designs basierenden Entscheidungen über die Gestaltung der Segmentierung des Lernmanagement-Kurses „EXPERIMENTALPHYSIK-Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“, der Sequenzierung der Lehrinhalte, der Implementierung der Kommunikationswerkzeuge sowie der Auswahl der benötigten Medien wird nachfolgend geführt. Dabei werden jeweils allgemein didaktische Aspekte dargestellt und anschließend ihre exemplarische Umsetzung im Lernmanagement-Kurs ausgeführt.

4.8.1. Lernerfahrung der Studierenden mit Lernmanagement-Systemen

Eine von Schulmeister 2008 durchgeführte Studie untersucht, in welchem Umfang Studierende Kenntnisse der aktuellen Internet-Methoden als Voraussetzung in die Hochschule mitbringen. Auf die Frage, ob sie Erfahrungen im Umgang mit Lernmanagement-Systemen haben, antworteten 57,6% der Befragten mit „nein“ (vgl. Schulmeister 2009, S.132). Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass die Kenntnis von grundlegenden Funktionen eines Lernmanagement-Kurses nicht vorausgesetzt werden dürfen.

Die Fähigkeit der Studierenden, im Internet zu navigieren und grundlegende Funktionen zu nutzen, kann hingegen nach der Studie Schulmeisters (2009, S.131) als gegeben betrachtet werden. Erfahrung im Umgang mit gängigen E-Learning-Anwendungen jedoch nicht. Wie in Kapitel 3.4.2 dargelegt, führt eine geringe Benutzerfreundlichkeit sowie die fehlende Transparenz des Funktionsumfangs bei Studierenden zur einer Ablehnung von E-Learning-Angeboten. Es ist also unbedingt notwendig, Studierende durch angemessene Hilfestellungen zu einer souveränen Nutzung eines E-Learning-Arrangements zu befähigen. Hierzu können verschiedene Aspekte einen Beitrag leisten.

Durch die Wahl einer bekannten und verbreiteten Plattform als Basis des Arrangements ist vermutlich zumindest einem Teil der Studierenden die elementare Bedienung vertraut. Des Weiteren sollte diese Plattform über einen verständlichen Aufbau und eine intuitive Steuerung verfügen, was bei der Wahl des Lernmanagement-Kurses bereits berücksichtigt wurde. Besonders wichtig ist jedoch die Bedienung für die Studierenden so transparent wie möglich zu gestalten. Sehr gut geeignet ist dazu ein Tutorial, welches einfach und ersichtlich erreichbar sein sollte und den Studierenden unter Anleitung die wichtigsten Funktionen vermittelt. Ein solches Tutorial wird bei *Moodle* für Nutzer und Autoren in Form eines Selbstlernkurses durch das *e-learning center* angeboten. Um technischen Problemen etwa beim Zugriff auf bestimmte Lernmaterialien vorzubeugen, können zu Beginn jedes Kurses Informationen zu speziell für diesen Kurs benötigten Browser-Plugins gegeben werden. Darüber hinaus sollte durch geeignete, in die Plattform implementierte Kommunikationswerkzeuge den Studierenden die Möglichkeit gegeben sein, Fragen zur Bedienung oder bei technischen Problemen zu stellen.

4.8.2. Segmentierung des Lernmanagement-Kurses

Da das Hauptanliegen eines Lernmanagement-Kurses zur Ergänzung der Experimentalphysikvorlesungen die Vermittlung von physikalischem Fachwissen ist, fällt die Gewichtung der in Kapitel 3.4 beschriebenen Komponenten zu Gunsten der Inhaltskomponente aus. Gestaltungs- und Kommunikationskomponenten werden indes berücksichtigt, da sich durch passende Ausprägung ein Mehrwert für Studierende und Lehrende ergibt (vgl. Kapitel 4.8.4).

Teil des didaktischen Designs eines Lernmanagement-Kurses ist die Unterteilung der Inhaltskomponente in einzelne Segmente. Teil der Segmentierung ist eine Analyse des zu vermittelnden Wissens sowie der Lehr-Lernziele. Diese teilt sich in zwei Ebenen: Eine allgemeine, medienpädagogische, die die Elaboration der Wissensstruktur behandelt und eine zweite, die speziell die fachspezifischen Inhalte betrifft.

Die Elaboration der Wissensstruktur untersucht, inwiefern sich ein Wissenskomplex in kleine Einheiten, genannt *Lernobjekte*, gliedern lässt, welche dann in der Phase der Sequenzierung zu einem Lernarrangement, dem Lernmanagement-Kurs, zusammengesetzt werden (vgl. Niegemann [u. a.] 2008, S.144). Die Notwendigkeit einer Gliederung in kleine Einheiten ist unter anderem als Konsequenz aus der Analyse der Lernmotivation gegeben. Extrinsisch motivierte Lernende benötigen eine Einteilung des Lehrstoffes in definierte, überschaubare Abschnitte sowie eine klare Darstellung der damit verbundenen Lernziele (vgl. Kerres 2001, S.140).

Der Lehr-Lerninhalt einer Experimentalphysikvorlesung, und damit auch der eines diese ergänzenden Lernmanagement-Kurses, ist das physikalische Grundlagenwissen. Dieses ist unter dem Begriff der *theoretischen Domänenkompetenz* einzuordnen. Den Studierenden soll Expertenwissen eines speziellen Fachgebiets vermittelt werden, ohne dass eine bestimmte Aufgabe damit verbunden ist. Genauer wird unter der theoretischen Domänenkompetenz Wissen verstanden, welches als ein Geflecht regelartiger Aussagen aufgebaut ist. Diese Aussagen können dabei allgemeiner oder spezieller Art sein (vgl. Niegemann [u. a.] 2008, S.146/147).

Die Absicht, das Lernen theoretischer Domänenkompetenz durch eine Anreicherung mit Abbildern physikalischer Experimente effektiver zu gestalten, legt eine Segmentierung des Themengebietes in Experimente nahe. Die zentrale

Komponente eines Lernobjekts ist demnach das Experiment. Einbegriffen sind physikalische Inhalte, welche dem Experiment zu Grunde liegen, zu welchen die aus dem Experiment gewonnene Erkenntnis führt und solche die deren Anwendung betreffen.

Das Themengebiet „Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“ kann zunächst anhand der Fachlogik grob in drei wesentliche Themenbereiche unterschieden werden:

1. *Grundlagenwissen über Wärmestrahlung*: Besonders hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die Existenz der Wärmestrahlung, ihre Klassifikation als elektromagnetische Strahlung und die damit einhergehende Einordnung in das elektromagnetische Spektrum sowie die Gültigkeit der Gesetze der Geometrischen Optik für Wärmestrahlen.
2. *Eigenschaften von Wärmestrahlern*: Hier werden speziell die Absorption und Emission von Wärmestrahlung und deren Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit der Strahler anhand von Experimenten phänomenologisch betrachtet.
3. *Strahlungsgesetze*: Hierunter fallen das Abstandsgesetz, das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz, das Plancksche Strahlungsgesetz, das Stefan-Boltzmann Gesetz und das Wiensche Verschiebungsgesetz, welche theoretisch betrachtet und durch Experimente qualitativ bestätigt werden können.

Von dieser Aufstellung ausgehend kann eine präzisere Unterteilung vorgenommen werden, die zur Identifizierung der Lernobjekte führt. Auf eine ausführliche Auflistung der einzelnen Segmente wird an dieser Stelle verzichtet. Sie findet sich in Kapitel 4.8.3. Dort sind die konzipierten Segmente in der Reihenfolge ihrer Darbietung im Lernmanagement-Kurs aufgeführt.

4.8.3. Sequenzierung der Inhaltskomponente

Die Lernwirksamkeit eines Lernmanagement-Kurses hängt von der Sequenzierung der Lernobjekte ab. Eine ungünstige Anordnung erschwert den Lernenden, Lernobjekte hinsichtlich ihrer Logik und Bedeutung in Zusammenhang zu bringen. Ausgang für ein Sequenzierungsmuster ist die Relation der Lernobjekte unter-

einander. Dies kann eine chronologische Abfolge oder, wie im Fall der Inhalte zur Wärmestrahlung und den Strahlungsgesetzen, eine hierarchische Anordnung sein. Solche hierarchischen Anordnungen basieren auf Voraussetzungs-Relationen. Zuerst werden elementare Voraussetzungen dargelegt, danach darauf aufbauende Sachverhalte, die erneut Grundlage für auf diese aufbauende Sachverhalte sind (vgl. Niegemann [u. a.] 2008, S.143-145).

Die Medienpädagogik unterscheidet zwischen zwei grundlegenden Sequenzierungsmustern, der *linear-sukzessiven Struktur* und der *Spiralstruktur*.

- *Linear-sukzessive Sequenzierung* bedeutet, dass ein Lernobjekt ausführlich behandelt wird, bis der Grad der gewünschten Kompetenz erreicht ist und erst dann zum nächsten Lernobjekt gewechselt wird. Diese Art der Strukturierung bietet Lernenden den Vorteil, sich durchgehend auf ein Lernobjekt zu konzentrieren und Lehrenden eine unkomplizierte Organisation von Lernmaterialien. Nachteilig an dieser Vorgehensweise ist die Gefahr, dass beim Übergang von einem Lernobjekt zum nächsten der Zusammenhang zwischen diesen nicht plausibel hergestellt wird. Dem kann durch das explizite Benutzen von Rückbezügen und Querverweisen entgegengewirkt werden. Durch die Wahl kleiner Einheiten als Lernobjekt kann diese Gefahr durch Behaltensleistung und schlussfolgerndes Denken seitens der Lernenden gemindert werden (vgl. Niegemann [u. a.] 2008, S.145).
- Eine *Spiralstruktur* beruht auf mehreren Durchläufen jedes Lernobjekts. Nach der Vermittlung der elementaren Inhalte jedes Lernobjekts werden die einzelnen Lernobjekte nach und nach mehrmals durchlaufen, bis der gewünschte Kompetenzgrad erreicht ist. Diese Art der Anordnung fördert die Generierung von Zusammenhängen zwischen den Lernobjekten, da der Rückbezug automatisch hergestellt wird. Der Nachteil ist die ständige Unterbrechung des Lernprozesses zu den einzelnen Lernobjekten (vgl. Niegemann [u. a.] 2008, S.146).

Die Orientierung an ausschließlich einem der beiden Sequenzierungsmuster ist nicht zwingend notwendig. Eine Kombination beider kann in der Praxis zweckmäßig sein (vgl. Niegemann [u. a.] 2008, S.146). Zur Vermittlung theoretischer Domänenkompetenz sind beide Strukturen geeignet (vgl. Niegemann [u. a.] 2008, S.148).

Die Strukturierung eines Lernmanagement-Kurses kann in *Moodle* entweder über eine zeitlich strukturierte oder thematische Einteilung der Lehrinhalte stattfinden. Die in Kapitel 4.8.2 identifizierten Lernobjekte legen eine thematische Einteilung nahe. Die für den Lernmanagement-Kurs „EXPERIMENTALPHYSIK–Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“ entworfene Präsentationsreihenfolge der Lernobjekte enthält sowohl linear-sukzessive wie auch spiralförmige Elemente.

Einzelne Experimente weisen Überschneidungen ihrer Lernziele auf und eröffnen somit die Möglichkeit, das damit verbundene Lernobjekt unter verschiedenen Intentionen aufzugreifen. So wird zum Beispiel das Experiment *Emission von Wärmestrahlung* (vgl. Kapitel 5.3.6.6) einerseits zur Untersuchung des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit eines Körpers auf dessen Emissionsverhalten herangezogen, andererseits dient es als Ausgangspunkt zur Betrachtung des Stefan-Boltzmann Gesetzes.

An dieser Stelle wird eine Übersicht der einzelnen Segmente in der Reihenfolge gegeben, die der Sequenzierung der Themenblöcke im Lernmanagement-Kurs „EXPERIMENTALPHYSIK – Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“ entspricht. Dabei werden die wichtigsten Inhalte und wesentlichsten Lehr-Lernziele kurz umrissen:

1. *Einleitung*: Das erste Segment enthält noch keine physikalischen Lehr-Lerninhalte. Es dient dem Ziel, die Methode des Lernmanagement-Kurses für die Studierenden offen zu legen und diesen so die Intention des Kurses und die damit verbundenen Inhalte möglichst transparent zu machen (vgl. Kapitel 3.4.2). Die Studierenden erhalten hierzu eine Einführung, wie mit dem Kurs gelernt werden kann und bekommen durch eine Mind Map eine Übersicht über die physikalischen Kursinhalte und deren Struktur vermittelt. Außerdem wird die Kommunikationskomponente erläutert. Darüber hinaus werden die Bezugsmöglichkeiten für die zur Mediendarstellung benötigten Browser-Plugins verzeichnet.

2. *Wärmestrahlung*:

Dieses Segment soll die Lernenden bei ihrem Vorwissen abholen und zu gleich das Ausgangsniveau sichern. Als bekannt vorausgesetzt wird elementares Wissen über elektromagnetische Strahlung, wie beispielsweise deren Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum oder die Gesetze der Geometrischen Optik. Lehr-Lernziel des Segments ist die Einstufung der Wärmestrahlung als elektromagnetische Strahlung und die Übertragung

der für elektromagnetische Strahlung bekannten Eigenschaften und Gesetze. Hierzu wird exemplarisch ein Experimentvideo (vgl. Kapitel 5.3.6.1) gezeigt, welches die Gültigkeit des Reflexionsgesetzes für Wärmestrahlung demonstriert sowie ein weiteres (vgl. Kapitel 5.3.6.2), das eine eigenständige Erklärung der beobachteten Phänomene durch die Lernenden fordert und hierdurch die davor behandelten Lerngegenstände festigen soll.

3. *Lichtmühle*: Die Lichtmühle, auch Radiometer genannt, ist eine Apparatur zur Messung elektromagnetischer Strahlung. Die Frage nach ihrem Funktionsprinzip führt zu weitergehenden Fragen bezüglich der Absorptionseigenschaft von Körpern unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit und wird zur Motivation für deren Untersuchung genutzt. Weiterhin dient dieser Versuch als Motivation zur Betrachtung des Abstandsgesetzes.
4. *Absorption von Wärmestrahlung*: Lehr-Lernziel dieses Segments ist das Wissen über die Abhängigkeit der Absorptionseigenschaft eines Körpers von dessen Oberflächenbeschaffenheit sowie das Verstehen des Absorptionsgrades als eine körperspezifische Eigenschaft. Ein Experimentvideo (vgl. Kapitel 5.3.6.4) hebt diesen Sachverhalt hervor. Die Auswertung des Videos wird als Ausgangspunkt für die Einführung fundamentaler Strahlungsgrößen genutzt. Außerdem wird in diesem Zuge das für eine Betrachtung der Strahlungsgesetze notwendige Modell des idealen schwarzen Körpers eingeführt. Auf der Basis dieser Ausführungen wird anschließend die Funktionsweise der Lichtmühle begründet. Mit Hilfe eines Videos, das eine Nahaufnahme der Drehbewegung des Lichtmühlensrades zeigt, wird dabei die verbreitete Fehlvorstellung, die Drehbewegung beruhe auf dem Strahlungsdruck, falsifiziert.

Unter dem Punkt *Zusatzinformationen* ist ein weiteres Experimentvideo (vgl. Kapitel 5.3.6.5) implementiert, welches zur Reflexion über das Erlernte anregen soll.

5. *Emission von Wärmestrahlung*: Die Betrachtung eines Experimentvideos (vgl. Kapitel 5.3.6.6) führt auf die Abhängigkeit der Strahlungsemission von der Oberflächenbeschaffenheit eines Körpers hin. Durch diese Beobachtung nahe gelegt, wird der Emissionsgrad eines Körpers eingeführt und das Modell des schwarzen Strahlers thematisiert. Als Konsequenz aus

der Auseinandersetzung mit der Strahlungsemission eines Körpers werden die Emission betreffende Strahlungsgrößen vorgestellt und das Plancksche Strahlungsgesetz als die Strahlungsemission grundlegend beschreibende Gesetzmäßigkeit präsentiert.

6. *Kirchhoffsches Strahlungsgesetz*: Aus den Erkenntnissen der beiden zuvor behandelten Segmente wird eine Hypothese über den Zusammenhang zwischen Absorption und Emission eines Körpers postuliert. Diese wird durch ein Gedankenexperiment verifiziert und auf diese Weise das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz gewonnen. Die theoretisch erhaltene Einsicht wird durch ein Experimentvideo (vgl. Kapitel 5.3.6.7) visualisiert und soll durch dessen kritische Betrachtung gefestigt werden. Zur Vertiefung und Rekapitulation des bisher in den verschiedenen Segmenten erworbenen Wissens ist ein weiteres Experimentvideo (vgl. Kapitel 5.3.6.8) vorgesehen.
7. *Abstandsgesetz*: Die durch das Segment Lichtmühle motivierte Betrachtung der Abstandsabhängigkeit der Strahlungsintensität von der Strahlungsquelle wird an dieser Stelle aufgegriffen und untersucht. Durch die experimentelle Entdeckung dieser Abhängigkeit sollen die Studierenden den Zusammenhang zwischen dem beobachteten Phänomen und dem beschreibenden Gesetz herstellen. Ein Experimentvideo (vgl. Kapitel 5.3.6.9) zeigt zuerst die Durchführung der Messung und im Anschluss die Auswertung, bei der die Abhängigkeit herausgefunden wird. Ein Lehr-Lerntext arbeitet die gefundene Gesetzmäßigkeit auf und fasst diese im Abstandsgesetz zusammen.
8. *Stefan-Boltzmann Gesetz*: Durch vorherige Experimentvideos ist das Phänomen des Anstiegs der Strahlungsleistung mit der Zunahme der Temperatur des Strahlers bereits bekannt, jedoch noch nicht beschrieben. Daneben motivieren die im Kontext der Erläuterung des Planckschen Strahlungsgesetzes präsentierten Strahlungsspektren zusätzlich eine Auseinandersetzung mit der Temperaturabhängigkeit der Strahlungsemission. Lernziel dieses Segments ist das Erfassen der Abhängigkeit der spezifischen Ausstrahlung eines Körpers von der 4. Potenz dessen Temperatur. Dieser Zusammenhang wird experimentell in einem Experimentvideo (vgl. Kapitel 5.3.6.10) erkannt und in der Versuchsauswertung im Stefan-Boltzmann Gesetz formuliert.

9. *Wiensches Strahlungsgesetz*: Motiviert durch die Beobachtungen aus Experimenten vorheriger Segmente und der Betrachtung der Planckschen Emissionsspektren wird in diesem Segment die Strahlungsintensität als Funktion der Wellenlänge experimentell untersucht. Mit dieser Untersuchung ist das Lehr-Lernziel verbunden, die Temperaturabhängigkeit der Lage der spektralen Intensitätsmaxima zu erkennen und die Formulierung des Wienschen Verschiebungsgesetzes zu verstehen und anwenden zu können. In der Zusatzinformation ist darum eine auf den Erkenntnissen aus dem Wienschen Verschiebungsgesetzes basierende Anwendung, die Pyrometrie, ausgeführt.

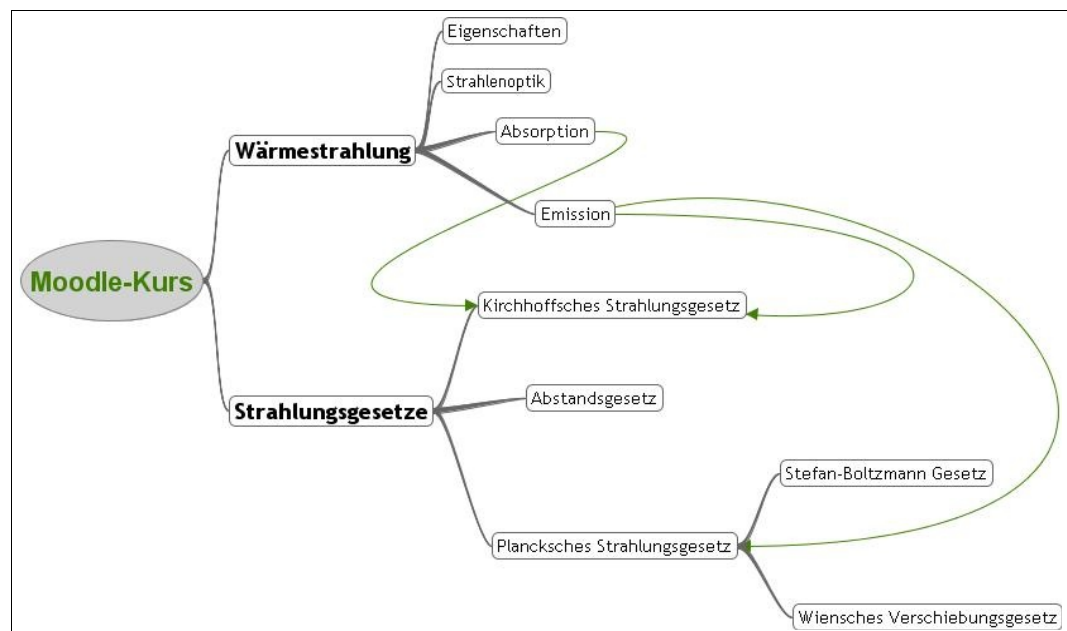


Abbildung 2: Mind Map zu den wesentlichen physikalischen Kursinhalten.

Einzelne Segmente enthalten eine Komponente *Zusatzinformation*. Je nach Rahmenbedingung können dies unterschiedliche Lehr-Lernmaterialien sein. In diesem Kontext in den Lernmanagement-Kurs eingebunden sind beispielsweise:

- Einen Sachverhalt ergänzende Medien, wie ein Interaktives Bildschirmexperiment oder eine Simulation.
- Die Segmentinhalte erweiternde Dokumente, wie ausführliche Ableitungen physikalischer Gesetze oder Artikel zur Funktionsweise von in den Experimentvideos zu sehenden Messgeräten.

-
- Weiterführende Informationen zu den Segmentinhalten, wie Verweise auf eine technische Realisierung, eine Forschungseinrichtung oder einen Bericht über historische Entwicklungen.

Nachdem als Konsequenz aus der Analyse der Lernmotivation die Bedürfnisse der extrinsisch motivierten Studierenden mittels Segmentierung des Lernmanagement-Kurs und durch Lenkung ihrer Aufmerksamkeit auf die Ziele des jeweiligen Segments berücksichtigt wurden, soll die Bereitstellung von Zusatzinformationen die Lernaktivitäten der intrinsisch motivierten Studierenden fördern, da dies wie in Kapitel 4.5 ausgeführt einen Großteil der Studierenden betrifft. Um die Motivation dieser Gruppe von Studierenden zu erhalten, sollte ein mediales Lernangebot nach Kerres (2001, S.140) durch Abwechslung in der Präsentation die Neugier aufrecht erhalten und darüber hinaus „[...]ein Eintauchen in eine Lernwelt mit möglichst umfangreichen Informationen ermöglich[en] („Immersion“)[.]“ (Kerres 2001, S140).

4.8.4. Gestaltung der Kommunikationskomponente

„Der Beruf der Physikerin und des Physikers erfordert Fähigkeit und Bereitschaft zur Zusammenarbeit mit anderen im Team, wozu oft Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen nicht physikalischer Disziplinen gehören. Die Bereitschaft zu dieser Zusammenarbeit muss geweckt und die Fähigkeit, die eigenen Ergebnisse verständlich darzustellen, frühzeitig erlernt werden.“ (Studienordnung für den Studiengang Physik mit Abschluss Bachelor of Science (B.Sc.) vom 4. April 2008). Dieser Auszug aus der Studienordnung des Bachelorstudienganges Physik verdeutlicht den Stellenwert und die Notwendigkeit des Erwerbs von Kompetenzen auf dem Gebiet der Kommunikation. Ein Lernmanagement-Kurs kann zu diesem frühzeitigen Erlernen beitragen:

Das Lernmanagement-System *Moodle* bietet verschiedene Kommunikationswerkzeuge. Angeboten wird die Nutzung von Foren, Chats sowie eines Mitteilungssystems. Während ein Forum und das Mitteilungssystem den Kursnutzern eine asynchrone Kommunikation erlauben, kann ein Chat die synchrone Kommunikation ermöglichen.

Ein wesentlicher Aspekt asynchroner Kommunikation ist die örtliche wie zeitliche Flexibilität der Teilnahme, was von Studierenden positiv empfunden wird (vgl. Kapitel 13).

Die Nutzung der verfügbaren Kommunikationswerkzeuge ist für die Kursteilnehmer nicht verpflichtend. Sie stellen lediglich ein Angebot dar, welches den Kursteilnehmern neben Selbstlernaktivitäten auch die Option der Kooperation mit anderen Kursteilnehmern sowie den Lehrenden bietet. Auf diesem Weg können Fragen zu den physikalischen Inhalten des Lernmanagement-Kurses diskutiert und dabei an der eigenen Kommunikationsfähigkeit gearbeitet werden. Gerade asynchrone Kommunikation fördert überlegte Formulierungen und bietet als weiteren Vorteil die Möglichkeit, Fragen und Rückmeldungen zu sammeln und diese gebündelt zu beantworten (vgl. Schulmeister 2005, S.188).

Der Kommunikationsaufwand wird für Lehrende durch diese Option und die der Möglichkeit über das Mitteilungssystem an alle Kursteilnehmer simultan eine Nachricht über beispielsweise Terminänderungen zu senden, reduziert.

Neben dem bereits in *Moodle* integrierten Mitteilungssystem wurden in den Lernmanagement-Kurs speziell vier Foren unterschiedlicher Intention implementiert:

- *Physik Fragen*: Dieses Forum bietet Kursnutzern die Möglichkeit zum fachlichen Diskurs über die spezifischen Inhalte des Lernmanagement-Kurses. Nach Reinmann-Rothmeier (2001) ermöglicht die Methode der asynchronen Kommunikation Nutzern, in Foren Beiträge in Ruhe aufzunehmen, ihre Antworten auszuformulieren und inhaltlich abzusichern. Ein sachbezogener Austausch mit ausgeprägter fachlicher und inhaltlicher Orientierung wird hierdurch gefördert.
- *Technische Fragen*: Wie in Kapitel 4.8.1 gefordert, erlaubt dieses Forum Studierenden Rückfragen bezüglich technischer Aspekte zu stellen, beispielsweise zum Zugriff auf bereitgestellte Medien.
- *Café*: Um eine Zweckentfremdung des für den fachlichen Diskurs reservierten Forums zum Austausch über außerphysikalische Angelegenheiten zu verhindern, wird den Studierenden eigens dieses Forum für Alltagsgespräche zur Verfügung gestellt.
- *Feedback*: Dieses Forum ist für Rückmeldungen der Kursteilnehmer zum Kurskonzept und der Kursgestaltung vorgesehen.

4.8.5. Medienauswahl

Vom oben formulierten Bildungsproblem und den Ausführungen in Kapitel 3.5 ausgehend, ist die Konzipierung dieses Lernmanagement-Kurses mit dem Ziel einer Distribution von Abbildern physikalischer Experimente verbunden. Eine Auflistung existierender Abbilder und ihrer möglichen Einsatzszenarien in Lehr-Lernsituationen ist in Kapitel 3.3 gegeben. Auf deren Basis wird an dieser Stelle nun eine Entscheidung über die zu produzierenden Abbilder physikalischer Experimente getroffen und die Notwendigkeit weiterer benötigter Medien reflektiert.

Die Durchführung wie auch die Demonstration eines physikalischen Experiments ist in der Regel ein dynamischer Prozess. Bilder zeigen statische Aufnahmen und sind aus diesem Grund, zumindest für eine umfassende Darstellung eines Experiments, ungeeignet. Simulationen verlaufen auf Basis mathematischer Modelle und zeigen daher idealisierte Messwerte. Die Auseinandersetzung mit real zu beobachtenden Phänomenen ist durch sie nicht gegeben. Simulationen sollen im Rahmen dieser Arbeit daher ausschließlich zur zusätzlichen Beschreibung eingesetzt werden, beispielsweise zur Visualisierung der thermischen Molekularbewegung im Glaskolben einer Lichtmühle.

Die realitätsgetreuesten dynamischen Abbilder realer physikalischer Experimente werden durch Videoaufzeichnungen oder Interaktive Bildschirmexperimente erreicht. Mögliche Einsatzszenarien Interaktiver Bildschirmexperimente in der Lehre wurden im Zusammenhang wissenschaftlicher Hausarbeiten an der TU Darmstadt bereits diskutiert, beispielsweise in der Arbeit von Ziegler (2000). Im Rahmen dieser wissenschaftlichen Hausarbeit wird speziell die Einsatzmöglichkeit von Videoaufzeichnungen realer physikalischer Experimente, im Folgenden kurz Experimentvideos genannt, untersucht. In Kapitel 5.3 sind die für ihren Einsatz in einem Lernmanagement-Kurs zu bedenkenden physikdidaktischen und medienpädagogischen Gesichtspunkte ausführlich erläutert und die Produktionsverfahren beschrieben.

Nach Falke (2009, S.227) besteht die Notwendigkeit, unabhängig von der Funktion audiovisueller Medien in Lehr-Lernsituationen, vorbereitende und nachbereitende Phasen einzuplanen. Zur Vorbereitung auf das Betrachten eines Experimentvideos ist ein Lehr-Lerntext vorgesehen, welcher deutlich die dem Experiment zu Grunde liegende Intention sowie den Versuchsaufbau beschreibt

und gegebenenfalls die notwendigen theoretischen Grundlagen behandelt. Hierdurch soll die Kritik der Autoren Jodl, Ringmeister und Seiter (1984, S.188) berücksichtigt werden, wonach Experimentvideos in der Regel eine Erläuterung der Versuchsanordnung fehlt. In diesem Zusammenhang werden auch Fotografien, Schaltbilder und schematische Skizzen der Versuchsanordnung verwendet (vgl. Kapitel 5.2.1). Zur Nachbereitung werden Lehrtexte mit einer Auswertung des jeweiligen Experiments eingesetzt. Hierbei werden eine deutliche Hervorhebung der zentralen, aus dem Experiment gewonnenen, physikalischen Erkenntnisse vorgenommen und darauf aufbauende oder durch das Experiment motivierte physikalische Inhalte ausgeführt.

Dieser wechselseitige Einsatz von textbasierten und audiovisuellen Medien soll eine authentische Darstellung des Lernobjekts bieten und damit im Lehr-Lernprozess eine Steigerung der Motivation initiieren (vgl. Falke 2009, S.230).

Die Produktion der benötigten Medien und zu diesem Zweck notwendige Vorüberlegungen werden im nächsten Kapitel thematisiert.

5. Erstellung der Medien

In diesem Kapitel ist die Produktion der in den Lernmanagement-Kurs implementierten Medien, Lehr-Lerntexte, Bilder und Experimentvideos, beschrieben. Dabei werden sowohl physikdidaktische und medienpädagogische als auch technische Aspekte betrachtet. Am Ende dieses Kapitels befindet sich ein kurzer Leitfaden zur Verwendung fremdproduzierter Medien.

5.1. Die Lehr-Lerntexte

Wie für klassische Lehr-Lernarrangements sind auch für E-Learning-Arrangements Texte mit Bildern essentieller Bestandteil des Lehr-Lernmaterials. Lange Texte an einem Bildschirm zu lesen ist mitunter mühsamer als in einem Buch. Um Texte trotzdem möglichst lesefreundlich in einem E-Learning-Arrangement darzubieten, sind hinsichtlich Typografie und Struktur einige Grundsätze zu berücksichtigen. Daneben sind von Lehr-Lerntexte an Bildschirmen natürlich auch die Kriterien hinsichtlich der Verständlichkeit zu erfüllen, welche generell an zum Lernen von Physik geeignete Texte angelegt werden.

5.1.1. Physikdidaktische und medienpädagogische Grundlagen und deren Umsetzung

Vier Faktoren sind für eine gute *Verständlichkeit* von physikalischen Lehr-Lerntexten zu berücksichtigen (vgl. Kircher, Girwidz & Häußler 2001, S.211):

- *Einfachheit*: Die eine Forderung, welche sich hinter dem Aspekt der Einfachheit verbirgt, ist der Aufbau eines Lehr-Lerntexte aus möglichst kurz gefassten Sätzen, die andere, die Verwendung bekannter und nach Möglichkeit anschaulicher Begriffe.
- *Gliederung – Ordnung*: Die innere Ordnung eines Textes soll sicherstellen, dass Informationen in sinnvoller Abfolge wiedergegeben werden.

-
- *Kürze – Prägnanz*: Einen guten Lehr- Lerntext zeichnet seine Knappheit und seine hohe Informationsdichte aus, Weitschweifigkeit und leere Phrasen sollten also vermieden werden.
 - *Anregende Zusätze*: Dies können Beispiele, direkte Rede, Witz oder die Erzeugung von Spannung sein.

Die *Lesbarkeit* eines Textes wird entscheidend durch die Wahl der typografischen Elemente, zum Beispiel Schriftart, Schriftgröße und Schriftfarbe, geprägt. Für das Erstellen von Bildschirmtexten existieren einige grundlegende Faktoren für deren Gestaltung. Die bei der Erstellung des *Moodle*-Kurses und der Lehr-Lernmaterialien berücksichtigten Kriterien sollen an dieser Stelle kurz erwähnt werden (vgl. Niegemann [u.a.] 2004, S.175):

- *Schriftart und Schriftgröße*: Kleine Schriftgrößen erfordern zur besseren Lesbarkeit serifenlose Schriftarten. Bei einer Schriftgröße von 12 bis 14 Punkten ist normaler Fließtext am Monitor gut lesbar.
- *Auszeichnungen*: Am Bildschirm sind kursive Schriften nur schwer lesbar und unterstrichene Wörter werden leicht mit Links verwechselt. Zur Auszeichnung ist die Verwendung von fett gedruckter Schrift daher am tauglichsten.
- *Zeilenlänge*: Eine Bildschirmzeile mit acht bis zehn Wörtern ist in der Regel ohne Mühe zu lesen.

Neben den typografischen Gesichtspunkten erfordert ein leicht lesbarer, gut verständlicher Text eine übersichtliche Gliederung in einzelne Abschnitte. Die Nutzung von Überschriften sowie das Setzen weiterer Orientierungsmarken sind hierfür unerlässlich.

Als besonders lernwirksam, speziell bei Einsatz im E-Learning, haben sich *thematische Überschriften* erwiesen. Sie benennen das Thema und weisen auf den zentralen Inhalt eines Abschnittes hin, wodurch sich Lernende gezielt orientieren können. Gerade beim E-Learning sollten neben den Überschriften weitere Orientierungsmarken angeboten werden. Jedoch mit Vorsicht: Zu viele Marken erzeugen einen gegenteiligen Effekt und erschweren die Orientierung (vgl. Niegemann [u.a.] 2008, S.185/186).

Für den *Moodle*-Kurs und die erstellten Lehrmaterialien wurden folgende Orientierungsmarken eingesetzt:

-
- *Kasten*: Ein deutlicher Abstand zwischen Text und Rahmen erhöht den Effekt dieser Orientierungsmarke.
 - *Farbliche Unterlegung*: Die Wahl geeigneter Farben für Hintergrund und Schrift erzeugt einen deutlichen Kontrast und garantiert dadurch eine gute Lesbarkeit. Dieser Grundsatz wurde insbesondere bei der Erstellung der Themenüberschriften im Lernmanagement-Kurs angewandt.
 - *Farbige Schrift*: Eignet sich zur Steuerung der Aufmerksamkeit. Dieses Stilmittel wurde hauptsächlich bei der Einbindung von Schlagwörtern in textergänzende Bilder verwendet.
 - *Spiegelstriche und Nummerierungen*: Erhöhen die Übersichtlichkeit bei der Aneinanderreihung kurzer Textabschnitte. Diese Formatierung wurde speziell für Auflistungen in den erstellten Lehr-Lerntexten verwendet, beispielsweise zur Gliederung der Eigenschaften von Wärmestrahlung (vgl. *Themenblock 2* im Lernmanagement-Kurs).

Die zur Implementierung in den Lernmanagement-Kurs vorgesehenen Lehr-Lerntexte sind mit der Textverarbeitungssoftware *OpenOffice.org 3.1.1 Writer* und dem integrierten Formeleditor erstellt (vgl. *OpenOffice Writer*). Zur Distribution über den Lernmanagement-Kurs wurden die Lehr-Lerntexte in das weitverbreitete und plattformunabhängige PDF-Dateiformat exportiert. Alle auf diese Weise produzierten Lehr-Lerntexte liegen im *Corporate Design* der TU Darmstadt vor (vgl. *Corporate Design*).

Die in den erstellten Lehr-Lerntexten verwendeten Bezeichnungen der physikalischen Strahlungsgrößen sind an denen des Lehrbuchs „Bergmann; Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik Band 3. Optik: Wellen- und Teilchenoptik“ orientiert.

5.2. Bilder

Lehrtexte sind Hauptbestandteil der Wissensvermittlung. Reiner Text allerdings kann beim Lesen speziell an Bildschirmen schnell ermüdend wirken. Bilder können hier anreichernd, motivierend und das Verständnis fördernd eingesetzt werden. Ihr Einsatz zu rein dekorativen Zwecken, also mit für die

Wissensvermittlung irrelevanten Absichten, führt jedoch vielmehr zu Ablenkung und der Unterbrechung des Lernprozesses.

5.2.1. Medienpädagogische und physikdidaktische Grundlagen

Text und Bild sollten, wenn sie inhaltlichen Bezug zueinander haben, auch räumlich eng beieinander angeordnet werden, um diesen Bezug zu unterstreichen. Der inhaltliche Bezug zwischen Bild und Text kann hergestellt werden, in dem sich Inhalt von Bild und Text ergänzen, was die Behaltensleistung fördert. Alternativ kann der Bezug komplementär sein: Bild und Text haben unterschiedlichen Inhalt, müssen aber beide für einen Lernerfolg verstanden werden (vgl. Niegemann [u.a.] 2004, S.185).

In Kapitel 3.3.1 ist die Möglichkeit genannt, Bilder zur Erklärung von Versuchsaufbauten zu nutzen. Die in den Lernmanagement-Kurs eingebundenen Fotos werden daher hauptsächlich zur visuellen Ergänzung sprachlicher Erklärungen von Versuchsaufbauten eingesetzt und sollen das Verständnis der Aufbauten erleichtern.

Weiterhin werden zu diesem Zweck Versuchsskizzen und Schaltpläne genutzt. Schematische Versuchsskizzen und symbolische Schaltpläne heben durch Reduzierung der optischen Informationen wesentliche Komponenten einer Versuchsanordnung hervor. Die didaktische Reduktion lenkt den Blick auf das Wesentliche. Durch Schaltpläne beispielsweise können Informationen über Stromkreise besser vermittelt werden als über Fotoaufnahmen des Versuchsaufbaus oder den Versuchsaufbau selbst (vgl. Kircher, Girwidz & Häußler 2001, S.121).

5.2.2. Verwendete Technik

Für die digitale Fotografie kam eine *Olympus E-410 SLR-Digitalkamera* zum Einsatz (vgl. Olympus). Die Fotografien wurden, falls erforderlich, mit der Bildbearbeitungssoftware *Photoscape V3.4* nachbearbeitet (vgl. Photoscape). *Photoscape* bietet Standardwerkzeuge zur Bildbearbeitung, wie Schärfen, Weichzeichnen, Aufhellen und Zuschneiden, welche zur Aufbereitung der Fotoaufnahmen verwendet wurden. Weiterhin wurde *Photoscape* genutzt, um in

Fotografien von Versuchsaufbauten eine Nummerierung oder Beschriftung der Bauteile einzufügen (vgl. Abbildung 3).

Die in die Lehr-Lernmaterialien eingebundenen Schaltbilder und schematischen Skizzen von Versuchsanordnungen wurden in Kombination der Zeichenprogramme *OpenOffice.org 3.0.0 Draw*, einem Programm für technische Zeichnungen, und *Paint.net 3.53* erstellt (vgl. OpenOffice Draw und Paint). Die Mind Map wurde mit der Anwendung *FreeMind 0.8.1* angefertigt (vgl. FreeMind).

5.3. Videoaufzeichnungen physikalischer Experimente

Dieses Unterkapitel beinhaltet die für die Erstellung der Experimentvideos relevanten Aspekte. Zunächst werden kurz das betriebene Produktionsverfahren, die für die Aufnahmen verwendete Technik und die für die Nachbearbeitung notwendige Software vorgestellt. Im Anschluss daran werden physikdidaktische Grundsätze für die Anordnung von Versuchen und das Aufnehmen von Experimentvideos, sowie aufzeichnungsrelevante Problematiken beschrieben. Den Schluss bildet eine Auflistung aller aufgezeichneten Experimente mit detaillierten Informationen zu den Versuchszielen, den Aufbauten und deren Gestaltung, Messfehlern und versuchsspezifischer Gesichtspunkte, die für die Aufzeichnung zur Nutzung in einem Lernmanagement-Kurs relevant sind.

5.3.1. Das Produktionsverfahren

Die Aufnahmearbeiten der Demonstrationsexperimente hatten zum Ziel, für eine Präsentation in einem Lernmanagement-Kurs geeignete Experimentvideos zu produzieren. Dabei sollte das spätere Endprodukt verschiedene didaktische und technische Anforderungen erfüllen. Hieraus ergaben sich einerseits für die Anordnung des Versuches notwendige Überlegungen, andererseits musste das Produktionsverfahren den technischen Gegebenheiten angepasst werden.

Zu den didaktischen Ansprüchen zählte die Optimierung der Versuchsaufbauten bezüglich ihrer Übersicht für eine einfache und schnelle Nachvollziehbarkeit, auch in der Kürze der Präsentationsdauer. Weiterhin sollte durch die Integration von Audiokommentaren in die Videoaufzeichnungen, die den Aufbau und die

Durchführung der Experimente erläutern, die Verstehensleistung der Betrachter effektiviert werden.

Technische Anforderungen, die in den Produktionsprozess mit einfließen, entstehen aus der Frage nach der Distribution der fertigen Videoaufzeichnungen. Für die Verteilung per Internet stehen verschiedene Dateiformate mit unterschiedlichen Eigenschaften zur Verfügung. In Frage kommende Formate sollten drei Anforderungen genügen:

- Das Dateiformat soll die Wiedergabe in einem kostenfreien, leicht zu erwerbenden und am besten schon weit verbreiteten Abspielprogramm ermöglichen.
- Die Videos sollen *Streaming* fähig sein, dies bedeutet, direkt im Internet-Browser ohne vorherigen Download und Öffnen in einer externen Anwendung betrachtet werden können.
- Die Reduktion der Dateigröße durch Komprimierung soll die Verfügbarkeit der Videos durch kürzere Ladezeiten beschleunigen und den Studierenden dadurch unnötige Wartezeit ersparen (vgl. Kapitel 3.4.2).

Nachfolgend wird ein ausführlicher Überblick über die zentralen Arbeitsschritte der Videoproduktion gegeben. Dabei genannte Computerprogramme werden in Kapitel 5.3.3 beschrieben.

Vor der eigentlichen Videoaufnahme wird jedes Experiment zunächst didaktisch aufgearbeitet. Dazu zählen die Klärung der Versuchsziele sowie die Planung und der Aufbau der Versuchsanordnung (vgl. Kapitel 5.3.6).

Hierbei wird auch das Einsatzpotential eines computerunterstützten Messwert-erfassungssystems diskutiert. Ebenfalls durch didaktische Überlegungen, aber auch durch filmtechnische Aspekte motiviert, muss eine Entscheidung über die Anzahl der benötigten Kameras und die optimale Perspektive getroffen werden.

Nach dem Aufbau des Experiments und dem Einrichten der Kameras ist der nächste, in der Regel sehr zeitaufwendige Arbeitsschritt, das Ausleuchten der vorbereiteten Szene. Hierzu standen Beleuchtungsstrahler unterschiedlicher Leistung sowie Tücher für die Erzeugung indirekten Streulichtes zur Verfügung.

Die eigentliche Videoaufnahme verläuft wie folgt: Die von den Kameras aufgezeichneten Daten werden mittels eines Firewire- oder USB-Kabels an den Computer transferiert. Die Übertragung geht dabei ohne Qualitätsverlust

vonstatten. Das Videoaufnahmeprogramm *VirtualDub* speichert die Daten im AVI⁷-Dateiformat auf der Computerfestplatte (vgl. Kapitel 5.3.3).

Die Nachbearbeitung des Videorohmaterials muss in drei Fälle unterschieden werden:

- *Videoaufnahmen mit nur einer Kamera:* Das so erhaltene Videorohmaterial wird zunächst in dem Videobearbeitungsprogramm *Premiere Pro* aufbereitet (vgl. Kapitel 5.3.3). Standardmäßig umfasst dies Arbeitsschritte wie den Schnitt von Anfang und Ende der Szene, das Zusammensetzen mehrerer Szenen zu einem Video und das Einfügen von Effekten wie Übergängen, Titelbild, Zeitraffer und Zeitlupe. Die Sprachkommentare konnten mit einem Mikrophon als zusätzliche Audiospur aufgenommen und ebenfalls mit *Premiere Pro* in das Video integriert werden. Danach erfolgte der Export des fertigen Videos in einem streamingfähigen und daher für die Präsentation geeigneten Dateiformat, dem Adobe-Flash-Dateiformat⁸.
- *Videoaufnahmen mit mehreren Kameras:* Die Verwendung mehrerer Kameras macht in der Nachbearbeitung zusätzliche Arbeitsschritte notwendig. Parallel entstandene Aufnahmen, beispielsweise Komplettansicht und Nahaufnahme eines Versuches, die in einem Video auch parallel präsentiert werden sollen (vgl. Themenblock 4 „Video – Absorption von Wärmestrahlung“ im Lernmanagement-Kurs), müssen mit Hilfe von *Premiere Pro* zeitlich synchronisiert werden. Die Kombination der einzelnen Videos zu einem Produkt geschieht ebenfalls unter Verwendung der Software *Premiere Pro*. Die einzelnen Aufnahmen werden räumlich nebeneinander platziert und danach im Adobe-Flash-Dateiformat exportiert.
- *Einsatz eines computerunterstützten Messwerterfassungssystems:* Zur Datenaufnahme mancher Experimente wurden die Vorteile der computerunterstützten Messwerterfassung genutzt.

⁷ Audio-Video-Interleave-Dateiformat: Standard Multimedia-Format MS-Windows gestützter Computer.

⁸ Streamingfähiges Multimedia-Dateiformat, welches zur Wiedergabe den kostenlosen Shockwave-Players verwendet und die Komprimierung von Videodateien unterstützt.

Mit Hilfe des Datenerfassungs- und Analyseprogramms *Datastudio* werden Messreihen erfasst, grafisch dargestellt und analysiert (vgl. Kapitel 5.3.3). Dies erfolgt unter deren unmittelbarer Anzeige. Diese Vorgänge werden mit Hilfe der Bildschirmaufzeichnungssoftware *Camtasia Studio* aufgezeichnet und auf der Fest-platte im AVI-Dateiformat gespeichert (vgl. Kapitel 5.3.3). Die Bildschirmaufnahme wird mit der parallel aufgenommenen Versuchsdurchführung unter Verwendung von *Premiere Pro* zeitlich synchronisiert, zu einem Video zusammengefügt und im Adobe-Flash-Dateiformat exportiert.

Die mit diesem Verfahren erzeugten Videodateien werden den oben formulierten technischen Anforderungen gerecht und können ohne weitere Modifizierung über das Internet verteilt und präsentiert werden.

5.3.2. Sprachkommentare

Der Einsatz von Sprechtext ist besonders effektiv, wenn er in kurze Einheiten gefasst ist. Er eignet sich besonders zur Ergänzung von dynamischen Präsentationen, wie es Experimentvideos sind. Durch gesprochenen Text können während der Präsentation Erläuterungen gegeben werden, ohne dass die Lernenden dadurch vom Bild abgelenkt werden (vgl. Niegemann 2008, S.201). In diesem Kontext dient gesprochener Text außerdem dazu, die Aufmerksamkeit der Lernenden gezielt zu lenken, indem zum Beispiel Beobachtungsaufträge in einem Experimentvideo gegeben werden.

Bei der Aufnahme von Sprechtext sollten folgende Kriterien beachtet werden, um den Lernenden die Rezeption und Verarbeitung des Gehörten zu erleichtern:

- Angemessene Betonung und Sprechgeschwindigkeit.
- Kurze, prägnante Sätze.
- Pausen.

Diese Kriterien wurden bei der Aufnahme der Audiokommentare zu den einzelnen Experimentvideos berücksichtigt.

5.3.3. Verwendete Technik

- **Die Kameras**

Für die Videoaufzeichnungen standen drei CCD-DV Camcorder⁹ zur Verfügung:

- *Panasonic NV-GS330* (vgl. Panasonic): Dieser Camcorder ist in Besitz des Hochschulrechenzentrum und wurde für die Zeit der Videoaufzeichnungen ausgeliehen.
- *Sony DCR-HC 62 E Handycam* (vgl. Sony a): Dieser Camcorder wurde vom *e-learning center* bereitgestellt.
- *Sony Digital DCR-VX 1000E Handycam* (vgl. Sony b): Diesen Camcorder stellte die Vorlesungsassistentz des Institutes für Festkörperphysik der TU Darmstadt für den zur Videoaufzeichnung benötigten Zeitraum zur Verfügung.

Bei allen Aufzeichnungen, die nur eine Kamera benötigten, wurde der Camcorder von Panasonic eingesetzt. Mit dieser Kamera konnten die qualitativ besten Aufzeichnungen erstellt werden.

- **Die computerunterstützten Messwerterfassungssysteme**

Um experimentelle Messwerte zwecks digitaler Speicherung, Weiterverarbeitung und Darstellung mit Computern zu erfassen, werden computerunterstützte Messwerterfassungssysteme eingesetzt. Diese bestehen aus verschiedenen Hardware- und Softwarekomponenten. Die physikalischen Messgrößen werden mit Sensoren erfasst, über ein Datenerfassungsinterface an den Computer übermittelt und mit einem Datenerfassungs- und Analyseprogramm ausgelesen, dargestellt und ausgewertet. Im Rahmen der Videoaufzeichnung wurden je nach Anforderung zwei unterschiedliche Interfaces verwendet:

- *Pasco ScienceWorkshop 700 Interface*¹⁰.
- *Pasco USB Power-Link* (vgl. PASCO a).

⁹ CCD steht für Charge Coupled Device und beschreibt den im Camcorder verwendeten Bildwandlertyp. DV bedeutet Digital Video.

¹⁰ Vorgänger des ScienceWorkshop 750 Interface. Der Hersteller stellt für das ScienceWorkshop 700 Interface keine technischen Daten mehr bereit.

- **Die Software**

- ***VirtualDub 1.8.8***

VirtualDub ist ein Videoaufnahmeprogramm. Es fungiert als digitaler Videorecorder und zeichnet den von den DV-Camcordern produzierten Datenstrom auf der Computerfestplatte auf. Das Speichern geschieht ausschließlich im AVI-Dateiformat, welchem als Rohmaterial die Streaming-Fähigkeit für Internet-Browsern fehlt und daher während der Nachbearbeitung in ein passendes Dateiformat konvertiert werden muss (vgl. *VirtualDub*).

- ***Camtasia Studio 6.0.3***

Die Software *Camtasia Studio* ist ein Echtzeit-Screenrecording-Programm und wird zum Aufzeichnen von Ereignissen auf dem Bildschirm eingesetzt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde es verwendet, um Datenaufnahmen und -analysen mit dem computerunterstützten Messwerterfassungssystem als Video für die Präsentation im Lernmanagement-Kurs verfügbar zu machen (vgl. *Camtasia*).

- ***Adobe Premiere Pro CS4***

Zur Nachbearbeitung des erstellten Videorohmaterials wurde das semi-professionelle Videobearbeitungsprogramm *Premiere Pro* verwendet. Eingesetzt wurden primär die Funktionen zum Schneiden des Rohmaterials, Aufnehmen zusätzlicher Tonspuren, Einfügen von Effekten wie Zeitlupe und Zeitraffer, sowie die Möglichkeit die bearbeiteten Videodateien als Adobe-Flash-Dateiformat zu exportieren (vgl. *Premiere Pro*).

- ***Datastudio 1.9.8.8***

Zum Auslesen der mittels computerunterstützter Messwerterfassung aufgezeichneten Daten wurde unabhängig vom verwendeten Datenerfassungsinterface das Datenerfassungs- und Analyseprogramm *Datastudio* eingesetzt. Die Software *Datastudio* eignet sich zum Erfassen, Anzeigen und Analysieren von Messwerten (vgl. *Datastudio*).

5.3.4. Grundlagen zum Aufbau von physikalischen Experimenten zu Aufzeichnungszwecken

Häufig laufen Demonstrationsexperimente in einer kurzen Präsentationszeit ab. Dabei kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Studierenden mit den Versuchsaufbauten schon vertraut sind.

Um den Studierenden das Verstehen der Versuchsanordnungen zu erleichtern, sollten bei der Planung von Demonstrationsexperimenten einige Aspekte berücksichtigt werden:

- Die Versuchsanordnung sollte übersichtlich und nachvollziehbar sein. Dies wird durch eine gezielte räumliche Anordnung des Experimentiergerätes erreicht.

Für den Versuch wesentliche Komponenten gehören in das Zentrum des Aufbaus und können zusätzlich durch Hinterlegung farblich hervorgehoben werden. Zusatz- und Versorgungsgeräte werden in den Hintergrund gestellt oder eventuell abgedeckt und nur durch ein Symbol dargestellt. (vgl. Kircher, Girwidz & Häußler 2001, S.287). Eine vertikale Versuchsanordnung mit Hilfe von Kästen und Stelltischen ist einer horizontalen in der Tischebene vorzuziehen. (vgl. Bleichroth [u.a.] 1999, S.251/252)

- Die Sichtbarkeit der für das Experiment wesentlichen Teile kann durch Verwendung von Projektionstechnik verbessert werden. (Kirstein 1999, S.27) Große Geräte mit gut lesbaren Anzeigen erleichtern zusätzlich die Beobachtung von Messwerten.
- Kabelverbindungen sollten möglichst kurz gehalten sein und können je nach Funktion durch unterschiedliche Farbwahl voneinander abgehoben werden (vgl. Kircher, Girwidz & Häußler 2001, S.287).

Aus dem Artikel „ Experimentierfilme für den Physikunterricht“ von Jodl, Ringeisen und Leiter (1984) lassen sich folgende Forderungen speziell an Experimentvideos ableiten:

- Experimentelle Probleme sollen nicht übergangen werden. Auch messtechnische Schwierigkeiten wie Messfehler oder statistische Schwankungen sollen vermittelt werden.

In diesem Zusammenhang wird auch davon abgeraten, unrealistisch exakte Messergebnisse zu präsentieren.

- Messergebnisse sollen nicht extra eingeblendet werden. Müssen die Messwerte an den verwendeten Messgeräten abgelesen werden, so steigert dies die Authentizität.
- Der Aufbau der Versuchsanordnung soll größtmögliche Wirklichkeitsnähe erzeugen. Auch die Durchführung soll die oben genannten Punkte einschließen.
- Der Versuch sollte in einer auf das Wesentliche reduzierten Form angeordnet werden. Dies soll die Ablenkung durch unwichtige Nebensächlichkeiten minimieren.

Wie bei realen Demonstrationsversuchen unterliegt die Durchführung eines aufgezeichneten Versuchs einem Experimentator. Betrachten der Videoaufzeichnung ermöglicht dies, die Handhabung des Versuches kognitiv nachzuvollziehen (vgl. Jodl, Ringeisen & Leiter 1984, S.190).

Beim Aufbau der im Rahmen dieser Arbeit aufgezeichneten Experimente wurden die eben beschriebenen Strukturierungshilfen nach Möglichkeit berücksichtigt. Einzelne Experimente erforderten allerdings aus aufzeichnungsbedingten Gründen Kompromisse. Des Weiteren wurden die oben beschriebenen Forderungen an Experimentvideos bei der Planung und Aufzeichnung der Experimente einbezogen:

- Messergebnisse wurden nicht idealisiert. Die Videos zeigen reale Ergebnisse mit realen Messfehlern. Dadurch wird eine Diskussion über die Genauigkeit und die Ursache eventueller Abweichungen angeregt. Studierende sollen dadurch mögliche Fehlerquellen sowie die eventuellen Grenzen der Genauigkeit des Experiments kennen lernen.
- Auf zusätzliche Einblendungen der Messergebnisse wurde verzichtet. Die Ergebnisse müssen an den im Experiment verwendeten Messgeräten abgelesen werden, oder werden durch das verwendete Datenerfassungs- und Analyseprogramm angezeigt.
- Der Aufbau und die Durchführung der im Video dargestellten Experimente orientieren sich an Aufbau und Durchführung realer Demonstrationsversuche. Dadurch wird eine möglichst große Nähe zur Wirklichkeit angestrebt.

-
- Der Aufbau der Versuche beschränkt sich auf das erforderliche Minimum an dem dafür notwendigem Experimentiergerät. Für den Versuch unwesentliches Gerät wurde in den Hintergrund verbannt.
 - Um die Übermittlung nicht lernzielrelevanter Informationen zu minimieren, wurde für die Aufnahme der Videos bewusst ein neutraler Hintergrund gewählt. Bei der konkreten Auswahl gingen Fragen nach optimalem Kontrast und Helligkeit ein. Je nach Ausgangslage der einzelnen Versuche fiel die Entscheidung entweder auf eine weiße Wand oder blaue Tücher.

Eine detaillierte Betrachtung der einzelnen Versuchsaufbauten sowie die darin eingegangenen Überlegungen und notwendigen Kompromisse bezüglich der Anordnung sind in Kapitel 5.3.6 zu finden.

5.3.5. Aufnahmetechnische Probleme

Die Aufnahme schneller Bewegungen oder besonders heller Objekte stellte für die verwendeten Camcorder eine Herausforderung dar. Zu erkennen war dies anhand verschiedener in den Aufzeichnungen auftretender Bildfehler. Im Folgenden werden die erfahrenen Problematiken theoretisch und ohne Beispiele erläutert. Eine Darstellung der Situationen ihres jeweiligen Auftretens ist in der Beschreibung der einzelnen aufgezeichneten Experimente zu finden.

- **Filmen schneller Bewegungen:**
 - *Unschärfe:*

Die Wahl einer kurzen Belichtungszeit verhindert oder minimiert das Verschmieren des Bildes. Eine kurze Belichtungszeit erfordert für optimale Ergebnisse allerdings sehr viel Licht. Starke zusätzliche Beleuchtung ist hier von Vorteil.
 - *Halbbilder:*

Zeigen sich in einer Aufnahme eines bewegten Objekts horizontale Streifen und erscheint das Objekt an den Rändern ausgefranst, so liegt die Ursache in den unterschiedlichen Modi der Aufnahme und der Wiedergabe des Videos.

Während der Aufnahme arbeitet eine Kamera normalerweise im *Halbbildmodus*. Die Kamera zeichnet abwechselnd per Zeilensprungverfahren, dem so genannten *Interlace*, nur ungerade oder gerade Zeilen auf. Insgesamt werden pro Sekunde 50 dieser Halbbilder aufgezeichnet.

Da Flachbildschirme im *Vollbildmodus* wiedergeben, müssen aus den aufgenommenen Halbbildern Vollbilder erzeugt werden. Dazu werden je zwei Halbbilder einfach ineinander verkämmt zu einem Vollbild zusammen gesetzt. So entsteht eine Filmaufnahme mit 25 Vollbildern pro Sekunde (vgl. Schmidt 2009, S.37)

Bewegt sich ein Objekt während der Aufnahme sehr schnell, so ist es auf zwei aufeinander folgenden Halbbildern an zwei unterschiedlichen Stellen zu sehen. Zwischen den beiden Halbbildern liegt schließlich eine Zeitspanne von 20 ms. Die ausgefranst Ränder entstehen durch das Zusammensetzen der beiden Halbbilder. Dieser Effekt ist umso größer, je größer die Geschwindigkeit der Bewegung ist.

Professionelle Camcorder verfügen mitunter über einen Vollbildaufnahmemodus. Dieser ermöglicht die scharfe Aufnahme bewegter Objekte. Die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Camcorder der Consumer-Klasse waren dagegen nicht mit dieser Funktion ausgestattet. Das Videobearbeitungsprogramm *Premiere Pro* bietet einen Videofilter zur Nachbearbeitung, der den beschriebenen Bildfehler zwar verringert, aber nicht vollständig beseitigt.

- **Filmen heller Objekte:**

- *Blooming-Effekt:*

- Erscheinen beim Filmen heller Objekte ganze Bildbereiche als helle, weiße Fläche ohne erkennbare Konturen, so wird vom *Blooming-Effekt* gesprochen.

- Die Ursache dieses Effekts liegt in der Funktionsweise der CCD-Sensoren begründet:

- CCD-Sensoren bestehen aus mehreren Millionen lichtempfindlicher Halbleiterdioden, genannt Pixel. Je mehr Elektronen in einem Pixel erzeugt werden, desto heller ist die Bildinformation. Ist die Bestrahlung eines Pixels zu intensiv, werden in diesem Pixel zu viele

Elektronen erzeugt, sodass diese nicht mehr sinnvoll zu verarbeiten sind. Die erhaltene Bildinformation entspricht dann gleißend hellem Weiß. Zudem werden die überschüssigen Ladungen auf Grund schlechter Isolation an benachbarte Pixel weitergegeben und diese eventuell auch überbelastet. Der Bildfehler pflanzt sich fort und die beschriebenen weißen Flächen entstehen (vgl. Maschke 2004, S.46/47).

- *Smear-Effekt:*

Der *Smear-Effekt* tritt ebenfalls beim Filmen sehr heller Objekte auf, insbesondere wenn deren Umgebung vergleichsweise dunkel erscheint. Zu erkennen ist er an einem vertikal durch das Bild laufenden hellen Streifen.

Verursacht wird der *Smear-Effekt* durch Licht, welches während des Auslesevorgangs der einzelnen Pixel weiterhin auf diese fällt:

Die einzelnen Pixel eines CCD-Sensors sind in einer Matrix angeordnet. Die bei Bestrahlung erzeugten Elektronen werden zum Auslesen in einen in den Pixel enthaltenen Speicher verschoben. Danach werden die Elektronen aus den Speichern spaltenweise weiter verschoben. Es entsteht ein kontinuierlicher Stromfluss, der die gesamten Bildinformationen einer Spalte enthält. Bei diesem vertikalen Auslesevorgang passieren die Elektronen auch die Speicher der anderen in dieser Spalte liegenden Pixel. Der *Smear-Effekt* kommt zustande, weil nicht nur die Halbleiterdioden sondern auch die Speicherbauteile lichtempfindlich sind und diese nicht vollständig vor dem einfallenden Licht abgeschirmt werden. Trifft Licht auf die Speicherbauteile, werden zusätzliche Elektronen erzeugt. Diese werden zum Auslestrom summiert und führen zu einer Verstärkung des ursprünglichen Stroms und damit zu einer Aufhellung der Bildinformation (vgl. Fluch 2006, S.92/93).

Besonders deutlich tritt der Fehler auf, wenn einzelne helle Punkte in einer dunklen Umgebung zu sehen sind. Da schwach belichtete Pixel wenig Elektronen erzeugen, fallen die beim Passieren des besonders stark belichteten Pixels aufaddierten Elektronen besonders ins Gewicht und der relative Fehler ist dementsprechend groß.

Prinzipiell können diese Effekte durch Schließen der Kamerablende abgeschwächt werden. Dies verhindert unter Umständen wiederum die Einstellung der für eine optimale Aufnahme notwendigen Helligkeit und macht so Kompromisse erforderlich.

Traten bei einzelnen Aufzeichnungen *Blooming*- oder *Smear-Effekte* auf, wurde versucht, individuelle Lösungen für eine bestmögliche Aufnahmequalität zu finden. In einigen Fällen erwies sich das Abkleben der Verursacher, wie zum Beispiel Glühwendeln oder Reflexionen, mit Klebeband als hilfreich. Auf die jeweiligen Lösungen der versuchsspezifischen Problematiken und die dabei erzielten Ergebnisse und Kompromisse wird bei der Auflistung der aufgezeichneten Experimente in Kapitel 5.3.6 ausführlicher eingegangen.

- **Filmen dunkler Szenen**

Thermische Anregung freier Ladungsträger erzeugt in dunkleren Bildbereichen, in denen das eigentliche Bildsignal in den einzelnen Pixeln nur wenige Elektronen auslöst, ein statistisches Zusatzsignal, *Thermisches Rauschen* genannt.

- **Synchronisation von Bildschirmaufnahmen und Versuchsvideos**

Die Arbeit mit einem computerunterstützten Messwerterfassungssystem erforderte eine parallele Aufzeichnung der Versuchsdurchführung und des Computerbildschirms (vgl. Kapitel 5.3.1).

Die für die Bildschirmaufzeichnung verwendete Software erlaubte die Einstellung unterschiedlicher Abtastraten. Da die verwendeten Kameras mit 25 Bildern pro Sekunde aufzeichnen, muss auch die Aufnahme des Computerbildschirms mit genau dieser Rate erfolgen. Ist dies nicht der Fall, treten bei der Synchronisation der beiden Aufnahmen in *Premiere Pro* Fehler auf, die zu einem asynchronen Verhalten beider Aufnahmen führen. Die Bilder der Bildschirmaufnahme werden in diesem Fall den Bildern der Versuchsaufnahme nicht korrekt zugeordnet.

- **Filmen periodischer Muster - Moiré-Effekt**

Bei Videoaufnahmen feiner periodischer Muster sind gelegentlich Flimmereffekte und farbige Störmuster erkennbar. Hervorgerufen wird dieser *Moiré-Effekt* genannte Bildfehler, wenn das Motivmuster periodische Strukturen enthält, die mit der regelmäßigen Pixelanordnung vergleichbar sind (Nyquist Abtasttheorem) (vgl. Jähne 2005, S.259/260).

5.3.6. Aufgezeichnete Experimente

An dieser Stelle wird eine Aufstellung aller für den Lernmanagement-Kurs auf gezeichneten Experimente gegeben. Dabei entspricht die Reihenfolge ihrer Darstellung der ihrer Präsentation im Lernmanagement-Kurs. Erörtert werden jeweils die *Versuchsziele*, der *Versuchsaufbau*, *aufnahmetechnische Aspekte* und je nach Notwendigkeit die *Gestaltung des Aufbaus* und die *Auswertung und Diskussion der Messwerte*.

5.3.6.1. Reflexion von Wärmestrahlung

Versuchsziel

Dieser Versuch zeigt die Gültigkeit des aus der Strahlenoptik bekannten Reflexionsgesetzes für nicht sichtbare Wärmestrahlen. Weiterhin zeigt der Versuch, dass Wärmestrahlung Energie überträgt und dass thermosensitive Flüssigkristallfolie zum Nachweisen von Wärmestrahlung geeignet ist.

Versuchsaufbau

In diesem Versuch wird ein Lötkolben, welcher nicht sichtbare Wärmestrahlung emittiert, als Strahlungsquelle eingesetzt. Der Lötkolben wird annähernd in den Brennpunkt eines Parabolspiegels gestellt. Der Parabolspiegel ist im Abstand von etwa 1 m auf eine Wand ausgerichtet, an welcher die thermosensitive Flüssigkristallfolie befestigt ist (vgl. Abbildung 3). Bis zu einer folienabhängigen unteren

Grenztemperatur ist die Folie schwarz. Steigt die Temperatur der Folie, verfärbt diese sich von schwarz zu rot über gelb – grün – blau wieder zu schwarzblau. Die Temperaturerhöhung wird durch die von der LötKolbenspitze emittierten und am Parabolspiegel in Richtung der Flüssigkristallfolie reflektierten Wärmestrahlung verursacht. Der Nachweis der Wärmestrahlung erfolgt über die von ihr transportierte und beim Auftreffen in der Folie deponierte Energie.

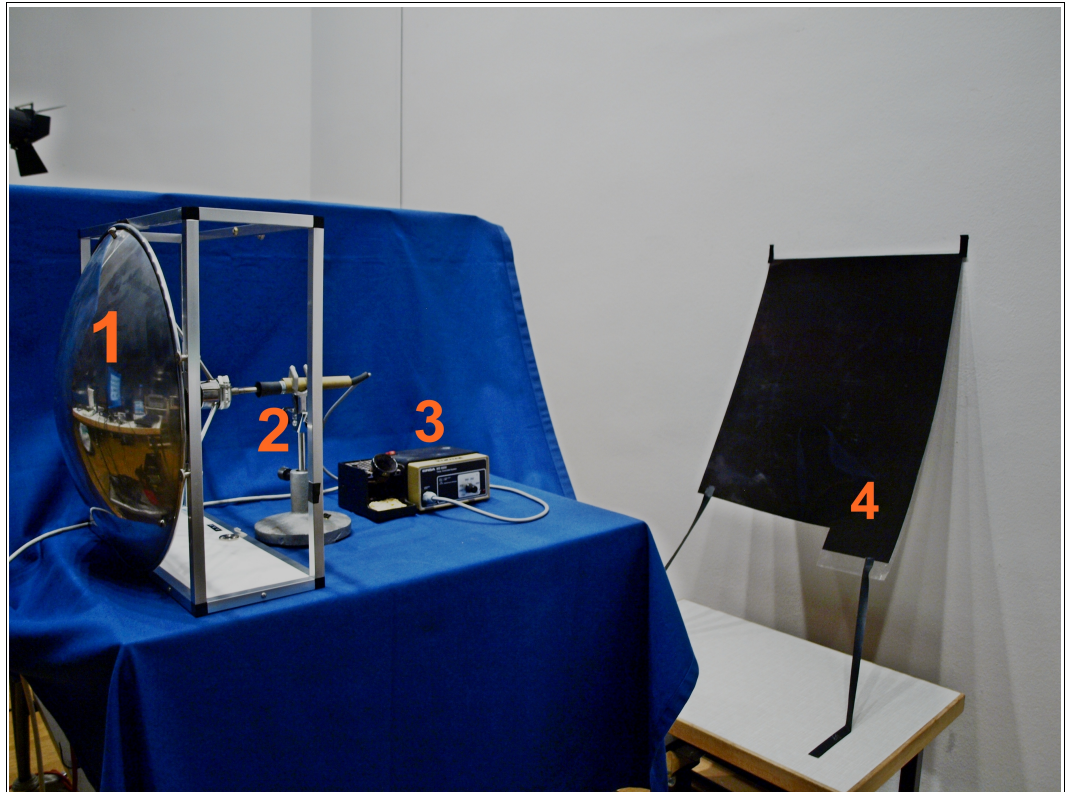


Abbildung 3: Versuchsanordnung "Reflexion von Wärmestrahlung": Parabolspiegel (1); LötKolben (2); Netzgerät (3) und thermosensitive Flüssigkristallfolie (4).

Aufzeichnungsrelevante Aspekte

Der Versuch wurde mit zwei Kameras aufgezeichnet. Eine Kamera wurde auf den Parabolspiegel, den LötKolben und das Netzgerät des LötKolbens gerichtet, die andere diente der Beobachtung der Flüssigkristallfolie. In einem Bild alle Elemente der Versuchsanordnung auf einen Blick zu sehen, wäre für eine optimale räumliche Darstellung der Anordnung wünschenswert gewesen. Allerdings erlaubte die Geometrie des Aufbaus die Verwendung nur einer Kamera nicht (vgl. Abbildung 3). In der Nachbearbeitung des Videorohmaterials wurden deshalb die Videoaufnahmen der beiden Kameras hintereinander gesetzt. Zuerst wurde der

Parabolspiegel und der LötKolben gezeigt. Sobald das Netzgerät eingeschaltet war, wird diese Szene ausgeblendet und die Aufnahme der Flüssigkristallfolie zur Beobachtung ihrer Reaktion eingeblendet.

Die Aufnahme der Flüssigkristallfolie gestaltete sich durch deren glatte und reflektierende Oberfläche als schwierig. Um die im Bild sichtbaren Reflexionen der Beleuchtung zu minimieren, wurde die Flüssigkristallfolie nicht senkrecht an der Wand angebracht, sondern unter einem Winkel (vgl. Abbildung 3). Der Winkel wurde so gewählt, dass möglichst wenig Licht der zur Beleuchtung eingesetzten Lampen in Richtung der Kamera reflektiert wurde.

Ein weiteres Problem bei der Ausleuchtung des Aufbaus ergab sich durch die hohe Leistung der zur Verfügung stehenden Strahler und der großen Sensitivität der Folie gegenüber Wärmestrahlung. Direkte Bestrahlung führte schon vor Beginn des Versuches zu einer gelb-rötlichen Verfärbung der Flüssigkristallfolie. Ein flacher Einstrahlwinkel und die Beleuchtung mit diffusem Streulicht reduzierten diese Verfärbung.

5.3.6.2. Reflexion und Fokussierung von Wärmestrahlung

Versuchsziel

Dieser Versuch zeigt wie der vorherige das Reflexionsgesetz für Wärmestrahlung und den Energietransport durch diese.

Im Lernmanagement-Kurs wird er zur Rekapitulation des Versuches „Reflexion von Wärmestrahlung“ durch die Studierenden eingesetzt.

Versuchsaufbau

Zwei Parabolspiegel werden im Abstand von 15 m gegenübergestellt und zueinander ausgerichtet. In den Brennpunkt des linken Parabolspiegels wird eine 150 W Halogenlampe gestellt und an ein regelbares Gleichspannungsnetzgerät angeschlossen. Ist das Bild der Glühwendel auf der gegenüberliegenden Wand scharf zu erkennen, so ist die Glühwendel annähernd im Brennpunkt des Parabolspiegels (Abbildung im „Unendlichen“). In den Brennpunkt des rechten Parabol-

spiegels wird der Kopf eines Streichholzes gestellt (vgl. Abbildung 4). An der Halogenlampe wird eine Spannung angelegt und der Streichholzkopf beobachtet.

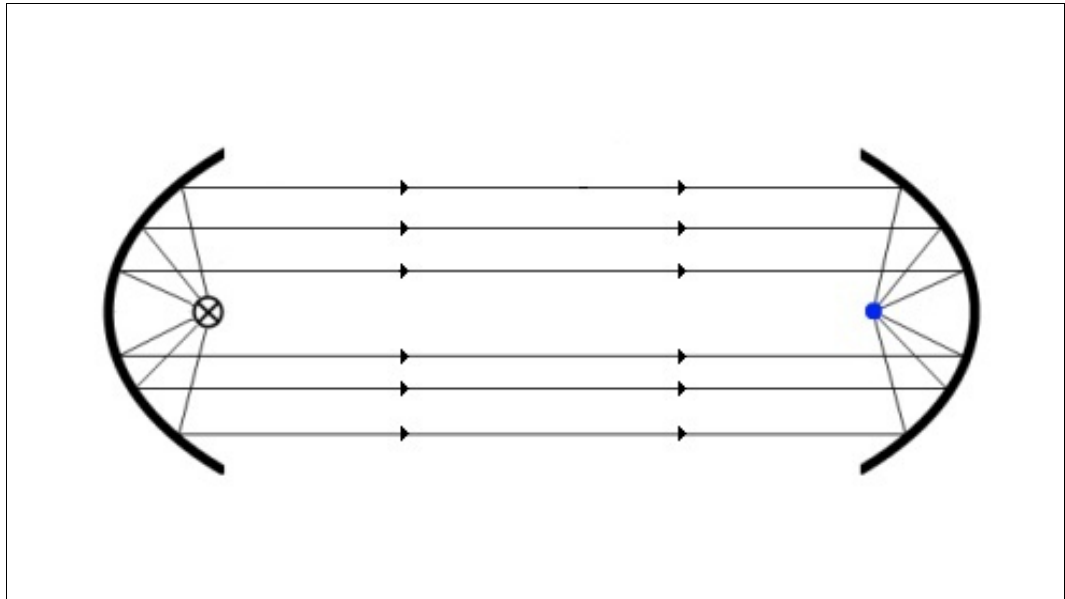


Abbildung 4: Schematische Skizze der Versuchsanordnung „Reflexion und Fokussierung“ mit Strahlengang exemplarischer Wärmestrahlen.

Aufzeichnungsrelevante Aspekte

Bei der Durchführung des Experiments wurde die an der Halogenlampe anliegende Spannung so hoch gewählt, dass das Streichholz schnell entflammte. Hierdurch sollte die Dauer des Videos möglichst kurz gehalten werden, um das zum Betrachten abzurufende Datenaufkommen und in Folge dessen die erforderliche Ladezeit zu begrenzen.

Dieser Versuch wurde aus zwei Perspektiven aufgezeichnet. Die Gesamtansicht des Versuches wurde mit dem *Panasonic NV-GS330* Camcorder aufgenommen. Parallel dazu wurde mit der *Sony DCR-HC 62 E Handycam* eine Nahaufnahme des Streichholzkopfes erstellt. Um den Versuchsaufbau möglichst übersichtlich zu gestalten und möglichst wenig Aufnahmegerät in der Gesamtansicht zu zeigen, wurde der Camcorder zur Nahaufnahme des Streichholzes mit Akku und DV-Kassette betrieben und das Video im Nachhinein auf den Computer überspielt. Hierdurch wurde erreicht, dass keine zusätzlichen Kabel zur Stromversorgung und keine Computer zur Datenerfassung zu sehen sind.

Für die Nahaufnahme wurde die Kamera manuell fokussiert, da der Autofokus auf Reflexionen an der Spiegeloberfläche scharf stellte. Außerdem musste die Blende der Kamera fast vollständig geschlossen werden, um eine Überbelichtung des Bildes zu vermeiden.

Die Reflexionen an der Spiegeloberfläche brachten ein weiteres Problem mit sich: Verursacht durch das Bild der Halogenlampe, war neben dem Streichholzkopf ein sehr intensiver, heller Bereich zu sehen, der einen Großteil des Bildes überstrahlte (vgl. Kapitel 5.3.5). Durch Abkleben der Spiegeloberfläche an der Stelle des Bildes mit mattem Klebeband konnte der Effekt minimiert werden.

5.3.6.3. Lichtmühle

Versuchsziel

Der Versuch zeigt die durch elektromagnetische Strahlung verursachte Drehbewegung der Lichtmühle. Zusätzlich wird qualitativ die Abhängigkeit der Strahlungsintensität vom Abstand des Emitters zum Absorber gezeigt.

Versuchsaufbau und -durchführung

Neben der Lichtmühle wird eine Kerze platziert und entzündet. Unter Beobachtung der Drehbewegung wird der Abstand zwischen Kerze und Lichtmühle variiert. Die Geschwindigkeit der Drehbewegung ist dabei ein Maß für die Strahlungsintensität der Kerzenflamme am Ort des Lichtmühlenflügels.

Aufzeichnungsrelevante Aspekte

Das Experimentvideo lässt einen hellen vertikalen Streifen durch die Kerzenflamme erkennen. Dieser *Smear-Effekt* (vgl. Kapitel 5.3.5) genannte Bildfehler kann bei der Aufnahme von Kerzenflammen nicht verhindert werden. Durch das Schließen der Kamerablende wurde er minimiert, allerdings nimmt hierdurch die Helligkeit der gesamten Aufnahme ab. Die Kamerablende wurde für die Auf-

zeichnung so weit geschlossen, wie es für eine ausreichende Bildhelligkeit möglich war. Damit konnte der *Smear-Effekt* auf ein vertretbares Maß reduziert werden. Zusätzlich zu der beschriebenen Versuchsdurchführung wurde ein Video mit einer Nahaufnahme der Drehbewegung des Lichtmühlenrades erstellt. Diese zeigt besonders gut erkennbar dessen Drehrichtung. Die weitverbreitete Fehlvorstellung, die Drehung der Lichtmühle beruhe auf der Wirkung des Strahlungsdruckes, kann durch das Herausstellen der Drehrichtung falsifiziert werden. Wird der Strahlungsdruck als Ursache der Drehbewegung angenommen, so müsste diese sich mit der geschwärzten Seite voraus drehen. Die Nahaufnahme zeigt jedoch deutlich, dass die Drehung des Lichtmühlenrades mit der blanken Seite voraus erfolgt.

5.3.6.4. Absorption von Wärmestrahlung

Versuchsziel

Der Absorptionsgrad eines Körpers hängt von dessen Oberflächenbeschaffenheit ab. Dieser Versuch zeigt diese Abhängigkeit qualitativ für zwei Körper unterschiedlicher Oberfläche. Einer der Körper hat eine schwarz berußte Oberfläche, während der andere Körper transparent ist.

Versuchsaufbau

Die Strahlungsquelle für diesen Versuch ist eine Kerze. Die Körper, welche bestrahlt werden und deren Absorptionsvermögen verglichen wird, sind die Glaskolben zweier Thermoskope. Thermoskope sind ungeeichte Geräte zur Anzeige von Temperaturänderungen. Thermoskope basieren auf der temperaturabhängigen Volumenänderung von Körpern. Die im Experiment verwendeten Thermoskope bestehen aus luftgefüllten Glaskolben, welche mit Tintenlösung befüllten U-Rohren verbunden sind (vgl. Abbildung 5). Wird die Luft erwärmt, dehnt diese sich aus und verschiebt die zur Anzeige der Temperaturänderung dienenden Tintensäulen. Der Nachweis der Absorption von Wärmestrahlung gelingt durch die bei der Absorption im Thermoskop deponierte Energie. Diese erhöht die Temperatur der eingeschlossenen Luft und die Tintensäule wird

bewegt. Die Oberfläche eines der beiden Thermoskope ist beruht. Beide Thermoskope werden im selben Abstand zur Kerze aufgestellt. Die Kerze wird entzündet, zu diesem Zeitpunkt sind beide Thermoskope im thermischen Gleichgewicht mit ihrer Umgebung. Die Tintenstände der Thermoskope werden beobachtet.

Die Abhängigkeit des Emissionsgrades von der Oberflächenbeschaffenheit kann gezeigt werden, indem die Kerze nach einiger Zeit gelöscht wird und ebenfalls danach das Thermoskop beobachtet wird.

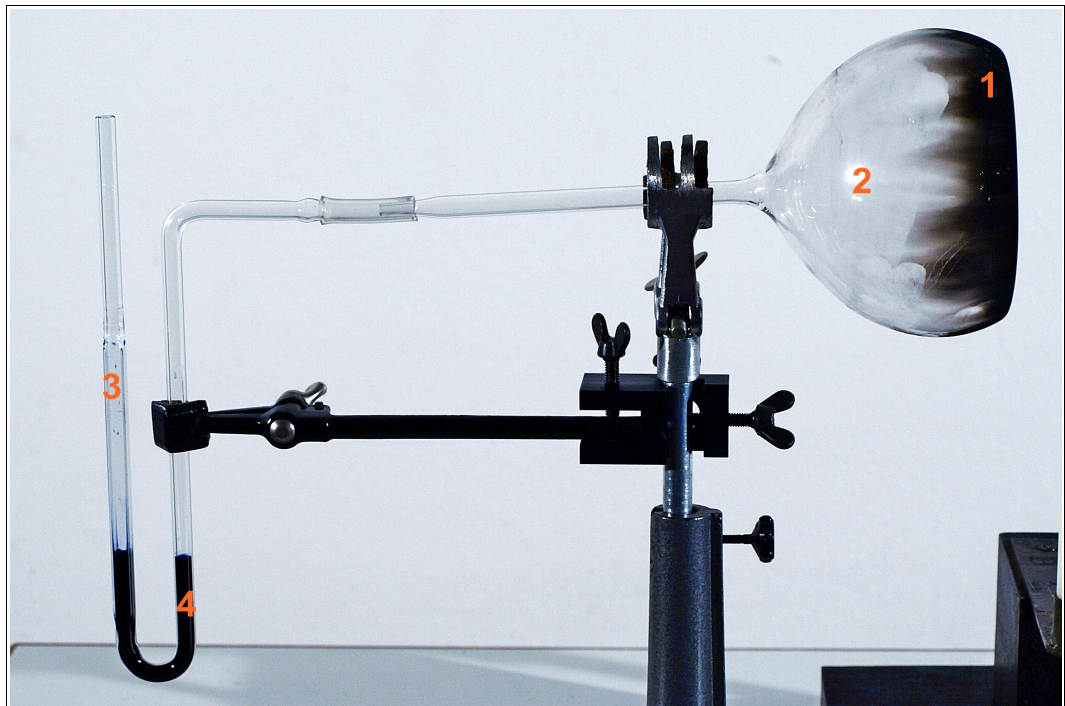


Abbildung 5: Thermoskop: Rußschicht (1); Glaskolben (2); U-Rohr (3) und Tintenlösung (4).

Aufzeichnungsrelevante Aspekte

Die bei den anderen Experimenten als Hintergrund verwendeten blauen Tücher, konnten zur Aufnahme dieses Experiments nicht verwendet werden, da die dunklen Tücher zu wenig Kontrast für eine gute Erkennbarkeit der Tintenlösung boten. Als geeignete Kombination ergab sich blaue Tintenlösung vor einer weißen Wand. Der Kontrast zwischen der weißen Farbe der Wand und der blauen Farbe der Tintenlösung ist groß genug, um den Stand der Tintensäule im Thermoskop auch in der Videoaufnahme gut zu erkennen.

Zur Aufzeichnung dieses Experiments wurden die drei verfügbaren Camcorder verwendet. Aufgezeichnet wurde eine Ansicht des gesamten Experiments und parallel dazu jeweils eine Nahaufnahme der beiden U-Rohre der Thermoskope. Die Nahaufnahmen der Thermoskope sollen das Erkennen einer Veränderung in der Position der Tintensäule vereinfachen. Das fertiggestellte Experimentvideo zeigt die drei aufgezeichneten Perspektiven parallel nebeneinander.

In der Nachbearbeitung musste ein Weißabgleich der einzelnen Aufnahmen vorgenommen werden, da mit drei Kameras unterschiedlichen Typs aufgezeichnet wurde .

Die Beobachtungszeit der Thermoskope allein für den Absorptionsprozess beträgt circa zweieinhalb Minuten. Um einer Demotivierung des Betrachters durch die lange Beobachtungszeit vorzubeugen, wurde in der Nachbearbeitung das Zeitraffer-Werkzeug verwendet und so die Wiedergabezeit reduziert. Diese Begrenzung hat den weiteren Vorteil, dass auch die Dateigröße und damit das abzurufende Datenvolumen verkleinert werden. Dies führt zu einer kürzeren Ladezeit beim Streaming des Videos im Internet.

5.3.6.5. Antrieb der Lichtmühle durch Wärmestrahlung

Versuchsziel

Dieser Versuch zeigt, dass auch elektromagnetische Strahlung außerhalb des sichtbaren Spektralbereichs, speziell Wärmestrahlung, eine Drehbewegung der Lichtmühle hervorruft.

Außerdem demonstriert er die berührungslose Messung von Oberflächentemperaturen mittels Infrarotthermometer. Und motiviert so die Diskussion dessen Funktionsprinzips.

Versuchsaufbau

Die die Lichtmühle antreibende Strahlungsquelle in diesem Versuch ist ein Bügeleisen. Mit einem Infrarotthermometers wird die Temperatur der Bügelsohle bestimmt.

Aufzeichnungsrelevante Aspekte

Bei diesem Versuch ist die Lichtmühle leicht von oben gefilmt. Unter diesem Blickwinkel ist die Drehrichtung des Flügelrades besser zu erkennen. Die unterschiedlichen Oberflächen der Flügelplättchen sind mit Hilfe der Zoomfunktion sichtbar gemacht.

Die Lichtmühle reagiert sehr sensibel auf Umgebungslicht. Um das zu beobachtende Phänomen dieses Versuches möglichst deutlich und unverfälscht zu zeigen, musste das Ausleuchten der Anordnung auf ein Minimum beschränkt werden. Die Aufnahme erscheint dadurch insgesamt etwas dunkel, dies ist als Kompromiss allerdings unumgänglich.

5.3.6.6. Emission von Wärmestrahlung

Versuchsziel

Der Versuch zeigt zunächst die Temperaturabhängigkeit der Strahlungsemission. Nach dem Befüllen des Würfels mit siedendem Wasser wird eine höhere Strahlungsintensität gemessen. Dieses Phänomen kann als Motivation zur Auseinandersetzung mit dem Stefan-Boltzmann Gesetz genutzt werden.

Des Weiteren zeigt der Versuch die Abhängigkeit der Strahlungsintensität von der Oberfläche eines Körpers: Bei nahezu konstant gehaltener Oberflächentemperatur zeigt das Spannungsmessgerät für die drei unterschiedlichen Oberflächen unterschiedliche Spannungen. Die Strahlungsemission ist am größten für die schwarze, berußte Seitenfläche, am geringsten für die Reflektierende.

Die Nutzung einer Thermosäule nach *Moll* zur Messung der Strahlungsintensität motiviert eine Auseinandersetzung mit deren Funktionsprinzip.

Versuchsaufbau

Für den Versuch wird ein Strahlungswürfel nach *Leslie* verwendet. Der Würfel hat Seitenflächen mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit. Eine Seite ist metallisch glänzend, eine schwarz berußt und zwei Seiten sind metallisch matt. Die von den unterschiedlichen Seiten emittierte Strahlung wird mit Hilfe einer

Thermosäule nach *Moll* gemessen. Sie besteht aus mehreren in Reihe geschalteten Thermoelementen. Ihre geschwärzten Messstellen absorbieren einfallende Wärmestrahlung fast vollständig. Die Vergleichsstellen befinden sich auf Umgebungstemperatur. Zwischen den Messstellen und den Vergleichsstellen entsteht bei Bestrahlung eine thermoelektrische Spannung, die mit einem Spannungsmessgerät angezeigt wird. Die angezeigte Thermospannung ist also ein relatives Maß für die einfallende Strahlungsintensität, da ihr keine absoluten Werte, sondern im Vergleich zur Umgebungstemperatur relative zugeordnet werden.

Gestaltung des Aufbaus

Die in Kapitel 5.3.4 aufgeführten Strukturierungshilfen für den Aufbau von Demonstrationsexperimenten befolgend, wurde für diesen Aufbau eine vertikale Anordnung einer in der Tischebene vorgezogen (vgl. Abbildung 6).

Die Temperatur des Wassers im Leslie-Würfel und die an der Thermosäule erzeugte Spannung werden nicht separat in das Video eingefügten Anzeigen dargestellt, sondern müssen direkt an den Messinstrumenten abgelesen werden (vgl. Kapitel 5.3.4). Für eine gute Sichtbarkeit wurden speziell ein analoges Demonstrationsmultimeter zur Spannungsmessung und ein digitales Demonstrationsmultimeter zu Temperaturmessung verwendet. Beide Geräte verfügen über große, gut ablesbare Anzeigebereiche.

Aufzeichnungsrelevante Aspekte

Störende helle Flecken auf den Anzeigebereichen der Messgeräte, die durch die Beleuchtung verursacht worden sind, konnten durch ein leichtes Kippen der Geräte vermieden werden. Die Störungen wurden hierdurch über die Kamera reflektiert und die Sichtbarkeit der Anzeige verbessert.

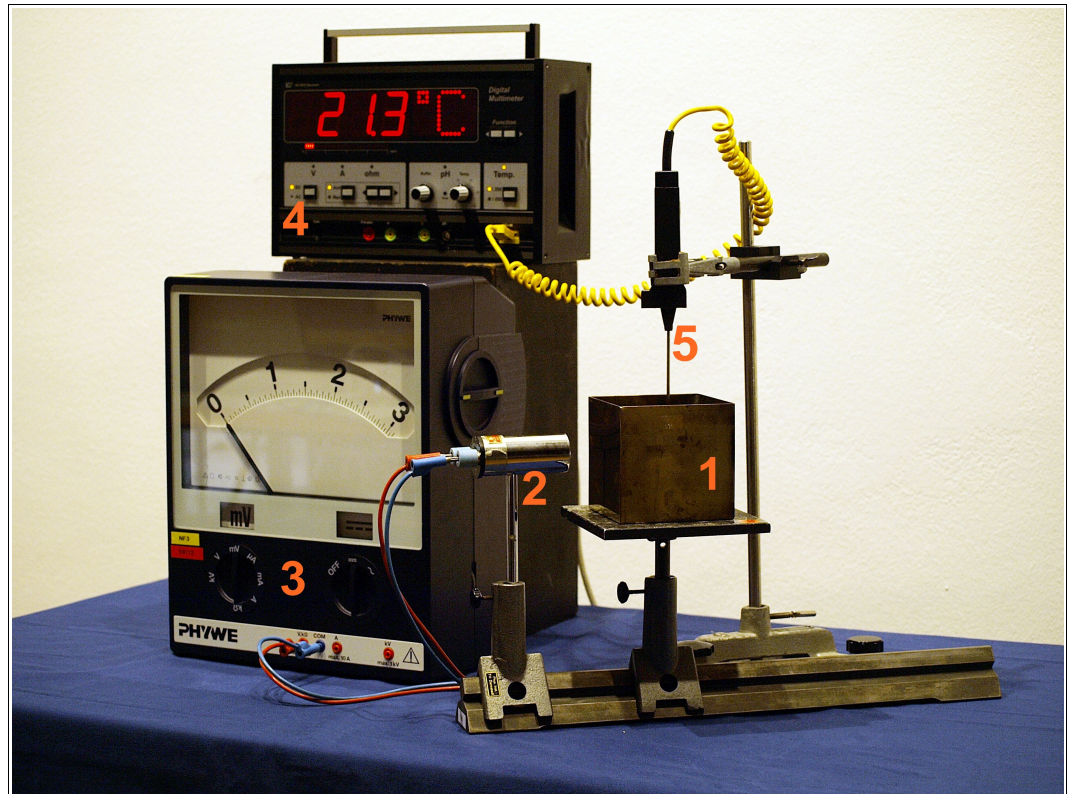


Abbildung 6: Versuchsanordnung "Emission von Wärmestrahlung": Strahlungswürfel nach Leslie (1); Thermosäule nach Moll (2); Demonstrationsmultimeter (3), digitales Thermometer (4) und Thermoelement (5).

5.3.6.7. Kirchhoffsches Strahlungsgesetz

Versuchsziel

Mit diesem Versuch können das *Wiensche Verschiebungsgesetz* und das *Kirchhoffsche Strahlungsgesetz* qualitativ gezeigt werden:

- *Wiensches Verschiebungsgesetz*: Für steigende Temperaturen eines idealen schwarzen Strahlers verschiebt sich die Wellenlänge λ_{max} , bei der die emittierte spektrale Strahldichte ihr Maximum erreicht, zu kürzeren Wellenlängen hin (vgl. Bergmann & Schaefer 2004, 639):

$$\lambda_{max} \cdot T = 2.8978 \cdot 10^{-3} \text{ mK} . \quad (1)$$

mit der Temperatur T in K.

Der Versuch zeigt diese Temperaturabhängigkeit der Strahlungsemission qualitativ. Während des Abkühlvorgangs verändert sich die Farbe eines

leuchtenden Schriftzugs von hellrot zu dunkelrot. Ist die Keramik­kachel, auf welcher der Schriftzug steht, genug abgekühlt, emittieren weder sie noch der Schriftzug Strahlung im sichtbaren Spektralbereich. Bei niedrigen Temperaturen sind nur die Effekte der Absorption und Reflexion zu sehen. Daher erscheint die Schrift nun schwarz und die Kachel weiß. Dem beobachteten Phänomen liegt eine kontinuierliche Verschiebung des Emissionsspektrums während des Abkühlvorgangs zu größeren Wellenlängen zu Grunde. Bis bei Beendigung des Leuchtens das Emissionsspektrum außerhalb des sichtbaren Wellenlängen Bereichs liegt.

- Kirchhoffsches Strahlungsgesetz: Der gesamt Emissionsgrad $\varepsilon(T)$ einer beliebigen Materialoberfläche ist proportional zu deren gesamt Absorptionsgrad $\alpha(T)$:

$$\frac{\alpha(T)}{\varepsilon(T)} = \text{konstant} . \quad (2)$$

Bei hoher Temperatur leuchtet der Schriftzug deutlich heller als die Keramik­kachel, der gesamt Emissionsgrad $\varepsilon(T)$ der Schrift ist größer. Bei Zimmertemperatur erscheint die Schrift dunkler als die Keramik, sie absorbiert mehr Licht. Ihr gesamt Absorptionsgrad $\alpha(T)$ ist ebenfalls größer (vgl. Abbildung 7). Der Versuch zeigt also:

Oberflächen mit größerem Emissionsgrad besitzen auch einen größeren Absorptionsgrad. Das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz wird hierdurch qualitativ bestätigt.

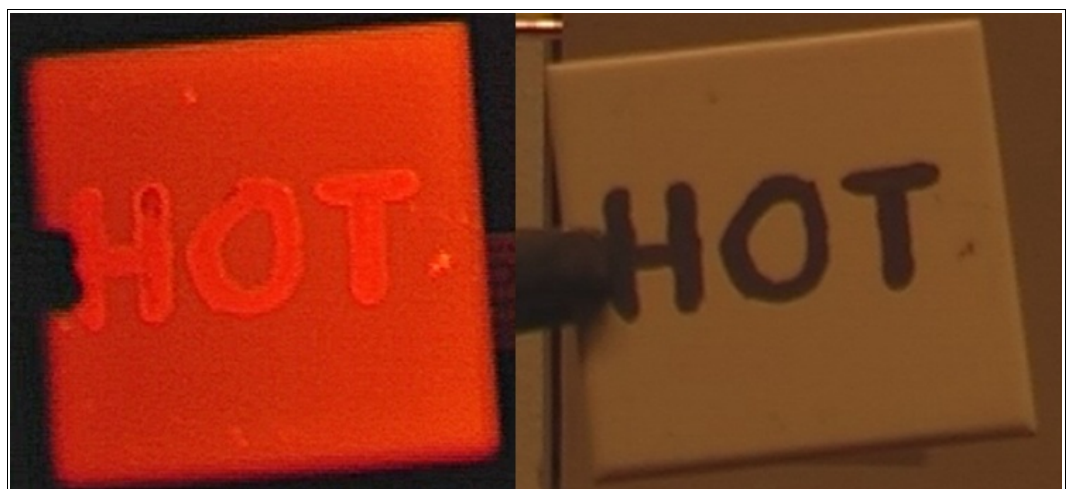


Abbildung 7: Links der Schriftzug bei hoher Temperatur, rechts bei einer niedrigeren.

Versuchsaufbau

Eine weiße Keramikachel mit schwarzer Schrift wird in einem Ofen auf circa 1000 °C erhitzt. Danach werden Kachel und Schrift während des Abkühlvorgangs beobachtet.

Aufzeichnungsrelevante Aspekte

Da der Innenraum des Ofens eine große Strahlungsleistung emittiert, wurde zwischen Kamera und Ofen ein Sicherheitsabstand eingehalten und mit der Zoomfunktion aufgenommen. Außerdem musste die Blende der Kamera sehr stark geschlossen werden, um den *Smear-* und *Bloomingeffekt* (vgl. Kapitel 5.3.5) zu verringern und dadurch überhaupt erst den leuchtenden Schriftzug „HOT“ auflösen zu können. Erkennbar ist das starke Schließen der Blende an der insgesamt sehr dunklen Aufnahme, eigentlich weiße Flächen erscheinen selbst bei eingeschalteter Beleuchtung gelb-gräulich. (vgl. Abbildung 7). Dieser Kompromiss war für eine optimale Darstellung des leuchtenden Schriftzuges notwendig.

5.3.6.8. Lichtmühle in Eiswasser

Versuchsziel

Mit Hilfe dieses Versuches wird gezeigt, dass die Lichtmühle in einer im Vergleich zu ihrer eigenen Temperatur kälteren Umgebung sich mit den geschwärzten Flügelseiten voraus dreht. Diese Beobachtung verdeutlicht, dass Körper deren Temperatur höher als die ihrer Umgebung ist, Energie durch Abstrahlung verlieren.

Die Erklärung dieses Vorgangs setzt Kenntnisse über die Absorptions- und Emissionsgrade eines Körpers in Abhängigkeit seiner Oberflächenbeschaffenheit voraus sowie deren Zusammenhang, das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz. Aus diesem Grund wird das Experimentvideo im Lernmanagement-Kurs den Studierenden als Reflexionsmöglichkeit zu diesen Inhalten angeboten. Auf ihrem Ausgangswissen, dass die geschwärzten Flügelseiten einen höheren Absorptions-

grad aufweisen, und der ihnen bekannten Funktionsweise einer Lichtmühle aufbauend sollen die Studierenden selbstständig ihre Beobachtung erklären: Mit dem niedrigeren Absorptionsgrad der blanken Flügelseiten im Vergleich zu den geschwärzten ist ein geringerer Emissionsgrad verbunden. Die Abstrahlung durch die blanken Flügelseiten ist also geringer und damit auch deren Energieverlust durch diese. In Folge dessen kühlt das Gas vor den blanken Flügelseiten weniger stark ab und es resultiert eine im Vergleich schnellere thermische Molekularbewegung vor diesen. Durch Stöße findet ein größerer Impulsübertrag auf die blanken Seiten statt und die Lichtmühle dreht sich mit der berußten Seite voraus.

Versuchsdurchführung und aufzeichnungsrelevante Aspekte

Die Lichtmühle wird bei Zimmertemperatur in Eiswasser gestellt. Wegen der auf den evakuierten Glaskolben wirkenden hydrostatischen Auftriebskraft, muss der Fuß der Lichtmühle mit Gewichten beschwert werden.

Die Drehbewegung der Lichtmühle ist mittels der Zoomfunktion vergrößert dargestellt. Dadurch ist die Drehrichtung deutlicher erkennbar.

5.3.6.9. Abstandsgesetz

Versuchsziel

Dieses Experiment demonstriert qualitativ die Abhängigkeit der Strahlungsintensität an einem Ort vom Abstand des Ortes zur Strahlungsquelle. Dabei wird das Abstandsgesetz in einem Graphen visualisiert: Die von einer punktförmigen Strahlungsquelle emittierte, senkrecht auf einer Fläche auftreffende Strahlung erzeugt dort eine Intensität I , welche proportional zum reziproken Quadrat des Abstandes r von der Fläche zur Quelle ist:

$$I \sim \frac{1}{r^2} \quad (3).$$

Versuchsaufbau

Zur qualitativen Betrachtung des Abstandsgesetzes muss die Strahlungsintensität bei zugehörigem Abstand zur Strahlungsquelle gemessen werden. Für eine dynamische Aufnahme der Messwerte und ihre sofortige grafische Darstellung bietet sich der Einsatz eines computerunterstützten Messwerterfassungssystems an. Verwendet wurde hierfür ein Laptop mit der Datenerfassungs- und Analysesoftware *DataStudio* in Kombination mit dem Interface *USB Powerlink*, an welches ein Bewegungssensor und ein Breitbandlichtsensor angeschlossen wurden.

Die für den Versuch benötigte punktförmige Strahlungsquelle wurde annähernd durch eine Glühlampe realisiert, die über ein regelbares Netzgerät betrieben wird. Um den Abstand zwischen der Lampe und dem für die Messung der Strahlungsintensität eingesetzten Lichtsensor variieren zu können, wurde die Lampe auf einen Wagen montiert. Der Abstand zwischen der Glühlampe und dem Lichtsensor wurde durch den Bewegungssensor ermittelt. Um sicherzustellen, dass jede Messung über den selben Bereich des Abstandes stattfindet, wurden Anschläge für die Start- und Stopposition an den Experimentiertisch angebracht. Die Durchführung erfolgte, indem zuerst der Lichtsensor zurückgesetzt wird, dann das Netzgerät der Lampe auf eine Spannung von 6V gestellt und die Datenaufnahme in *Datastudio* gestartet wurde. Aufgenommen wurden die Daten, während der Wagen mit der Strahlungsquelle langsam vom Lichtsensor wegbewegt wurde.

Während der Datenerfassung erfolgt die Darstellung der Lichtintensität über dem Abstand. Die zu beobachtende Kurve zeigt das Bild einer Hyperbel (vgl. Abbildung 8). Nach Beendigung der Datenaufnahme wurde statt des Abstandes dessen reziprokes Quadrat auf der Abszisse aufgetragen, um so die zu erwartende Abhängigkeit zu verdeutlichen. Die zu sehende Gerade bestätigt die Vermutung nach einer Abhängigkeit der Strahlungsintensität vom reziproken Quadrat des Abstandes. Die Messung wurde für Spannungen von 4 V und 2 V wiederholt und zum Vergleich im selben Graphen angezeigt (vgl. Abbildung 9).

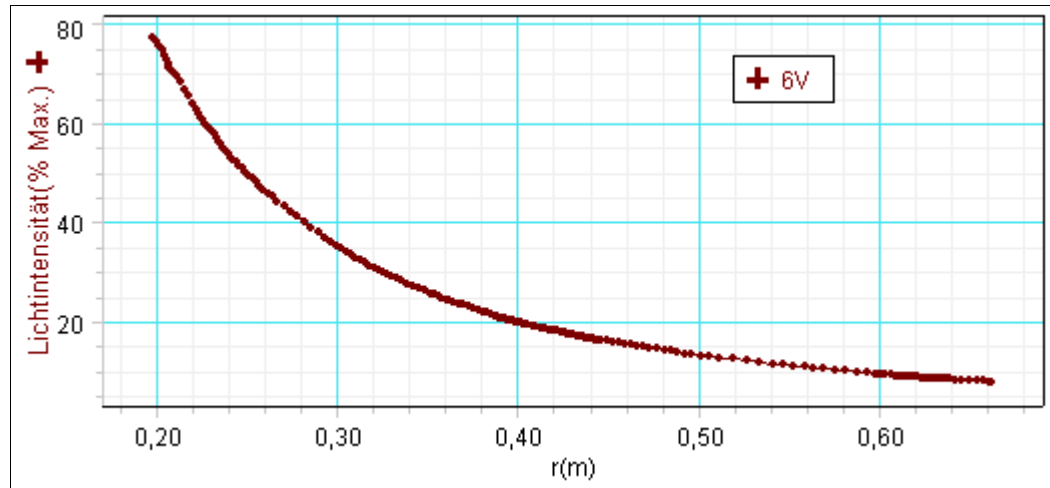


Abbildung 8: Darstellung der gemessenen Strahlungsintensität über dem Abstand.

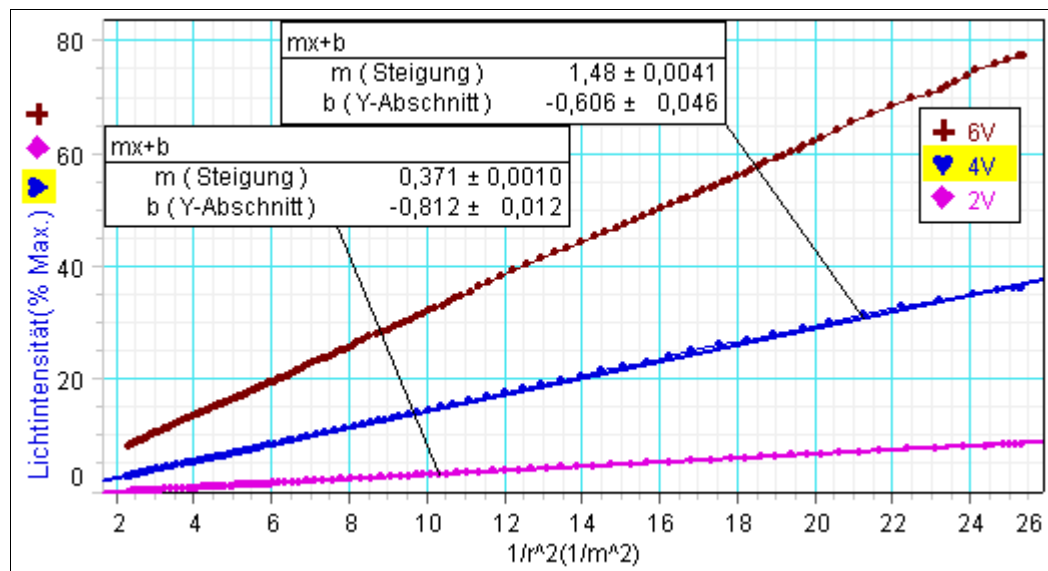


Abbildung 9: Darstellung der gemessenen Strahlungsintensität über dem reziproken Quadrat des Abstandes für verschiedene Lampenspannungen.

Gestaltung des Aufbaus

Für eine bessere Übersicht wurde die Versuchsanordnung in zwei Ebenen unterteilt. In der Tischebene sind die Strahlungsquelle und die zur Datenerfassung notwendigen Sensoren platziert. Auf einer zweiten etwas höheren Ebenen sind das zur Spannungsversorgung notwendige Netzgerät sowie Laptop und Interface untergebracht.

Die Tischebene wurde mit hellblauer Farbe hinterlegt, um den für das Experiment zentralen Ablauf der Abstandsvergrößerung hervorzuheben.

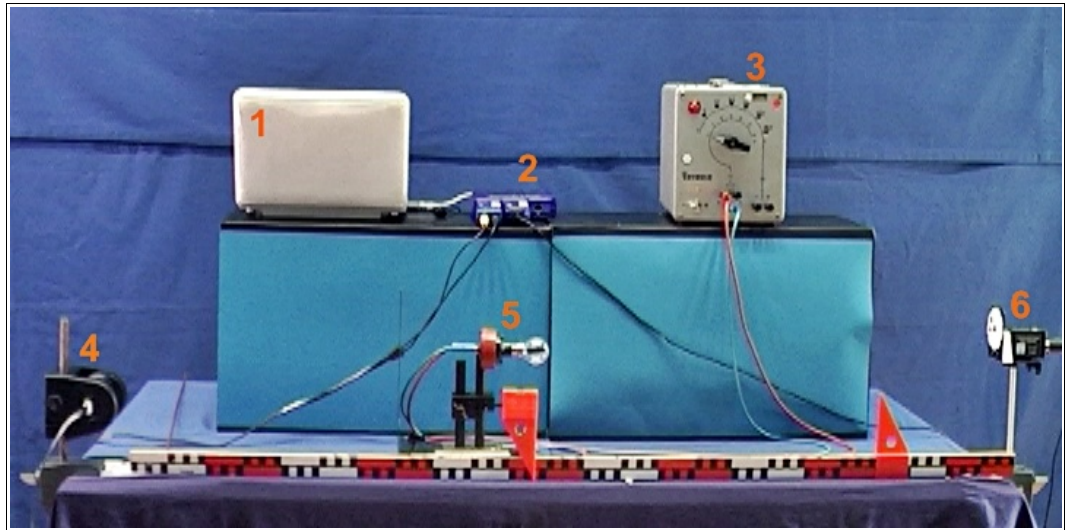


Abbildung 10: Die im Experimentvideo „Abstandsgesetz“ zu sehende Versuchsanordnung: Laptop (1); Interface (2); Spannungsquelle (3); Bewegungssensor (4); Glühlampe mit Wagen (5) und Lichtsensor (6).

Aufzeichnungsrelevante Aspekte

Das Leuchten der Glühlampe ist bei einer angelegten Spannung von 6 V so intensiv, dass ein ausgeprägter heller Streifen vertikal durch das gesamte Bild verläuft (vgl. Kapitel 5.3.5). Der Effekt kann durch Verdecken der Glühwendel verringert werden. Das Abkleben mit einem schmalen Streifen Klebeband begrenzt den Smeareffekt auf ein vertretbares Maß und ermöglicht gleichwohl eine gute Sichtbarkeit des Leuchtens.

Für einen deutlichen Kontrast zwischen dem Wagen mit der montierten Glühlampe und der farblichen Hinterlegung erwies sich die Wahl von hellblauer Farbe als zweckmäßig.

Auswertung und Diskussion der Messwerte

Das Abstandsgesetz der Strahlungsintensität gilt für punktförmige Strahlungsquellen. Die verwendete Glühlampe ist jedoch eine ausgedehnte Strahlungsquelle und kann nur in Näherung als punktförmig angenommen werden, wenn die gemessenen Abstände groß im Vergleich zur Ausdehnung des Glühfadens sind. Dies führt unweigerlich zu einer Abweichung von den theoretisch zu erwartenden Messwerten. Für eine minimale Ausdehnung wurde die schmale Seite der Glühwendel dem Lichtsensor zugewandt. Die Aufnahme von Messwerten wurde zudem erst ab einem Mindestabstand von 20 cm gestartet, um eine gute Näherung der Glühwendel als Punktquelle zu gewährleisten.

Wird die gemessene Lichtintensität über dem reziproken Abstandsquadrat aufgetragen, ist ein proportionaler Zusammenhang zu erwarten. Abbildung 11 stellt den gemessenen Zusammenhang dar.

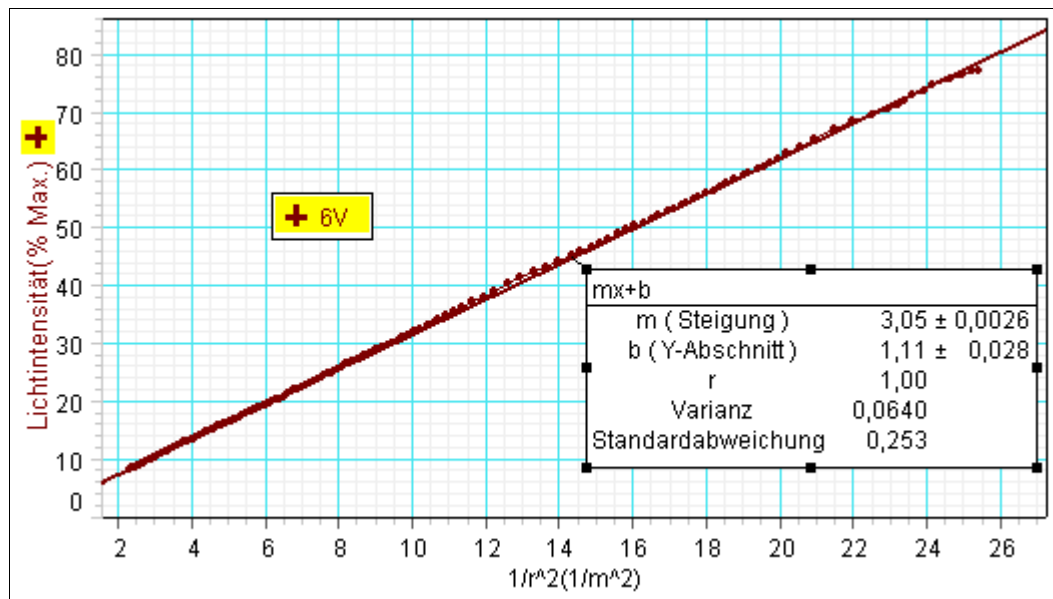


Abbildung 11: Darstellung der gemessenen Strahlungsintensität über dem reziproken Quadrat des Abstandes mit Regressionsgerade.

Der Abstand der in Abbildung 10 und Abbildung 11 dargestellten Messwerte zeigt, der Wagen wurde nicht mit einer konstanten Geschwindigkeit vom Strahlungssensor wegbewegt. In Bereichen, in denen die Messpunkte dicht liegen, wurde der Wagen mit einer kleineren Geschwindigkeit bewegt als in solchen, in denen die Punkte weiter voneinander entfernt liegen. Durch die thermische Trägheit des

Strahlungssensors bedingt, nimmt die unterschiedliche Geschwindigkeit der Bewegung Einfluss auf die Messung:

Die dem Strahlungssensor zugestrahlte Leistung erwärmt dessen Detektorfläche. Bei zu schneller Bewegung erhält das Messsystem nicht die erforderliche Zeit, sich auf den exakten, neuen Messwert einzustellen. Durch die thermische Trägheit der Detektoroberfläche ist diese wärmer, als es der wirklichen Strahlungsintensität entspricht. Zwischen Detektorfläche und Vergleichsmessstelle wird eine höhere Spannung produziert. Die Folge sind zu hohe Intensitätsmesswerte bei schneller Bewegung des Wagens. In Abbildung 11 beispielsweise ist dies im mittleren Bereich des Graphen an der Abweichung von der Regressionsgerade zu erkennen. Die eben formulierte These kann mit einem Experiment überprüft werden, in dem der Wagen auf den Strahlungssensor zu bewegt wird. Werden in diesem Fall die für schnelle Bewegungen zu niedrige Intensitäten gemessen, würde dies die Vermutung bestätigen. Auf Grund des beschränkten Zeitraums für die Erstellung dieser Arbeit konnte diese Vergleichsmessung leider nicht durchgeführt werden.

Das von den für die Videoaufzeichnung eingesetzten Beleuchtungsstrahlern erzeugte Licht und etwaige Reflexionen des von der Glühlampe emittierten Lichtes an der Tisch Oberfläche wurden durch Vergleichsmessungen als Ursache für eine Verfälschung der Messergebnisse ausgeschlossen.

5.3.6.10. Stefan-Boltzmann Gesetz

Versuchsziel

Der Versuch visualisiert den physikalischen Zusammenhang des Stefan-Boltzmann Gesetzes:

$$M = \sigma \cdot T^4 \quad (4)$$

Die spezifische Ausstrahlung M eines schwarzen Körpers über den gesamten Spektralbereich ist proportional zur vierten Potenz der absoluten Temperatur T des Strahlers, wobei $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ die Stefan-Boltzmann Konstante und die spezifische Ausstrahlung die emittierte Strahlungsleistung pro Flächenelement ist (vgl. Bergmann & Schaefer 2004, 222). Des Weiteren zeigt dieser Versuch qualitativ die Gültigkeit des Gesetzes, indem die Abhängigkeit der

spezifischen Ausstrahlung von der 4. Potenz der absoluten Temperatur T gezeigt wird.

Versuchsaufbau

Ziel des Versuches ist die Messung der spezifischen Ausstrahlung in Abhängigkeit der absoluten Temperatur. Die nachfolgenden Ausführungen zum Versuchsaufbau können mit dem Schaltbild der Versuchsanordnung in Abbildung 13 abgeglichen werden.

Als Strahlungsemitter dient eine so genannte *Stefan-Boltzmann Lampe*. Die Stefan-Boltzmann Lampe ist eine 12 V Glühlampe, welche sich insbesondere für die Strahlungsmessung bei hohen Temperaturen eignet. Die Messung der Temperatur des Glühfadens erfolgt indirekt über eine Messung der an der Lampe angelegten Spannung U_L und deren Umrechnung mittels der Funktion einer Eichkurve: Mithilfe eines Glühfadenpyrometers wird bei verschiedenen an die Lampe angelegten Spannungen die Oberflächentemperatur des Glühfadens der Stefan-Boltzmann Lampe bestimmt. Einem Glühfadenpyrometer liegt ein visuelles Verfahren zur Bestimmung von Oberflächentemperaturen zu Grunde und ermöglicht deren berührungslose Messung. Ein Glühfaden wird mit der zu messenden Oberfläche durch Stromregulierung zur farblichen Deckung gebracht. Verschwindet das Bild des Glühfadens vor der Messoberfläche, so haben Glühfaden und Oberfläche die gleiche Temperatur. Mittels dieser Messwerte kann eine Eichkurve erstellt und, unter Nutzung deren Funktion $T(U_L) = 900 \cdot |2 \cdot U_L|^{0,4} + 180$, die an der Lampe gemessene Spannung in die Temperatur des Glühfadens umgerechnet werden (vgl. Abbildung 12).

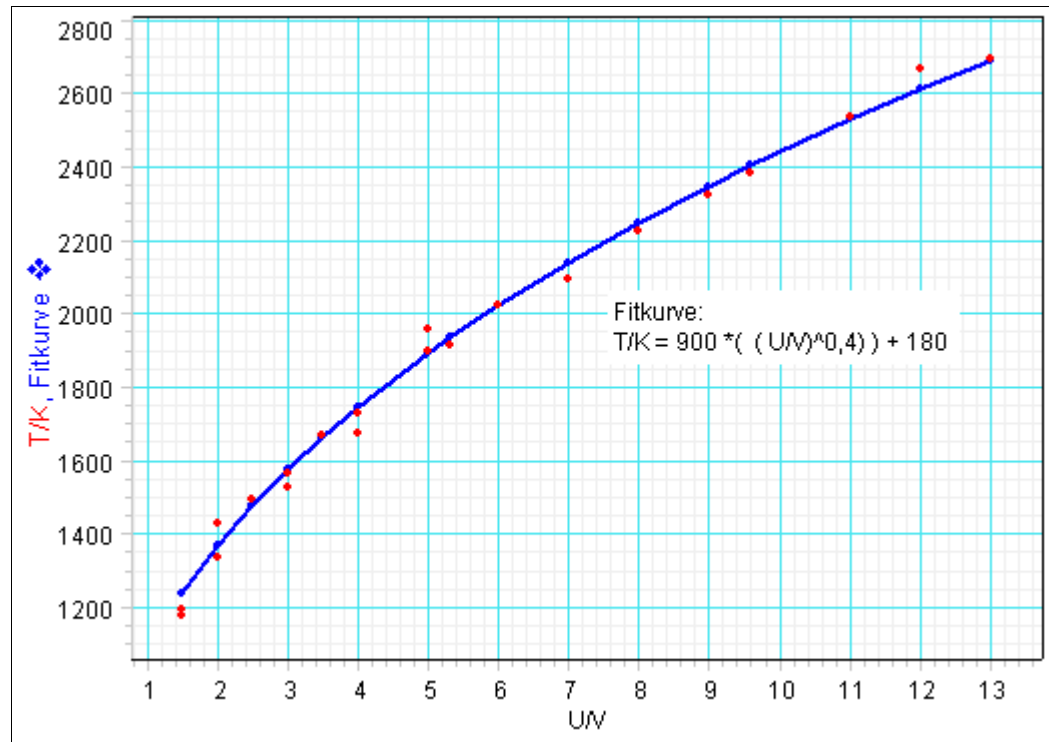


Abbildung 12: Eichkurve $T(U_L)$ zur Umrechnung der an der Stefan-Boltzmann Lampe gemessenen Spannung in die Temperatur der Glühwendel mit Referenzpunkten (rot).

Die Stefan-Boltzmann Lampe wird mit einem Funktionsgenerator betrieben. Dieser bietet die Möglichkeit, durch die Wahl der Dreiecksspannung, die an der Lampe anliegende Spannung linear hoch- und herunter zu steuern. Dadurch bedingt, wird auch die Temperatur des Glühfadens mit der gleichen Geschwindigkeit erhöht beziehungsweise gesenkt. Variabel einstellbar sind hierbei die Frequenz der Dreiecksspannung, welche die Geschwindigkeit des Durchfahrens der Spannung regelt, sowie die Amplitude, welche die Maximalspannung festlegt.

Zur Messung der spezifischen Ausstrahlung wird ein Strahlungssensor auf der Basis einer Thermosäule genutzt, der eine Spannung proportional zur gemessenen Strahlungsintensität produziert. Dabei liegen die erzeugten Spannungen im Bereich von Mikro- bis Millivolt, was den Einsatz eines Messverstärkers notwendig macht. Die am Strahlungssensor abgegriffene Spannung ist ein relatives Maß für die spezifische Ausstrahlung des gemessenen Strahlungsemitters.

Für eine dynamische Aufnahme der Messwerte, deren unmittelbare Umrechnung und der direkten Darstellung in einem Graphen wurde ein Computermesswert-erfassungssystem mit der Software *DataStudio* und dem Interface *PowerLink* eingesetzt. Mit jeweils einem zu diesem System passenden Spannungssensor

wurde die Spannung am Strahlungssensor U_S (Maß für die Strahlungsintensität), an der Stefan-Boltzmann Lampe U_L und über dem Widerstand U_R (Bestimmung der Stromstärke) gemessen. Die Konfiguration des Datenerfassungs- und Analyseprogramms erfolgte so, dass in einem Graphen die an der Thermosäule gemessene Spannung in Abhängigkeit der Temperatur des Glühfadens beim Hochfahren der Leistung dargestellt wird. Dies konnte durch automatische Start- und Stoppbedingungen für die Messung realisiert werden. Beim Überschreiten einer Grenzspannung von 1,5 V an der Thermosäule startet die Software die Datenaufnahme und beendete diese beim Erreichen des Spannungsmaximums (vgl. Auswertung und Diskussion der Messwerte).

Der zwischen Funktionsgenerator und Lampe eingebaute Schalter dient lediglich dazu, das Starten der Messung durch den Einschaltimpuls des Generators zu verhindern.

Die Messung der Lampenleistung ($P_L = U_L \cdot I$) erfolgt durch die Messung der an der Lampe anliegenden Spannung U_L , sowie der Messung der Stromstärke I , welche über den Spannungsabfall an einem $1\ \Omega$ -Widerstand bestimmt wird.

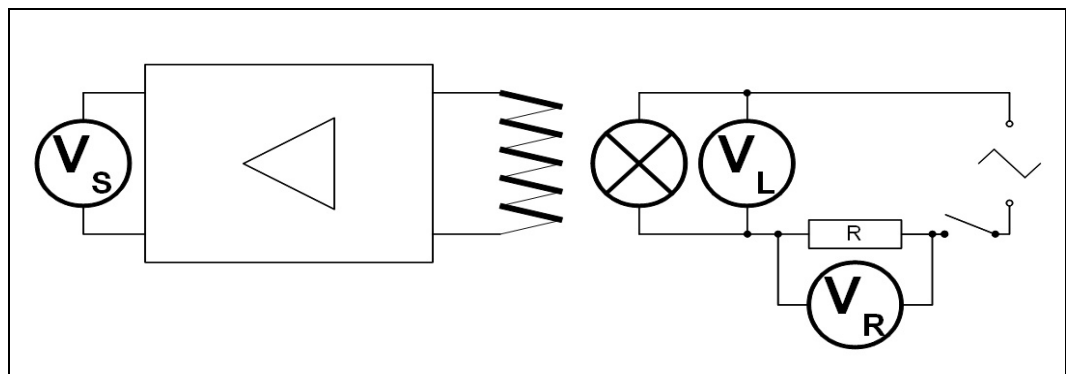


Abbildung 13: Schaltbild der Versuchsanordnung "Stefan-Boltzmann Gesetz".

Gestaltung des Aufbaus

Um trotz der Komplexität der Versuchsanordnung eine möglichst gute Übersicht und Nachvollziehbarkeit des Aufbaus zu gewährleisten, wurden im Vorfeld der Aufzeichnung folgende didaktische Überlegungen angestellt (Abbildung 14 zeigt die entstandene Versuchsanordnung):

- Für eine gute Übersicht ist es zweckmäßig, den Versuchsaufbau in zwei horizontale Ebenen zu gliedern und mit Hilfe von schwarzen Kästen zu gruppieren. Das Zentrum der Anordnung bilden die Stefan-Boltzmann Lampe und der Strahlungssensor. Als zentrale Elemente dieses Versuchs wurden diese zur besseren Sichtbarkeit auf ein kleines Podest gestellt und zur Fokussierung der Aufmerksamkeit zusätzlich mit einem hellblauen Schirm hinterlegt.
- Der Funktionsgenerator, der Messverstärker und der Laptop wurden auf der oberen Ebene platziert und somit etwas in den Hintergrund gerückt. Für die indirekte Strommessung, mittels Spannungsabfall an einem Widerstand, kam ein $1\ \Omega$ -Widerstand zum Einsatz. Dieser wurde zur Erkennung als solcher beschriftet und zur besseren Sichtbarkeit mit einem kleinen Kasten erhöht.
- Die drei Spannungssensoren wurden gut sichtbar vertikal an den Kästen befestigt. Das zur Datenerfassung mit dem Laptop benötigte, für das physikalische Messprinzip aber nebensächliche Interface wurde nicht sichtbar in den Hintergrund verbannt.
- Die Wahl der Kabelfarbe wurde je nach Funktion getroffen. Der primäre Stromkreis mit dem Funktionsgenerator und der Stefan-Boltzmann Lampe wurde rot und blau gestaltet. Für das Abgreifen der Spannungen wurden die Sensoren zu den jeweiligen Elementen parallel geschaltet. Hierfür wurde im Unterschied zum Primärstromkreis die Farbe gelb gewählt. Die einzelnen Versuchselemente wurden darüber hinaus so arrangiert, dass alle wichtigen Kabel gut zu sehen sind.
- Durch die Frequenz des Funktionsgenerators wird die Versuchsdauer reguliert. Die Einstellung einer niedrigen Frequenz der Dreiecksspannung von circa 10 Hz, führt zu einem langsamen Hochsteuern der Spannung U_L an der Stefan-Boltzmann Lampe. Dies ermöglicht eine genaue und

eingehende Beobachtung des damit korrespondierenden und graphisch dargestellten Spannungsanstiegs am Strahlungssensor.

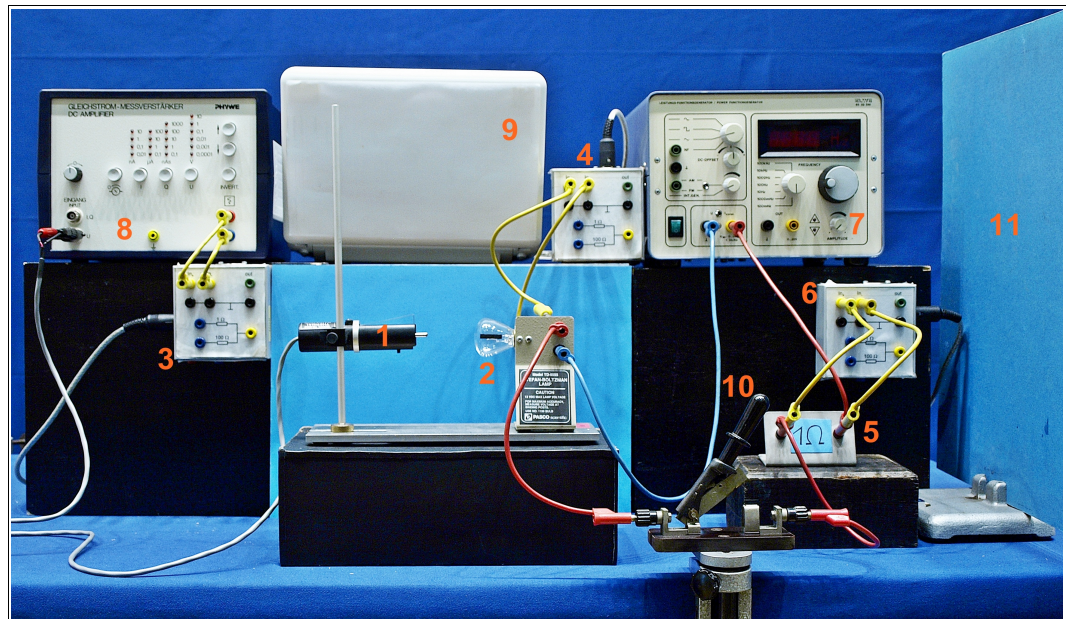


Abbildung 14: Die im Experimentvideo "Stefan-Boltzmann Gesetz" zu sehende Versuchsanordnung: Strahlungssensor (1); Stefan-Boltzmann Lampe (2); Spannungssensor für die Spannung U_s des Strahlungssensors (3); Spannungssensor für die Spannung U_L an der Stefan-Boltzmann Lampe (4); Widerstand (5); Spannungssensor für die Spannung U_R am Widerstand (6); Funktionsgenerator (7); Messverstärker (8); Laptop (9); Schalter (10) und Schirm (12).

Aufzeichnungsrelevante Aspekte

Bei der Wahl der farblichen Hinterlegung der Stefan-Boltzmann Lampe und des Strahlungssensors musste berücksichtigt werden, dass der Kontrast zwischen den Objekten im Vordergrund und der Hintergrundfarbe groß genug ist, um Lampe und Sensor gut sehen zu können. Die Farbe hellblau erwies sich dazu als geeignet. Das Leuchten der Stefan-Boltzmann Lampe bei maximal anliegender Spannung ist intensiv genug, um in der Videoaufnahme Smear- und Blooming-Effekte hervorzurufen (vgl. Kapitel 5.3.5.). Dies konnte durch Abkleben der Glühwendel mit schwarzem Klebeband verhindert werden.

Ein messtechnisches Problem ergab sich durch die hohe Leistung der Beleuchtungsstrahler: Bei einer Erfassung der Strahler durch den sensitiven Strahlungssensor ergab sich ein Messfehler in Form eines Offsets auf die Strahlungsintensität: Die Kurve wurde nach oben verschoben (vgl. Abbildung 15).

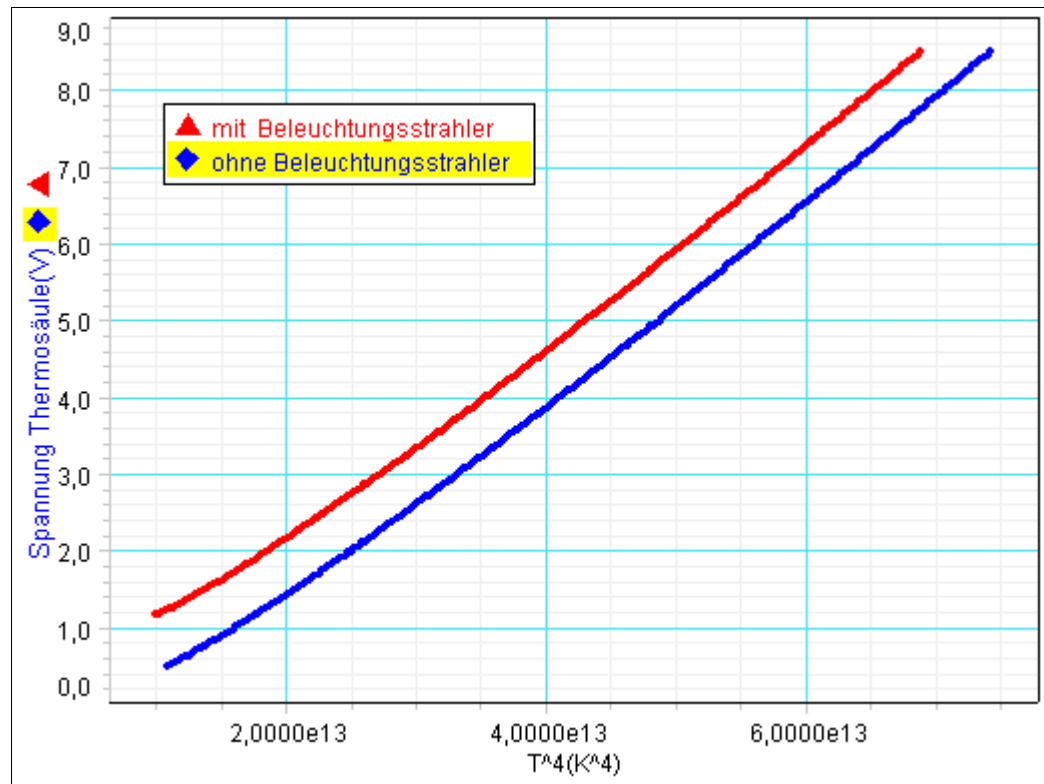


Abbildung 15: Im Vorfeld der Versuchsaufzeichnung durchgeführte Vergleichsmessung mit (rot) und ohne (blau) Beleuchtungsstrahler.

Um die Verfälschung der Messwerte zu verhindern, musste der Strahlungssensor durch einen Schirm vor direkter Einstrahlung geschützt werden. Eine Vergleichsmessung ohne Beleuchtungsstrahler führte zu dem selben Ergebnis wie mit dem abgeschirmten Strahlungssensor. Hieraus wurde gefolgert, dass die Abschirmung ausreichend sei. Kein Einfluss auf die Messreihen konnte beim Umgebungslicht festgestellt werden, was durch Vergleichsmessungen überprüft wurde (vgl. Abbildung 16).

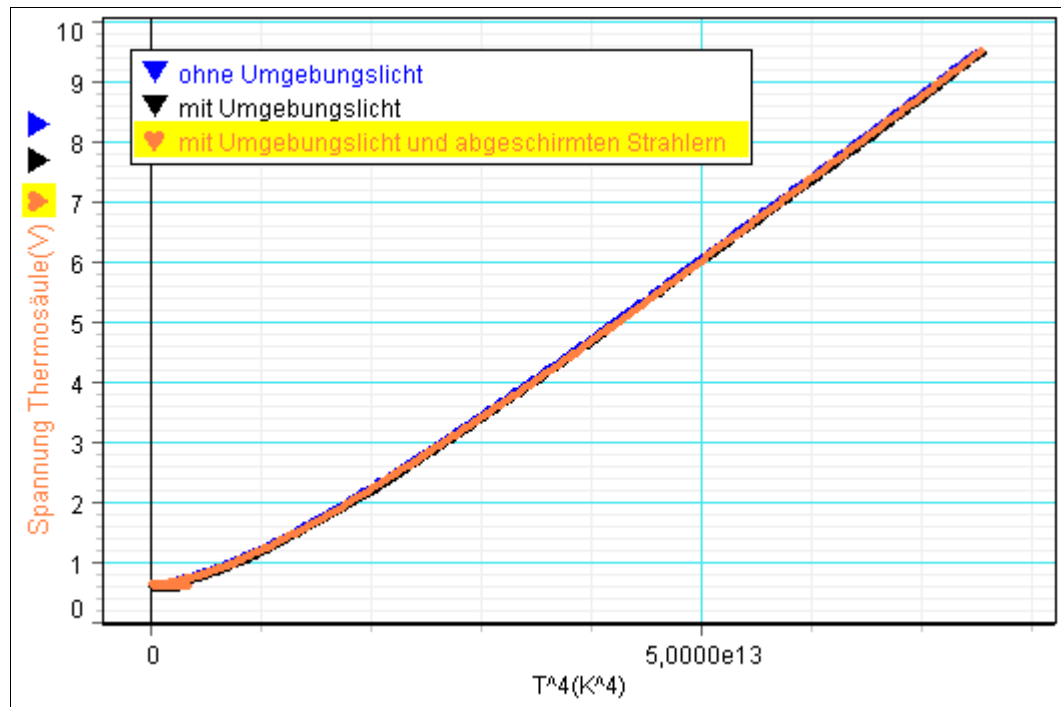


Abbildung 16: Im Vorfeld der Versuchsaufzeichnung durchgeführte Vergleichsmessungen: Messung ohne Umgebungslicht (blau), mit Umgebungslicht (schwarz) und mit Umgebungslicht und Beleuchtungsstrahler (orange).

Auswertung und Diskussion der Messwerte

Wie in Kapitel 5.3.4 gefordert, wurde auf eine Idealisierung der aufgezeichneten Messwerte verzichtet. Eine Diskussion der Messfehler ist daher unverzichtbar: Wird die Spannung an der Thermosäule graphisch über der 4. Potenz der Temperatur des Glühfadens dargestellt, so ist nach der durch das Stefan-Boltzmann Gesetz beschriebenen Proportionalität eine Ursprungsgerade zu erwarten. Die gemessene Kurve und die theoretische Vorhersage stimmen jedoch nicht vollständig überein. Prinzipiell ist zunächst festzustellen, dass eine kleine Abweichung bei der Temperaturbestimmung durch die Abhängigkeit des Stefan-Boltzmann Gesetzes von der 4. Potenz der Temperatur in diesem zu einem deutlich größeren Fehler führt.

Abbildung 17 zeigt für kleine Werte der 4. Potenz der Temperatur eine Abweichung von der erwarteten Gerade: Im oberen Temperaturbereich zeigen die Messwerte den prognostizierten linearen Zusammenhang, im unteren Temperaturbereich weichen die Messwerte jedoch auffällig ab.

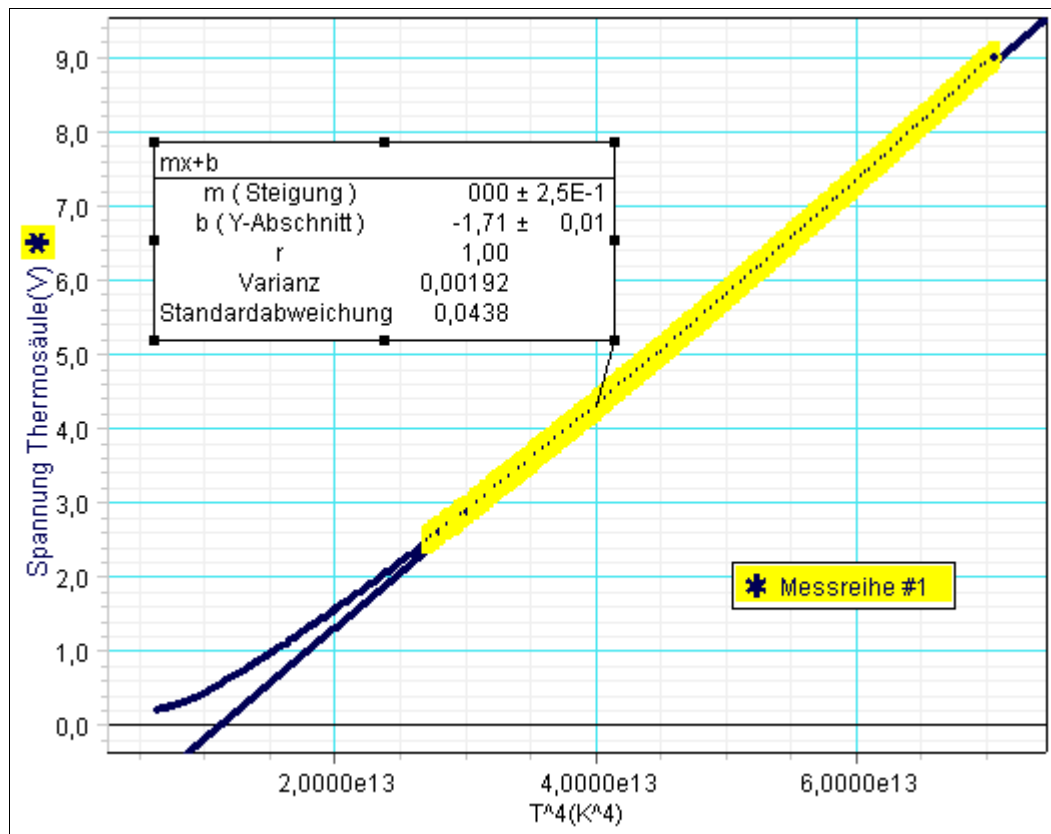


Abbildung 17: Die im Experimentvideo gezeigte Kurve: Die Spannung an der Thermosäule ist über der 4. Potenz der Temperatur dargestellt. Die gelben Punkte sind bei der Berechnung der Regressionsgerade berücksichtigt.

Dieses Verhalten kann durch die verwendete Eichkurve $T(U_L)$ erklärt werden. Da die Vergleichspyrometrie ein optisches Messverfahren ist und mit diesem nur Temperaturen von Oberflächen erfasst werden können, welche einen Strahlungsanteil im sichtbaren Spektralbereich haben, können für die Eichkurve exakt bestimmte Messwerte erst für Temperaturen ab circa 1200 K aufgenommen werden. Diese Temperatur entspricht einer Spannung an der Stefan-Boltzmann Lampe von 1,5 V. Die Messung startet daher erst bei Überschreitung dieser Schwelle. Für Messwerte unterhalb dieser Grenztemperaturen kann keine sichere Aussage getroffen werden, da für den Funktionsfit hier keine Referenzpunkte vorliegen (vgl. Abbildung 12). Die Genauigkeit des Funktionsfits nimmt schon am Rand der Referenzpunkte ab, wodurch bei der Berechnung der Temperaturen in diesem Bereich Fehler zu erwarten sind.

Außerdem sind Fehler in der Eichkurve selbst enthalten, da die Messungen zur Erstellung der Eichkurve ebenfalls fehlerbehaftet sind, beispielsweise durch das

Messen von Kontaktspannungen, bei der nicht richtig abgeschliffene Kontakte zu Ungenauigkeiten führen.

Gerade im Bereich niedriger Temperaturen stellt die Absorption von Infrarot-Strahlung durch den Glaskolben der Lampe ein Problem dar. Bei niedrigen Temperaturen liegt der Großteil des emittierten Spektrums im Infrarot-Bereich, die Messung bei niedrigen Temperaturen wird dadurch verfälscht.

Der Hersteller der Stefan-Boltzmann Lampe gibt für Messungen im Bereich niedriger Temperaturen eine weitere Ursache für Abweichungen vom Stefan-Boltzmann Gesetz an: Der Glühfaden ist kein idealer Schwarzer Körper, für welchen das Gesetz gilt. Die Abweichung der Messwerte vom Stefan-Boltzmann Gesetz soll für hohe Temperaturen geringer sein, da hier das emittierte Licht im Vergleich zum Umgebungslicht intensiver ist (vgl. PASCO b, S.21). Vergleichsmessungen mit und ohne Umgebungslicht führten jedoch zu dem Ergebnis, dass dieses keinen Einfluss auf die Messergebnisse nimmt (vgl. Abbildung 16).

Da, wie eben diskutiert, die Messung bei niedrigen Temperaturen eine große Unsicherheit mit sich bringt, eine Messung über einen großen Temperaturbereich jedoch erstrebenswert ist, bleibt nur die Möglichkeit die Messung zu möglichst hohen Temperaturen auszuweiten. Für eine Messung möglichst hoher Temperaturen müssen an der Stefan-Boltzmann Lampe möglichst hohe Spannungen angelegt werden. Zu beachten ist hierbei, dass die im Rahmen der computerunterstützten Messwerterfassung eingesetzten Spannungssensoren maximal eine Spannung von 10 V messen können. Dadurch bedingt musste die Amplitude des Dreiecksspannungssignals so gewählt werden, dass die an der Thermosäule produzierte und danach verstärkte Spannung gerade 10 V erreichte.

Bei einer Messung über mehrere Perioden des Dreiecksspannungssignals bilden die im Graphen dargestellten Messwerte eine Hystereseurve (vgl. Abbildung 18). Verursacht wird diese durch die Restwärme beim Abkühlvorgang. Sinkt die angelegte Spannung, so sinkt auch die berechnete Temperatur des Glühfadens. Die reale Temperatur sinkt allerdings aufgrund der thermischen Trägheit des Glühfadens mit einer kurzen zeitlichen Verzögerung. Die Thermosäule erfasst die Strahlung in Abhängigkeit der realen Temperatur. Über den Funktionsfit $T(U_L)$ wird der Strahlungsintensität jedoch die etwas niedrigere, kalkulierte Temperatur zugeordnet.

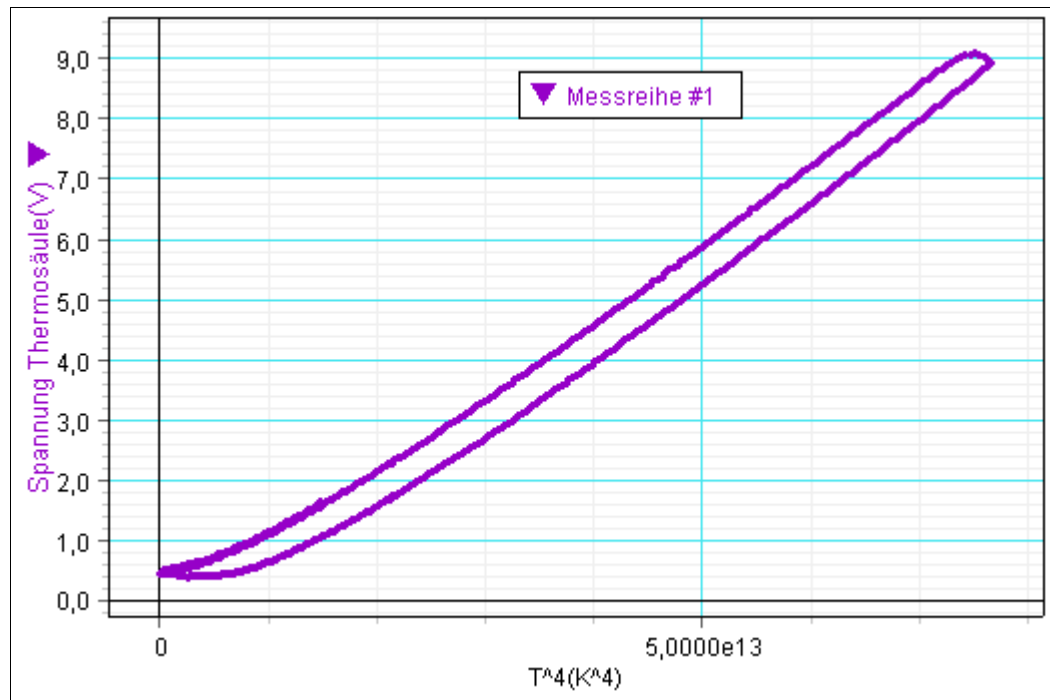


Abbildung 18: Im Vorfeld der Versuchsaufzeichnung durchgeführte Messung über eine gesamte Periode der Dreiecksspannung: Zusehen ist eine Hystereseurve.

Für eine qualitative Untersuchung des Stefan-Boltzmann Gesetzes ist primär die Einsicht wichtig, dass die spezifische Ausstrahlung linear mit der 4. Potenz der absoluten Oberflächentemperatur zunimmt. Da entweder für den Erwärmungs- oder der Abkühlungsvorgang die Messwerte aufgenommen werden und beide die Linearität zeigen, stehen zwei Alternativen zur Auswahl. Gezeigt wird die Kurve des Aufwärmvorgangs, da hier die Messwerte keine Verschiebung enthalten.

5.3.6.11. Wiensches Verschiebungsgesetz

Versuchsziel

Dieses Experiment zeigt qualitativ den physikalischen Zusammenhang des Wienschen Verschiebungsgesetzes (vgl. Kapitel 5.3.6.7). Für verschiedene Temperaturen eines Strahlungsemitters werden die zugehörigen Emissionsspektren erfasst und graphisch dargestellt. Der Vergleich der Lage ihrer Intensitätsmaxima zeigt deren systematische Verschiebung.

Weiterhin ist die Abhängigkeit der spezifischen Ausstrahlung von der Temperatur des Strahlers anhand der für höhere Temperaturen größeren Flächeninhalte unter den Spektren zu sehen.

Versuchsaufbau

Für eine direkte, zur ihrer Messung zeitgleich stattfindende graphische Darstellung werden die Emissionsspektren mit dem computerunterstützten Messwerterfassungssystem aufgenommen. Zu diesem Zweck werden ein Laptop, mit der Datenerfassungs- und Analysesoftware *DataStudio* und das Interface *ScienceWorkshop 700* verwendet. Das *USB PowerLink* unterstützt lediglich eine Winkelauflösung von 1° , das *ScienceWorkshop 700* dagegen eine maximale Auflösung von $0,25^\circ$. Erst durch die Verwendung des *ScienceWorkshop 700* mit der im Vergleich vierfach größeren Drehwinkelauflösung ist eine ausgeprägte Darstellung der Intensitätsmaxima überhaupt möglich.

Bei diesem Versuch dient eine 12 V – 50 W Halogenexperimentierleuchte als Strahlungsquelle. Die Temperatur T , in Grad Celsius, ihres Glüfadens wird anhand der Eichkurve $T(U_L) = 2 \cdot \max(U_L)^{0,316} - 467$ und der an der Leuchte abfallenden Spannung berechnet. Die Eichkurve für die Halogenleuchte wurde nachdem in Kapitel 5.3.6.10 beschriebenen Verfahren bestimmt. Ein Spannungssensor misst während der Spektrenaufnahme diesen Spannungsabfall und *DataStudio* zeigt die berechnete Temperatur an.

Die Spektren werden wie folgt erfasst: Das von der Experimentierleuchte emittierte Licht wird mit einer Linse auf einen Spalt und der Spalt mit einem

Kondensator scharf auf einen Breitbandlichtsensor abgebildet, welcher die Lichtintensität misst. Zur Zerlegung des Lichtes in dessen spektrale Anteile wird ein Prisma aus schwerem SF 10 Flintglas mit einem Brechungsindex $n_d=1,72825$ (vgl. SCHOTT AG 2007, S.93) im mittleren Bereich des sichtbaren Spektrums in den Strahlengang eingebracht. Dieses Prisma erzeugt ein besonders breites kontinuierliches Spektrum. Der Lichtsensor ist auf einem Dreharm montiert, dessen Drehpunkt direkt unter dem Prisma liegt. Zusätzlich auf dem Dreharm angebracht ist ein Drehwinkelsensor, der bei einer Bewegung des Dreharms den von der Ruhelage aus überstrichenen Winkel misst. Die Bewegung des Dreharms wird dabei über einen Gummiriemen auf den Drehwinkelsensor übertragen.

Das erzeugte Spektrum wird mit dem Dreharm und dem Lichtsensor durchfahren. Dabei werden die Strahlungsintensität am Lichtsensor und der dabei überschrittene Drehwinkel mit *Datastudio* aufgezeichnet und dargestellt. Erhalten wird so eine spektrale Intensitätsverteilung in Abhängigkeit des Drehwinkels (vgl. Abbildung 19). Der Lichtsensor wird vom blauen Ende des sichtbaren Spektrums zum roten Ende und darüber hinaus bewegt, was mit einer Zunahme des gemessenen Drehwinkels verbunden ist. Ein größerer Drehwinkel korrespondiert daher mit einer größeren, vom Lichtsensor erfassten Wellenlänge. Der Drehwinkel fungiert dementsprechend als qualitatives Maß für die Wellenlänge. Der Zusammenhang zwischen Drehwinkel und Wellenlänge ist auf Grund der nicht linearen Dispersion des verwendeten Flintglases SF 10 (vgl. SCHOTT AG 2007, S.93) ebenfalls nicht linear. Die Zuordnung des Drehwinkels zur Wellenlänge beschränkt sich daher auf die Aussage: Je größer der Drehwinkel ist, desto größer ist die erfasste Wellenlänge.

Die Intensitätsverteilung wird für verschiedene, an der Experimentierleuchte angelegte Spannungen, also für verschiedene Temperaturen der Glühwendel, in einem Graphen aufgenommen und die Lage der Maxima verglichen.

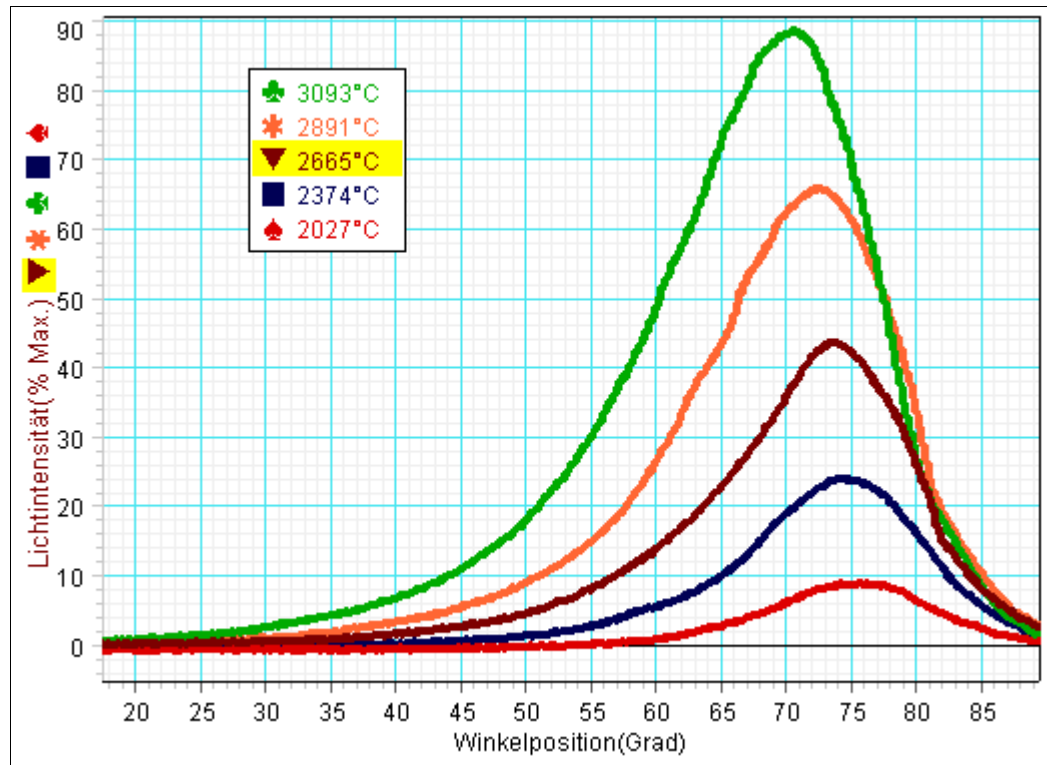


Abbildung 19: Gemessene Intensitätsverteilungen in Abhängigkeit des Drehwinkels für verschiedene Temperaturen des Glühfadens.

Gestaltung des Aufbaus

Der Aufbau der Versuchsanordnung wurde zwecks besserer Übersicht auf zwei Ebenen realisiert. Die obere Ebene blieb dem optischen Aufbau vorbehalten, auf der unteren fand das zur Stromversorgung notwendige Netzgerät Platz. Das zur computerunterstützten Messwerterfassung benötigte Interface, sowie der Laptop wurden nicht sichtbar in den Hintergrund gestellt. Ebenfalls nicht sichtbar ist der Sensor zur Spannungsmessung an der Experimentierleuchte.

Aufzeichnungsrelevante Aspekte

Die feine Gitterstruktur der Belüftungsschlitze an der Experimentierlampe erzeugten in der Videoaufzeichnung des Experiments starke Flimmereffekte (vgl. Kapitel 5.3.5). Die Belüftungsschlitze wurden daher mit Pappe abgeklebt.

Während der Versuchsdurchführung wird die Versuchsanordnung beleuchtet, wodurch das Spektrum der Halogenlampe für den Betrachter nicht sichtbar ist.

Der Betrachter kann während der Durchführung nicht erkennen, ob das Spektrum von rot nach blau oder umgekehrt durchfahren wird. Um den gemessenen Drehwinkel als Maß für die Wellenlänge richtig zuzuordnen zu können, ist für den Betrachter daher unabdingbar zu wissen, in welcher Richtung das Spektrum durchfahren wird. Nur so kann er verstehen, wie der Drehwinkel mit der Wellenlänge zusammenhängt.

Vor die Videoszene mit der Versuchsdurchführung und der Datenaufnahme ist daher eine Szene geschnitten, welche diesem Sachverhalt Rechnung trägt: Zu sehen ist zunächst der Aufbau bei gedimmter Beleuchtung. Das Spektrum ist am Lichtsensor gut zu erkennen. Die Kamera schwenkt nun langsam in Richtung Spektrum und zeigt dieses samt Lichtsensor in Nahaufnahme. Der Lichtsensor wird, wie bei der Datenaufnahme aus der Sicht des Betrachters von links nach rechts, durch das Spektrum bewegt. Für den Betrachter ist deutlich erkennbar, dass der Sensor von blau nach rot, also von kurzen zu längeren Wellenlängen, das Spektrum durchfährt. Bei der Datenaufnahme kann der Betrachter daher einen größeren Drehwinkel als größere Wellenlänge erkennen und so die Verschiebung richtig interpretieren.

Auswertung und Diskussion der Messwerte

Das Wiensche Verschiebungsgesetz gilt für ideale schwarze Körper. Die im Experiment verwendete Halogenexperimentierleuchte ist kein idealer schwarzer Körper. Aus diesem Grund sind bei der Messung der Intensitätsverteilungen Abweichungen von den theoretischen Werten zu erwarten.

Grundlegend zu der experimentellen Betrachtung des Wienschen Verschiebungsgesetzes ist zu sagen, die verwendete Halogenexperimentierleuchte ist kein idealer schwarzer Strahler, für welche das Gesetz gilt.

Die in Abbildung 20 zu sehende Intensitätsverteilung wurde für eine Temperatur $T=3093\text{ °C}$ aufgezeichnet. Auffällig ist deren steiler Abfall auf der Seite großer Drehwinkel. Nach dem Planckschen Strahlungsgesetz müsste das Emissionsspektrum auf der langwelligen Seite flacher abfallen (vgl. Bergmann & Schaefer 2004, S.640).

Der gemessene Kurvenverlauf wird auf der langwelligen Seite durch die Absorptionscharakteristik der optischen Bauelemente bestimmt. Die Transmission

von optischen Gläsern ist im infraroten Bereich in der Regel auf eine maximale Wellenlänge von etwa $2,5 \mu m$ begrenzt (vgl. d'Ans & Lax 1998, S.963). Das Glas der Linse und des Prismas absorbieren langwellige Infrarotstrahlung ab dieser Grenzwellenlänge nahezu vollständig. Die in Abbildung 20 gezeigte Kurve ist das Produkt aus dem Emissionsspektrum des Glühfadens und den Transmissionspektren der optischen Bauelemente.

Das in der Verteilung zu sehende Maximum entspricht somit nicht dem Maximum des reinen Emissionsspektrums. Dementsprechend ist ein quantitativer Vergleich der Lage der Maxima für Verteilungen unterschiedlicher Temperaturen des Glühfadens zur Bestätigung des Wienschen Verschiebungsgesetzes nicht möglich. Der Versuch zeigt für höhere Temperaturen lediglich qualitativ eine Verschiebung der Spektren hin zu kürzeren Wellenlängen (vgl. Abbildung 19).

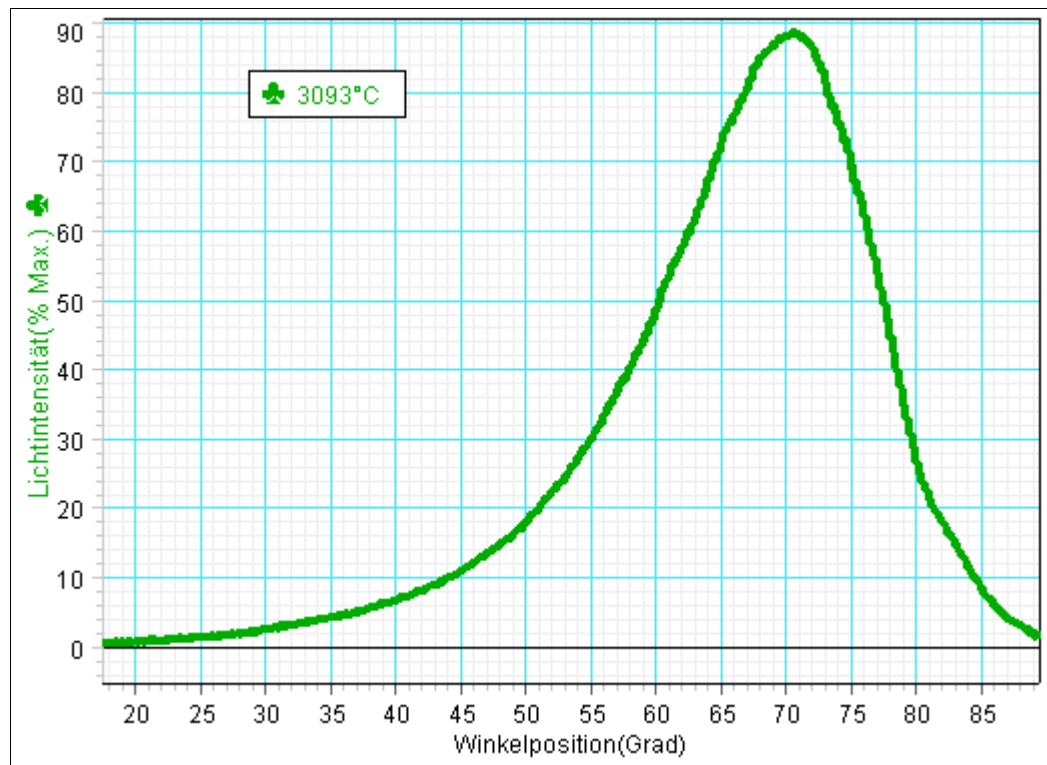


Abbildung 20: Gemessene Intensitätsverteilung als Funktion des Drehwinkels.

5.4. Verwendung fremder Medien

Sollen mediale Lehr-Lernmaterialien fremder Autoren in einem Lernmanagement-Kurs verwendet werden, sind einige rechtliche Sachverhalte zu beachten. Lehrende, die den Einsatz externen Medien planen, sollten daher zumindest über drei Regelungen der Gesetzgebung informiert sein. Beachtet werden müssen Aspekte des Datenschutzes, das Urheberrecht und das Persönlichkeitsrecht. Das Urheberrecht und Persönlichkeitsrecht sind bei der Erstellung und Veröffentlichung von Datenmaterial von besonderer Bedeutung. Bei Missachtung drohen rechtliche Konsequenzen, die die Unverwertbarkeit des Lehrmaterials zur Folge haben können.

Für Lehr- und Forschungszwecke ist es möglich urheberrechtlich geschützte Werke per „öffentlicher Zugänglichmachung“ (§52a UrhG) auch im Internet zur Verfügung zu stellen, zumindest bis 31.12.2012. Dabei muss berücksichtigt werden, dass nur Teile eines Werkes oder Werke geringen Umfangs, wie Zeitungsartikel, veröffentlicht werden dürfen. Die Veröffentlichung muss auf die Teilnehmer eines Kurses begrenzt werden, die Zugänglichmachung für alle Studierenden einer Universität oder Hochschule ist nicht erlaubt (vgl. §52a UrhG).

Sollen Fremdwerke für Lehrzwecke genutzt werden, empfiehlt sich die Verwendung von Materialien, welche der *Creative Commons* Lizenz unterliegen. Bei Werken mit *Creative Commons* Lizenz sind ganz eindeutig die Möglichkeiten der Verwendung geregelt. In jedem Fall ist der Name des Urhebers anzugeben. In welchem Umfang die Nutzung eines Werkes erlaubt ist und ob es bearbeitet werden darf, ist durch die jeweilige Lizenzstufe festgelegt. Lehrende können selbstverständlich ihre selbst produzierten Materialien ebenfalls unter einer *Creative Commons* Lizenz veröffentlichen.

Bei Inhalten, welche im Internet veröffentlicht sind, etwa Filme oder Simulationen, und deren urheberrechtliche Lage nicht eindeutig geklärt ist, besteht die Möglichkeit, einfach per Hyperlink auf die jeweilige externe Seite zu verweisen.

Nicht alle in den Lernmanagement-Kurs implementierte Medien konnten im Rahmen dieser Arbeit selbst produziert werden. Die Verwendung auch fremdproduzierter Medien, beispielsweise Artikel aus Fachzeitschriften, war un-

umgänglich. In diesem Fall wurde für alle Inhalte, welche nicht der *Creative Commons* Lizenz unterliegen, der Verweis per Hyperlink zur Distribution gewählt.

Neben dem Urheberrecht ist auch das Persönlichkeitsrecht bei der Erstellung und Veröffentlichung von Lernmaterial zu beachten, insbesondere das Recht am eigenen Bild. Sind in Lernmaterialien reale Personen abgebildet, so müssen diese um ihre Einwilligung zur Veröffentlichung gefragt werden. Ausnahmen hiervon bilden die so genannten absoluten Persönlichkeiten der Zeitgeschichte, wie zum Beispiel Staatsoberhäupter, bekannte Wissenschaftler oder Spitzensportler. Eine weitere Ausnahme stellen Personen als Beiwerk dar, beispielsweise Menschen-
gruppen in Landschaftsaufnahmen oder Studierende in einem vollbesetzten Hörsaal (vgl. Kreuzer 2009, S.38).

Den Schutz von Daten ihrer Kursteilnehmer können Lehrende gewährleisten, indem keinerlei Daten auf den Webservern öffentlich zugänglich vorliegen. So sind kritische Informationen wie Klausurergebnisse und Bewertungen vor dem Missbrauch durch Dritte geschützt.

Die Vergabe von Zugangsschlüsseln und das Einführen von Einschreibefristen schließen den Kurs vom öffentlichen Raum ab und verringern somit die Gefahr des missbräuchlichen Eindringens. Um die Gefahr ungebeter Gäste weiter zu minimieren, sollte die in *Moodle* implementierte Funktion der Gastrolle mit Leserecht deaktiviert werden. So kann sich niemand ohne vorherige Registrierung im Kurs anmelden (vgl. Hoeksema und Kuhn 2008, S.217ff).

6. Kurslayout und Implementierung der Medien

Der letzte Arbeitsschritt zur Erstellung des Lernmanagement-Kurses „EXPERIMENTALPHYSIK–Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“, nach dessen Konzipierung und der Produktion der benötigten Medien, ist die Gestaltung des Kurslayouts und die Implementierung der produzierten Medien. Dieses Kapitel enthält die dazu angestellten Überlegungen und skizziert deren Umsetzung.

6.1. Kurslayout

Das Kurslayout betrifft die konkrete Anordnung und Formatierung der einzelnen Kurselemente, wie Kommunikationswerkzeuge und Lehr-Lernmaterialien. Hierzu stehen verschiedene Werkzeuge, wie beispielsweise Texteditoren zur Verfügung. Programmierkenntnisse sind für grundlegenden Formatierungen von Texten und Benutzeroberfläche nicht notwendig. Die Verwendung der Programmiersprache *HTML* erweitert allerdings die Bandbreite der Gestaltungsmöglichkeiten, etwa die Hinterlegung von Überschriften durch farbige Kästen (vgl. Lernmanagement-Kurs *Themenblock 1*).

6.1.1. Der Kursraum

Der Kursraum ist das zentrale Element der Benutzeroberfläche. Hier werden den Studierenden Medien, Lehr-Lernmaterialien und Kommunikationswerkzeuge zur Verfügung gestellt. Im Zentrum des Kursraumes steht der Themenblock (vgl. Abbildung 21). Jeweils ein Themenblock beinhaltet eines der in Kapitel 4.8.3 aufgeführten Segmente. Dabei kann der Studierende wählen, ob ihm nur der jeweils aktuelle Themenblock angezeigt wird oder alle vorhandenen in der Reihenfolge ihrer Sequenzierung.

Direkt über den Themenblöcken ist dauerhaft ein Textfenster mit dem Kursnamen angezeigt, unabhängig davon welcher Themenblock gerade aufgerufen ist. Das Textfenster wurde so formatiert, dass auch dort Medien und Kommunikationswerkzeuge eingebunden werden können.

Am linken und rechten Rand des Kursraumes sind für den Studierenden verschiedene Funktionen bereitgehalten, wie eine Navigationsleiste zur direkten Anwahl der Themenblöcke oder ein Kalender.

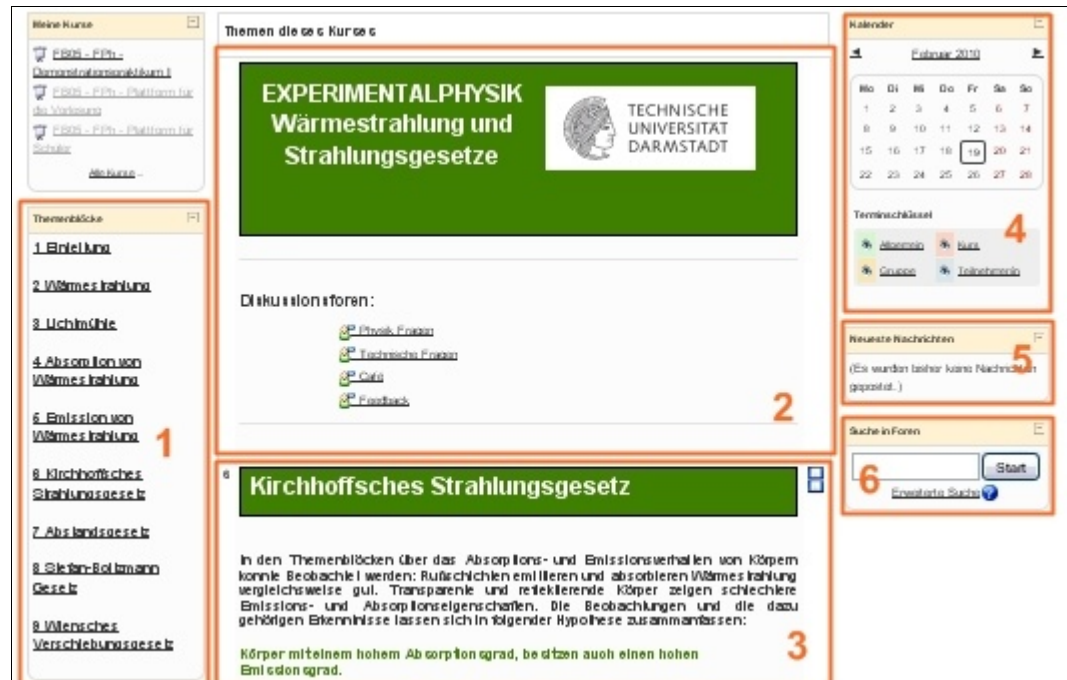


Abbildung 21: Kursraum: Navigationsleiste (1); Textfeld mit Kursname und Foren (2); Themenblock (3), Kalender (4), Neueste Nachrichten (5) und Forensuche (6).

6.1.2. Die Themenblöcke

Die Funktion der Themenblöcke ist das Schaffen von Lernanreizen. Hierzu werden Arbeitsanregungen erteilt, Überleitungen zwischen den Lehr-Lernmaterialien gegeben und Informationen, Lehr-Lerntexte, Experimentvideos und Hyperlinks zu externen Webseiten bereitgestellt.

Die Gestaltung der Themenblöcke soll eine möglichst große Übersichtlichkeit garantieren. Dazu wurden die in Kapitel 5.1.1 beschriebenen Orientierungsmarken verwendet. Auf die Präsentation von Bildern und die Wiedergabe von Experimentvideos direkt in den Themenblöcken wurde soweit möglich verzichtet. Auf diese Weise soll einem langsamen Webseitenaufbau vorgebeugt und unnötige Wartezeit vermieden werden.

6.1.3. Kommunikationswerkzeuge

Die den Studierenden angebotenen Kommunikationswerkzeuge umfassen das fest in das *Moodle*-System integrierte Nachrichtensystem und vier Foren (vgl. Kapitel 4.8.4). Die Foren sind in das Textfenster direkt über den Themenblöcken eingefügt. Dies gewährleistet Studierenden einen einfachen und unmittelbaren Zugriff auf die Foren. Zur Vereinfachung der Kommunikation befinden sich rechts neben dem Themenblock zwei die Foren betreffende Kommunikationsfunktionen. In einem Rahmen werden die neuesten Forenbeiträge angezeigt. Der Rahmen darunter beinhaltet eine Suchfunktion für Forenbeiträge. Dies soll eine Mehrfachnennung von Fragen verhindern, indem Studierende vor dem Schreiben eines neuen Beitrags zuerst die Foren nach schon bestehenden Antworten durchsuchen.

6.2. Implementierung der Medien

Das Software-System *Moodle* bietet eine Funktion zum Hochladen von Lehr-Lernmedien. Diese werden dadurch auf einem Server des *e-learning-centers* abgelegt und stehen so nach dem Implementieren in den Kursraum für einen Zugriff durch die Studierenden bereit.

6.2.1. PDF-Dokumente

Die im PDF-Dateiformat vorliegenden Lehr-Lerntexte werden per Link auf die entsprechende Datei in den Kursraum eingebunden. Für die meisten Lehr-Lerntexte wurde dieses Verfahren der Distribution gewählt. Studierende wählen im Kursraum das gewünschte PDF-Dokument an, und dieses wird dann dargestellt. Dies schafft eine größere Übersichtlichkeit in den einzelnen Themenblöcken als eine direkte Darstellung der Texte in den Themenblöcken. Außerdem müssen so nicht alle zur Versuchsbeschreibung und -auswertung notwendigen Bilder für die Darstellung des Kursraumes simultan geladen werden. Die Wartezeit bis zum vollständigen Aufbau der Kursraum-Webseite ist dadurch verringert.

6.2.2. Experimentvideos

Moodle bietet zur Implementierung von Videos im Adobe-Flash-Dateiformat die Option, diese direkt per Streaming in einem Themenblock wiederzugeben. Dieses Verfahren erhöht die Ladezeit zum Webseitenaufbau und beschränkt die darstellbare Videogröße auf die Breite des Themenblocks, der durch die Funktionsleisten auf dessen linker und rechter Seite in seiner Breite begrenzt ist. Das in Kapitel 5.3.1 beschriebene Produktionsverfahren zusammengesetzter Experimentvideos führt auf ein verhältnismäßig breites Videoformat, etwa das des Experimentvideos „Reflexion und Fokussierung von Wärmestrahlung“ mit einem Seitenverhältnis von 5:2. Für die Wiedergabe eines Videos in einer Größe, welche auch das deutliche Erkennen von Details ermöglicht, ist es daher zweckmäßig, das Video innerhalb des Kurses in einer neuen Webseite zu präsentieren, die keine räumliche Beschränkung durch Funktionsleisten aufweist. In den *Moodle*-Einstellungen zu dem jeweiligen Video muss dazu unter „Fenster“ die Option „Kursblöcke anzeigen“ deaktiviert sein.

Die in *Moodle* enthaltene Standardfunktion zum Einbinden und Wiedergeben von Videodateien erlaubt nur eine Darstellung im Format 4:3. Videos anderer Formate werden auf das Format 4:3 skaliert und dementsprechend verzerrt angezeigt.

Das Einbinden und Präsentieren von Videos in ihrem Originalformat ist nur indirekt möglich:

Mit einem in *Moodle* integrierten Autorenwerkzeug können Textdateien erzeugt und in einem Themenblock abgelegt werden. In eine solche Textdatei kann mittels HTML das Video eingebunden und beliebig skaliert werden. Bei einer Anwahl der Textdatei im Themenblock wird so das Video geöffnet und wiedergegeben.

7. Resümee und Ausblick

7.1. Resümee

Zur Erstellung eines E-Learning-Arrangements ist von Anfang an eine weitreichende Planung notwendig. Selbst auf deren Basis ist die Geradlinigkeit der Abfolge an Arbeitsschritten von der Planung bis zum fertigen Produkt nicht in jedem Fall gesichert. Die drei grundlegenden Arbeitsschritte, die Konzeption des E-Learning-Arrangements, die Medienerstellung und die Realisierung, bedingen sich gegenseitig und erfordern so an mancher Stelle eine rückwirkende Anpassung der Planung.

Zu der Qualität der produzierten Videoaufzeichnungen ist anzumerken, dass die Verwendung professioneller Camcorder zu hochwertigeren Aufnahmen geführt hätte. Mit den verwendeten Camcordern der Consumer-Klasse können die dokumentierten Bildfehler zwar auf ein annehmbares Maß verringert werden, professionelle Camcorder unterdrücken diese zum Teil durch Verwendung alternativer Sensortechnologie jedoch vollständig.

Im Zentrum dieser Arbeit stand die Absicht, Experimentalphysikvorlesungen mittels eines multimedialen E-Learning-Arrangements zu ergänzen. Dabei wurde zu Beginn der Arbeit die Wichtigkeit von Experimenten für das Lernen physikalischen Grundlagenwissens durch didaktische Überlegungen begründet und dementsprechend Möglichkeiten einer Bereitstellung von Abbildern physikalischer Experimente thematisiert. Diese Überlegungen fortführend wurde auf der Basis medienpädagogischer Betrachtungen ein Konzept zur Ergänzung der Experimentalphysikvorlesungen erarbeitet, das die Studierenden in ihrem Lernprozess unterstützen soll. Das Ergebnis ist ein Konzept, das vorsieht, eine Experimentalphysikvorlesung durch einzelne, thematisch abgegrenzte Lernmanagement-Kurse zu ergänzen. Mehrere dieser Kurse können dann für eine vollständige thematische Abdeckung der Vorlesungsinhalte zu einem Kursbereich zusammengefasst werden. Studierende erhalten durch dieses Konzept die Möglichkeit, selbständig und vorlesungsbegleitend zu lernen. Lehrenden wird die Möglichkeit gegeben, ihrer Vorlesung eine größere inhaltliche Tiefe und Breite zu geben.

Weiterhin stellt diese Arbeit die medienpädagogischen Prinzipien speziell zur Entwicklung eines solchen Lernmanagement-Kurses dar und listet dabei die für eine didaktisch fundierte Konzeption notwendigen Schritte auf. Dieses Verfahren des didaktischen Designs ist exemplarisch für einen Lernmanagement-Kurs zum Themengebiet „Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“ ausgeführt. Die dazu notwendigen Analysen bezüglich der Zielgruppe, der Lernmotivation, der zu vermittelnden physikalischen Inhalte und der Strukturierung werden dargelegt.

Ein wesentlicher Teil dieser Arbeit umfasst die Produktion der benötigten Lehr-Lernmedien, insbesondere das Aufzeichnen der Experimentvideos. In der Arbeit sind die der Produktion vorangegangenen Gedankengänge über eine möglichst lernwirksame Gestaltung und die zur Erstellung notwendigen Arbeitsschritte aufgeführt. Eine Auflistung der bei den Videoaufzeichnungen aufgetretenen Problematiken und deren Lösungen schließt sich an. Des Weiteren werden alle im Rahmen dieser Arbeit aufgezeichneten Experimente sowie die Versuchsziele, die Gestaltung des Aufbaus, aufnahmetechnische Aspekte und eine Diskussion der Messergebnisse detailliert beschrieben.

Den Abschluss bildet eine Darstellung des entwickelten Kurslayouts und der Implementierung der Lehr-Lernmedien in den Lernmanagement-Kurs.

Neben einem grundlegenden Konzept zur internetgestützten und multimedialen Ergänzung der Experimentalphysikvorlesungen liefert diese Arbeit einen Lernmanagement-Kurs mit dem Titel „EXPERIMENTALPHYSIK-Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze“. Dieser stellt einen möglichen Prototypen eines mit Experimentvideos angereicherten Lernmanagement-Kurses dar. Er beinhaltet die zur Unterstützung der studentischen Lernaktivität notwendigen Lehr-Lernmedien und bietet den Studierenden die zur Kommunikation untereinander und mit den Lehrenden notwendigen Kommunikationswerkzeuge.

7.2. Ausblick

Das Angebot an Experimentvideos kann um ein weiteres zur Funktionsweise des Sonnenkollektors ergänzt werden. Den Studierenden würde so ein zusätzliches, anwendungsbezogenes Experimentvideo zur Verfügung gestellt, das die Funktionsweise an einem realen Versuchsobjekt erläutert.

Zu dem in der Durchführung des Stefan-Boltzmann Gesetzes verwendeten Messprinzip liegt eine Alternative vor: Die Bestimmung der Temperatur des Glühfadens kann über die Messung dessen temperaturabhängigen Widerstands geschehen. Der Hersteller der Stefan-Boltzmann Lampe gibt zur Umrechnung der gemessenen Widerstandswerte in die Temperatur Referenzwerte an (vgl. PASCO b, S.4). Die im Kapitel 5.3.6.10 diskutierten Abweichungen von der Regressionsgeraden, die durch die mithilfe der Pyrometrie bestimmten Eichkurve verursacht wurden, könnten mit diesem alternativen Verfahren eventuell eliminiert werden. Diese Hypothese wäre mit einer Vergleichsmessung zu überprüfen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde diese auf Grund der zeitlichen Begrenzung nicht durchgeführt.

Mit dieser Arbeit liegt ein Konzept vor, eine Experimentalphysikvorlesung durch in Lernmanagement-Kurse integrierte Videoaufzeichnungen physikalischer Experimente zu ergänzen. Es ist mit physikdidaktischen und medienpädagogischen Erkenntnissen begründet. Vor der Erstellung neuer Kurse zu Erweiterung des Angebotes sollte das theoretisch erarbeitete Konzept anhand des prototypischen Lernmanagement-Kurses in der Praxis geprüft werden.

Die Beobachtung des in den Kurs implementierten Forums „Feedback“ kann Aufschluss über eventuelle Lernschwierigkeiten der Studierenden geben. Werden Fragen zu einem Themenblock besonders häufig diskutiert, kann dieser gezielt mit weiteren Lehr-Lernmaterialien ausgestattet werden.

Neben den Rückmeldungen der Studierenden in dem dafür vorgesehenen Forum sollte das E-Learning-Arrangement unbedingt zusätzlich gezielt evaluiert und ausgewertet werden. Diese Evaluation soll die Qualität, die Funktionalität, die Wirkung und den Nutzen des E-Learning-Arrangements und dessen Lehr-Lernmedien analysieren und bewerten und dadurch wichtige Kriterien für eine wirkungsvolle Weiterentwicklung des Konzeptes liefern.

Auf der Basis der Evaluationsergebnisse kann über die Entwicklung weiterer Lernmanagement-Kurse nachgedacht und deren Produktion geplant werden. So kann eine Bereitstellung multimedialer Lehr-Lernmedien vorangetrieben und ein alle Vorlesungsthemen abdeckender Kursbereich angestrebt werden.

Weiterhin kann die Möglichkeit untersucht werden, das die Vorlesungen begleitende Übungskonzept in das entwickelte E-Learning-Arrangement zu integrieren. Dies kann durch den Bezug auf den Lernmanagement-Kurs in der Präsenz- oder Hausübung geschehen oder durch das Einbinden von Übungsaufgaben in die Selbstlernumgebung. Das Software-System *Moodle* bietet hierfür interessante Optionen. Mit dem systeminternen Testmodul können unterschiedlichste Frage- und Aufgabentypen realisiert, deren Antworten beziehungsweise Lösungen überprüft und den Studierenden Rückmeldungen gegeben werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Funktionsbereiche eines Lernmanagement-Systems.....	24
Abbildung 2: Mind Map zu den wesentlichen physikalischen Kursinhalten.....	35
Abbildung 3: Versuchsanordnung "Reflexion von Wärmestrahlung": Parabolspiegel (1); LötKolben (2); Netzgerät (3) und thermosensitive Flüssigkristallfolie (4).....	57
Abbildung 4: Schematische Skizze der Versuchsanordnung „Reflexion und Fokussierung“ mit Strahlengang exemplarischer Wärmestrahlen.	59
Abbildung 5: Thermoskop: Rußschicht (1); Glaskolben (2); U-Rohr (3) und Tintenlösung (4).....	62
Abbildung 6: Versuchsanordnung "Emission von Wärmestrahlung": Strahlungswürfel nach Leslie (1); Thermosäule nach Moll (2); Demonstrationsmultimeter (3), digitales Thermometer (4) und Thermoelement (5).....	66
Abbildung 7: Links der Schriftzug bei hoher Temperatur, rechts bei einer niedrigeren.....	67
Abbildung 8: Darstellung der gemessenen Strahlungsintensität über dem Abstand.	71
Abbildung 9: Darstellung der gemessenen Strahlungsintensität über dem reziproken Quadrat des Abstandes für verschiedene Lampenspannungen.....	71
Abbildung 10: Die im Experimentvideo „Abstandsgesetz“ zu sehende Versuchsanordnung: Laptop (1); Interface (2); Spannungsquelle (3); Bewegungssensor (4); Glühlampe mit Wagen (5) und Lichtsensor (6).....	72
Abbildung 11: Darstellung der gemessenen Strahlungsintensität über dem reziproken Quadrat des Abstandes mit Regressionsgerade.....	73
Abbildung 12: Eichkurve $T(UL)$ zur Umrechnung der an der Stefan-Boltzmann Lampe gemessenen Spannung in die Temperatur der Glühwendel mit Referenzpunkten (rot).....	76
Abbildung 13: Schaltbild der Versuchsanordnung "Stefan-Boltzmann Gesetz".....	77
Abbildung 14: Die im Experimentvideo "Stefan-Boltzmann Gesetz" zu sehende Versuchsanordnung: Strahlungssensor (1); Stefan-Boltzmann Lampe (2); Spannungssensor für die Spannung U_S des Strahlungssensors (3); Spannungssensor für die Spannung U_L an der Stefan-Boltzmann Lampe (4); Widerstand (5); Spannungssensor für die Spannung U_R am Widerstand (6); Funktionsgenerator (7); Messverstärker (8); Laptop (9); Schalter (10) und Schirm (12).....	79
Abbildung 15: Im Vorfeld der Versuchsaufzeichnung durchgeführte Vergleichsmessung mit (rot) und ohne (blau) Beleuchtungsstrahler.....	80
Abbildung 16: Im Vorfeld der Versuchsaufzeichnung durchgeführte Vergleichsmessungen: Messung ohne Umgebungslicht (blau), mit Umgebungslicht (schwarz) und mit Umgebungslicht und Beleuchtungsstrahler (orange).....	81
Abbildung 17: Die im Experimentvideo gezeigte Kurve: Die Spannung an der Thermosäule ist über der 4. Potenz der Temperatur dargestellt. Die gelben Punkte sind bei der Berechnung der Regressionsgerade berücksichtigt.....	82
Abbildung 18: Im Vorfeld der Versuchsaufzeichnung durchgeführte Messung über eine gesamte Periode der Dreiecksspannung: Zusehen ist eine Hysteresekurve..	84
Abbildung 19: Gemessene Intensitätsverteilungen in Abhängigkeit des Drehwinkels für verschiedene Temperaturen des Glühfadens.....	87
Abbildung 20: Gemessene Intensitätsverteilung als Funktion des Drehwinkels...	89
Abbildung 21: Kursraum: Navigationsleiste (1); Textfeld mit Kursname und Foren (2); Themenblock (3), Kalender (4), Neueste Nachrichten (5) und Forensuche (6).	93

Literaturverzeichnis

Asmussen, J.:

Leistungsmotivation, intrinsische Studienmotivation und Berufsorientierung als Determinanten der Studienfachwahl. In: Schmidt, U. (Hg.): *Übergänge im Bildungssystem: Motivation - Entscheidung – Zufriedenheit* (=Hochschulforschung, Band 3). VS Verlag, Wiesbaden, 2006.

Baumgartner, P.; Häfele, H.; Maier-Häfele, K.:

E-Learning Praxishandbuch: Auswahl von Lernplattformen. Studienverlag, Innsbruck [u.a.], 2002.

Bleichroth, W.; Dahncke, H.; Jung, W.; Kuhn, W.; Merzyn, G.; Weltner, K.:

Fachdidaktik Physik. Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1999.

Bergmann, L.; Schaefer, C.:

Optik: Wellen- und Teilchenoptik (=Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 3). de Gruyter, Berlin, 2004.

Bertelsmann Stiftung; Deutscher Volkshochschul-Verband e.V.:

Nachfrageanalyse Telelernen in Deutschland. 2002. URL: http://www.bertelsmann-stiftung.de/bst/de/media/xcms_bst_dms_15908__2.pdf (Stand 22.12.2009).

Camtasia:

Webseite des Herstellers mit Informationen zu Camtasia Studio 6.0.3.
URL: http://www.camtasiaoftware.de/camtasia-g2.htm?gclid=CMI3u_SPjKACFdwg3wod_1YleQ (Stand 24.02.2010).

Corporate Design:

Webseite der TU Darmstadt mit Informationen zum Corporate Design.
URL: http://www.intern.tu-darmstadt.de/dez_i/ref_if/projekte_2/cd/index.de.jsp (Stand 24.02.2010).

d'Ans, J.; Lax, E.:

Elemente, anorganische Verbindungen und Materialien, Minerale (=Taschenbuch für Chemiker und Physiker, Band 3). 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin [u.a.], 1998.

Datastudio:

Webseite des Herstellers mit Informationen zu Datastudio 1.9.8.8.
URL: <http://store.pasco.com/forms/download.cfm?DID=9&downloadtype=DataStudio> (Stand 24.02.2010)

de Witt, C.:

Lehren und Lernen mit neuen Medien/E-Learning. In: Sander, U.; Gross, F. v.; Hugger, K.-U. (Hg.): *Handbuch Medienpädagogik.* VS Verlag, Wiesbaden, 2008.

e-learning center:

Diskrepanz und Übereinstimmung. 2009. URL: <http://www.e-learning.tu-darmstadt.de/qualitaetssicherung/elearninglabel/statistik/index~8.de.jsp> (Stand 22.12.2009).

Falke, T.:

Audiovisuelle Medien in E-Learning-Szenarien; Formen der Implementierung audiovisueller Medien in E-Learning-Szenarien in der Hochschule – Forschungsstand und Ausblick. In: Nicolas Apostolopoulos (Hg.): E-Learning 2009. Waxmann, Münster [u.a], 2009.

Fluch, D:

Technische Grundlagen für Mediengestalter: Handbuch der Audio- und Videotechnik. Asept Verlag, Königslutter, 2006.

FreeMind:

Webseite des Herstellers mit Informationen zu FreeMind 0.8.1. URL: http://freemind.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page (Stand 24.02.2010).

Prof. Dr. Gehrig, P.; Dual Mode Beirat der TU Darmstadt:

Strategische Ziele für das E-Learning an der TU-Darmstadt. 2008.
URL:<http://www.e-learning.tu-darmstadt.de/media/elc/elearning/dualmode/elearningstrategie2008.pdf> (Stand 22.12.2009).

Hoeksema, K.; Kuhn, M.:

Unterrichten mit Moodle: Praktische Einführung in das E-Teaching. Open Source Press, München 2008.

Hösl, J.:

Konzepte und Umsetzungsmöglichkeiten zur Aufgabenbearbeitung in Gruppen mit einem LMS am Beispiel von Moodle. GRIN Verlag, 2007.

Jähne, B.:

Digitale Bildverarbeitung. 6. Auflage, Springer-Verlag, Berlin [u.a.], 2005.

Jodl, H.; Ringeisen, W.; Seiter, F.-J.:

Experimentierfilme für den Physikunterricht. In: Scharmman, A.; Scharmman, H. (Hg.): Physik: Theorie – Experiment – Geschichte – Didaktik. Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1984.

Kerres, M.:

Multimediale und telemediale Lernumgebungen: Konzeption und Entwicklung. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2001.

Kircher, E.; Girwidz, R.; Häußler P.:

Physikdidaktik: Eine Einführung. Springer-Verlag, Berlin [u.a.], 2001.

Kirstein, J.:

Interaktive Bildschirmexperimente; Technik und Didaktik einer neuartigen Methode zur multimedialen Abbildung physikalischer Experimente. Dissertation, Technische Universität Berlin, 1999.

Kreutzer, T.:

Rechtsfragen bei E-Learning. 2009. URL: http://www.mmkh.de/upload/dokumente/Leitfaden_E-Learning_und_Recht_creativecommons_MMKH.pdf (Stand 16.02.2010).

Kritzenberger, H.:

Multimedia und Interaktive Lernräume. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2005.

Lermen, M.:

Digitale Medien in der Lehrerbildung: Rahmenbedingungen, Einflussfaktoren, Integrationsvorschläge aus (medien-)pädagogischer Sicht (=Grundlagen der Berufs- und Erwachsenenbildung, Band 57). Schneider Verlag, Baltmannsweiler, 2008.

Maschke, T.:

Digitaleameratechnik: Technik digitaler Kameras in Theorie und Praxis. Springer-Verlag, Berlin [u.a.], 2004.

Michel, L. P.; Johanning, A.:

Aktuelle Studien zur Akzeptanz und Nutzung von E-Learning. 2003. URL: <http://www.lernet.info/media/downloads/nutzerakzeptanzstudien.pdf> (Stand 05.01.2010).

Modulhandbuch - Studiengang Physics mit Abschluss Bachelor of Science Studienordnung 2008 Stand: Sommersemester 2008. URL: http://wwwn.physik.tu-darmstadt.de/media/fachbereich_physik/phys_studium/phys_studium_bachelor/formulare/physik_bachelor_modulbeschreibung_20080516.pdf (Stand 22.12.2009).

Niegemann, H. M.; Hessel, S.; Hochscheid-Mauel, D.; Aslanski, K.; Deimann, M.; Kreuzberger, G.:

Kompendium E-Learning. Springer-Verlag, Berlin [u.a.], 2004.

Niegemann, H. M.; Domagk, S.; Hessel, S.; Hein, A.; Hupfer, M.; Zobel, A.:

Kompendium multimediales Lernen. Springer-Verlag, Berlin [u.a.], 2008.

Olympus:

Webseite des Herstellers mit technischen Daten zur Olympus E-410 SLR-Digitalkamera. URL: http://www.olympus.de/digitalkamera/digital_slr_e-410_3864.htm (Stand 24.02.2010).

OpenOffice Draw:

Webseite des Herstellers mit Informationen zu OpenOffice.org 3.0.0 Draw. URL: <http://de.openoffice.org/product/draw.html> (Stand 24.02.2010).

OpenOffice Writer:

Webseite des Herstellers mit Informationen zu OpenOffice.org 3.1.1 Writer. URL: <http://de.openoffice.org/product/writer.html> (Stand 24.02.2010).

Paint:

Webseite des Herstellers mit Informationen zu Paint.net 3.5.3. URL: <http://www.getpaint.net/index.html> (Stand 24.02.2010).

Panasonic:

Webseite des Herstellers mit Daten zum Panasonic NV-GS330 Camcorder. URL: http://www.panasonic.de/html/de_DE/Produkte/NV-GS330/%C3%9Cbersicht/463397/index.html?trackInfo=true (Stand: 21.02.10).

PASCO a:

Webseite des Herstellers mit Daten zum Pasco USB Power-Link Interface.

URL: http://store.pasco.com/pascostore/showdetl.cfm?DID=9&Product_ID=53754&Detail=1 (Stand 24.02.2010).

PASCO b:

Thermal Radiation System. URL: <ftp://ftp.pasco.com/Support/Documents/English/TD/TD-8855/012-04695D.pdf> (Stand 24.02.2010).

Photoscape:

Webseite des Herstellers mit Informationen zu Photoscape V3.4.

URL: <http://www.photoscape.org/ps/main/index.php> (Stand 24.02.2010).

Premiere Pro:

Webseite des Herstellers mit Informationen zu Adobe Premiere Pro CS4.

URL: <http://www.adobe.com/de/products/premiere/> (Stand 24.02.2010).

Reinmann-Rothmeier, G.:

Virtuelle Seminare in Hochschule und Weiterbildung: drei Beispiele aus der Praxis.

Verlag Hans Huber, Berlin [u.a.], 2001.

Reinmann-Rothmeier, G.:

Didaktische Innovation durch Blended Learning: Leitlinien anhand eines Beispiels aus der Hochschule. Verlag Hans Huber, Berlin [u.a.], 2003.

Schmidt, U.:

Professionelle Videotechnik: Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studientechnik in SD, HD, DI, 3D. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2009.

SCHOTT AG:

Optisches Glas: Datenblätter. 2007. URL: http://www.schott.com/advanced_optics/german/download/datasheet_all_german.pdf (Stand: 19.02.2010).

Schulmeister, R.:

Lernplattformen für das virtuelle Lernen: Evaluation und Didaktik. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2005.

Schulmeister, R.:

Studierende, Internet, E-Learning und Web 2.0. In: Nicolas Apostolopoulos (Hg.): *E-Learning 2009*. Waxmann, Münster [u.a.], 2009.

Sonnberger, J.:

Das E-Learning-Label an der TU Darmstadt. Logos, Berlin, 2008.

Sony a:

Webseite des Herstellers mit Daten zur Sony DCR-HC 62 E Handycam.

URL: <http://www.sony.de/product/sdh-minidv/dcr-hc62e> (Stand 24.02.2010).

Sony b:

Webseite des Herstellers mit Daten zur Sony Digital DCR-VX 1000E

Handycam. URL: http://support.sony-europe.com/dime/camcorders/dv/dv.aspx?site=odw_de_DE&m=DCR-VX1000E (Stand 25.02.2010).

Steinmetz, R.; Offenbartl, S.:

„Geschäftsmodell“ der Dual Mode University. *E-Learning/E-Teaching muss sich lohnen!*. In: Sesink, W.; Wendland, K. (Hg.): *Studieren im Cyberspace?: Die Ausweitung des Campus in den virtuellen Raum (=Bildung und Technik, Band 4)*. LIT Verlag, Münster, 2005.

Steitz, K.:

e-learning center. 2008. URL: <http://blog.e-learning.tu-darmstadt.de/e-learning-center> (Stand: 22.12.2009).

Studienordnung für das Fach Physik Lehramt an Gymnasien Endfassung vom 18. August 2006. URL: http://www.zfl.tu-darmstadt.de/media/zfl/lagpdf/lag_physik_studo_end_aug2006.pdf (Stand 22.12.2009).

Studienordnung für den Studiengang Physik mit Abschluss Bachelor of Science (B.Sc.) vom 4. April 2008. URL: http://wwwn.physik.tu-darmstadt.de/media/fachbereich_physik/phys_studium/phys_studium_bachelor/bachelorprf/physik_bachelor_studienordnung_20080404.pdf (Stand 22.12.2009).

VirtualDub:

Webseite des Herstellers mit Informationen zu VirtualDub 1.8.8. URL: <http://www.virtualdub.org/index.html> (Stand 24.02.2010).

Willer, J.:

Didaktik des Physikunterrichts. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 2003.

Ziegler, J.:

Herstellung Interaktiver-Bildschirm-Experimente und deren Erprobung im physikalischen Grundpraktikum. Examensarbeit, TU Darmstadt, 2000.


Glossar

AVI	-	Audio Video Interleave
CCD	-	Charge Coupled Device
DV	-	Digital Video
ff	-	nach einer Seitenzahl: und folgende Seiten
Hg.	-	Herausgeber
HTML	-	Hypertext Markup Language
ICT	-	Informations- und Kommunikationstechnologie
Moodle	-	Modular Object Oriented Dynamic Learning Enviroment.
PDF	-	Portable Document Format
S.	-	Seite
TU	-	Technische Universität
USB	-	Universal Serial Bus
vgl.	-	vergleiche
W-LAN	-	Wireless Local Area Network

Anhang

Dieser wissenschaftlichen Hausarbeit liegt als Anhang eine DVD bei. Ein auf ihr enthaltenes Inhaltsverzeichnis im PDF-Format gewährt einen vollständigen Überblick über die beinhalteten Dateien. Diese umfassen

- eine Sicherungskopie des erstellten Lernmanagement-Kurses im ZIP-Dateiformat,
- grafische Abbilder des gestalteten Kursraums und der einzelnen Themenblöcke als PDF-Dokumente,
- sämtliche selbstproduzierten Lehr-Lerntexte im PDF-Dateiformat,
- die in den Lehr-Lerntexten enthaltenen Bilder und
- alle selbstproduzierten und eingebundenen Videoaufzeichnungen physikalischer Experimente im Adobe-Flash-Dateiformat.



Ich versichere hiermit, dass ich die Arbeit selbständig verfasst, keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel verwendet und die Stellen, die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen sind, mit Quellenangaben kenntlich gemacht habe. Dies gilt auch für Zeichnungen, Skizzen, Notenbeispiele, Ton- und Bildträger sowie bildliche Darstellungen.

Darmstadt, den 01.03.2010