

Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik

Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V.

April 2014



Diese Studie wurde gefördert durch die Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung.

Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik

April 2014

Koordinatoren

Siegfried Großmann

Philipps-Universität Marburg

Ingolf Hertel

Humboldt-Universität zu Berlin und Max-Born-Institut

Mitglieder der Arbeitsgruppe

„Ausbildung im Lehramt Physik und das Profil von Physik in der Schule“

Im Folgenden kurz „Mitglieder der DPG Arbeitsgruppe“ genannt

Gunnar Berg	Universität Halle
Franz Eisele	Universität Heidelberg
Roger Erb	Universität Frankfurt am Main
Helmut Fischler	Freie Universität Berlin
Siegfried Großmann	Philipps-Universität Marburg
Steffen Harke	Albert-Einstein-Gymnasium Berlin
Ingolf Hertel	Humboldt-Universität zu Berlin und Max-Born-Institut
Rudolf Lehn	Schülerforschungszentrum am Störck Gymnasium, Bad Saulgau
René Matzdorf	Universität Kassel
Peter Reineker	Universität Ulm
Peter Richter	Universität Bremen
Dieter Röß	Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, Hösbach
Peter Schmüser	Universität Hamburg und DESY Hamburg
Lutz-Helmut Schön	Universität Wien
Michael Sinzinger	Goethe Gymnasium Regensburg
Thomas Trefzger	Universität Würzburg
Rita Wodzinski	Universität Kassel

Impressum

Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V.

Hauptgeschäftsstelle:
Hauptstraße 5
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel. 02224-9232-0
Fax 02224-9232-50
dpg@dpg-physik.de

Hauptstadtrepräsentanz:
Magnus-Haus
Am Kupfergraben 7
10117 Berlin
Deutschland
Tel. 030-201748-0
Fax 030-201748-50
magnus@dpg-physik.de

Am fachphysikalischen Teil dieser Studie haben insbesondere folgende Autoren mitgewirkt:

Mitglieder der DPG Arbeitsgruppe:

Prof. Dr. Franz Eisele	Universität Heidelberg
Prof. Dr. Siegfried Großmann	Philipps-Universität Marburg
StD Steffen Harke	Albert-Einstein-Gymnasium Berlin
Prof. Dr. Ingolf Hertel	Humboldt-Universität zu Berlin und Max-Born-Institut
Prof. Dr. René Matzdorf	Universität Kassel
Prof. Dr. Peter Reineker	Universität Ulm
Prof. Dr. Peter Richter	Universität Bremen
Prof. Dr. Dieter Röß	Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, Hösbach
Prof. Dr. Peter Schmüser	Universität Hamburg und DESY Hamburg

Am fachdidaktischen Teil dieser Studie haben insbesondere folgende Autoren mitgewirkt:

Mitglieder der DPG Arbeitsgruppe:

Prof. Dr. Roger Erb	Goethe-Universität Frankfurt am Main
Prof. Dr. Helmut Fischler	Freie Universität Berlin
Prof. Dr. Lutz-Helmut Schön	Universität Wien
Dr. Michael Sinzinger	Goethe Gymnasium Regensburg
Prof. Dr. Thomas Trefzger	Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Prof. Dr. Rita Wodzinski	Universität Kassel

Weitere Autoren:

Prof. Dr. Raimund Girwidz	Ludwig-Maximilians-Universität München
Prof. Dr. Peter Heering	Universität Flensburg
Prof. Dr. Dietmar Höttecke	Universität Hamburg
Dr. Gabriela Jonas-Ahrend	Technische Universität Dortmund
Prof. Dr. Michael Komorek	Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Dr. Friederike Korneck	Goethe-Universität Frankfurt am Main
Prof. Dr. Jochen Kuhn	Technische Universität Kaiserslautern
Dr. Christoph Kulgemeyer	Universität Bremen
Prof. Dr. Karsten Rincke	Universität Regensburg
Prof. Dr. Horst Schecker	Universität Bremen
Prof. Dr. Heike Theyßen	Universität Duisburg-Essen
Prof. Dr. Claudia von Aufschnaiter	Justus-Liebig-Universität Gießen
Sigrid Zwioerek	Goethe-Universität Frankfurt am Main

Verantwortlich für die Gesamtedaktion

Prof. Dr. Siegfried Großmann	Philipps-Universität Marburg
Prof. Dr. Ingolf Hertel	Humboldt-Universität zu Berlin und Max-Born-Institut

Vorbemerkungen

In Umfragen wie bei individuellen Erfahrungen zeigt sich, dass die Physik in der Schule zu den am wenigsten beliebten Fächern gehört, dass sie als sehr schwer empfunden und leider oft abgewählt wird. Es gelingt oft nicht, die ursprüngliche Begeisterung der jüngeren Jugendlichen zu erhalten. Ein weiteres Alarmzeichen ist, dass der Anteil der Physik in den Stundentafeln der Schulen in den letzten Jahrzehnten deutlich reduziert worden ist. Physik als Wahlfach im Abitur wird zunehmend vermieden.

Dies spiegelt nicht zuletzt auch das Ansehen von Physik in unserer Gegenwarts-kultur wider, was unmittelbar zu dem großen Mangel an wissenschaftlichem Nachwuchs in den Natur- und Technikwissenschaften, und natürlich auch in der Physik, beiträgt – eine fatale Haltung für eine moderne Industrie- und Wissensgesellschaft, die ganz fundamental von den Erkenntnissen der Grundlagenforschung sowie der Innovationskraft in Industrie und Wirtschaft lebt und die ohne ihr „Human Capital“ im Bereich von Mathematik, Naturwissenschaft und Technik nicht überlebensfähig wäre.

Ziel der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) ist deshalb einerseits eine breite, intellektuell wie emotional positiv aufgenommene Vermittlung der Physik durch guten und attraktiven Unterricht in unseren Schulen. Damit untrennbar verbunden ist andererseits die Frage, wie unsere überlieferte Ausbildung für das Lehramt Physik zu verbessern ist.

Dabei muss uns klar sein: Das Schulsystem im sekundären Bildungsbereich und die ihm von Gesellschaft und Politik zugewiesenen/zugedachten Erziehungs-, Bildungs- und Ausbildungsaufgaben haben sich in der Bundesrepublik Deutschland über die letzten Jahrzehnte hinweg grundlegend gewandelt. Vor allem aber durchlaufen heute wesentlich mehr Schüler¹ den Sekundar- bzw. Gymnasialbereich als noch vor wenigen Jahrzehnten, was insgesamt gewiss zu begrüßen ist. Zugleich haben sich auch Motivation, Aufnahmebereitschaft und Aufnahmefähigkeit der heutigen Schüler geändert. Aber: „Die Physik stellt eine wesentliche Grundlage für das Verstehen natürlicher Phänomene und für die Erklärung und Beurteilung technischer Systeme und Entwicklungen dar“ [KMK (2004a)]. Der Physikunterricht in der Schule leistet daher einen wesentlichen Beitrag zur Allgemeinbildung für alle mündigen Bürger und soll die Grundlagen dafür vermitteln, viele wesentliche Fragen und Probleme zu verstehen und einzuordnen, die unsere Gesellschaft heute bewegen, etwa in den Bereichen Klima, Umwelt, Energie, Ressourcen oder Gesundheit, ja im Erwerbsleben einer technikbasierten Kultur allgemein. Darüber hinaus soll die Schule aber auch die erforderliche physikalische Basis entwickeln, welche später die Studierenden der Natur-, Technik- und Lebenswissenschaften (natürlich auch der Physik) benötigen – und die auch für manches Kultur-, Sozial- und Geisteswissenschaftliche Studium nützlich sein werden.

Ein Lehramtsstudium muss auf diese Anforderungen in der Schule vorbereiten. Es hat daher seine ganz eigenen Ziele und stellt ganz spezifische Anforderungen, die sich von denen eines wissenschaftlichen Fachstudiums, z.B. in Physik, wesentlich unterscheiden. Lehramtsstudierende haben eine sehr konkrete Berufstätigkeit vor Augen, auf die sie ihr Studium umfassend vorbereiten soll. Die für ihre künftige Berufstätigkeit erforderlichen Kompetenzen reichen dabei von soliden fachlichen Kenntnissen über fachdidaktische Fähigkeiten bis hin zu bildungswissenschaftlichem Wissen.

¹ Alle verwendeten, personenbezogenen Begriffe, wie Schüler, Lehrer etc. beziehen sich in gleicher Weise auf weibliche wie auf männliche Personen. Des einfacheren Satzbaus wegen benutzen wir in der Regel die maskuline Form.

Daher und aufgrund der bildungspolitischen Rahmenvorgaben ist die Zeit für die fachliche Ausbildung im Lehramtsstudium stark beschränkt, stärker als man dies gemeinhin wahrnimmt. **Abbildung 1** verdeutlicht dies besonders eindrucksvoll: sie vergleicht die zu erwerbenden Leistungspunkte in einem 10-semestrigen Fachstudium der Physik mit denen eines ebenfalls 10-semestrigen Lehramtsstudiums (Gymnasium bzw. Sekundarstufe I und II) in Physik – plus einem weiteren Fach, plus Bildungswissenschaften.

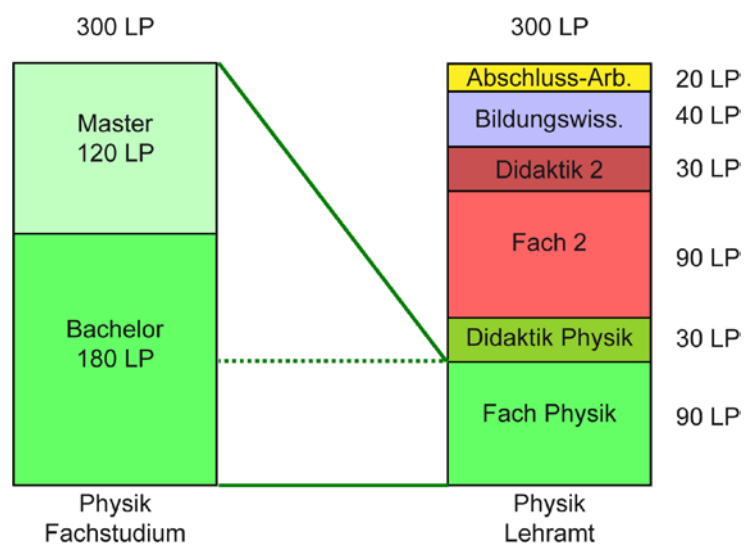


Abbildung 1: Vergleich der Leistungsumfänge zwischen einem Fachstudium Physik (links) und einem Lehramtsstudium mit einem Fach Physik

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG) hat daher bereits 2006 ein eigenständiges Studium für das Lehramt gefordert, ein Studium *sui generis* also [Großmann et al. (2006)]. Auch zu der Problematik der sog. „Quereinsteiger“ in das Lehramt Physik hat die DPG konstruktive Vorschläge gemacht [Korneck et al. (2010)].

Mit der hier vorgelegten Studie führt die DPG die Überlegungen von 2006 konsequent weiter und leistet so einen Beitrag zu der aktuellen, bundesweit geführten Diskussion zur Reform des Lehramtsstudiums. Für das Studium des Lehramts (LA) an Gymnasium (bzw. Sekundarstufe I und II)² im Fach Physik werden Empfehlungen zu den fachphysikalischen und fachdidaktischen Inhalten sowie zu deren Strukturierung im Studienverlauf gegeben.

Aus Sicht der DPG kann so ein *wirklich studierbares* Studienangebot aussehen, in welchem das Wissen und die Kompetenzen erworben werden können, welche die Basis für den Beruf „Physik-lehrer/in“ ausmachen.³ Sie werden nach dem Studium durch die zweite Phase der Lehrerbildung (Referendariat) ergänzt, das hier (in Kapitel 6.4) nur am Rande angesprochen wird.

Die Autorengruppe hat ihre Arbeit im Auftrag der DPG im Januar 2012 begonnen. Das Gesamt-vorhaben befasst sich sowohl mit der Lehramtsausbildung an den Hochschulen als auch mit dem Physikunterricht in den Schulen der 16 Bundesländer.

Die jetzt hier vorgelegten Analysen und Empfehlungen wenden sich in erster Linie an die Hoch-schullehrer – im Fach wie in der Fachdidaktik – und damit auch an diejenigen, welche die Curri-cula gestalten und für die Ausbildung im Lehramt Physik insgesamt verantwortlich sind. Eine anspruchsvolle und zugleich lehramtsgerechte physikalische Fachausbildung stellt eine große Herausforderung für die Hochschullehrer dar. Es ist evident, dass ein solch anspruchsvolles Stu-dium nicht auf die Schultern nur einiger weniger Hochschullehrer delegiert werden kann und darf, sondern in der Verantwortung des gesamten Lehrkörpers gestaltet und vermittelt werden sollte!

² Besonderheiten für ein Lehramtsstudium zur Sekundarstufe I werden in Kapitel 5 angesprochen.

³ In **Anhang C** ist beispielhaft zusammengestellt, über welche Fähigkeiten und Kenntnisse Physiklehrer idealerweise nach dem Studium verfügen sollten und welche Perspektiven sich daraus für den Schulunterricht ergeben.

Die Arbeit der Autorengruppe wird auch nach Veröffentlichung dieser Empfehlungen weitergeführt. Geplant ist eine entsprechende Studie zur inhaltlichen und strukturellen Gestaltung des Physikunterrichts in der Schule. Zugleich ist eine kritische Analyse der aktuellen Ausbildungssituation im Lehramt Physik an den Hochschulen in Arbeit.

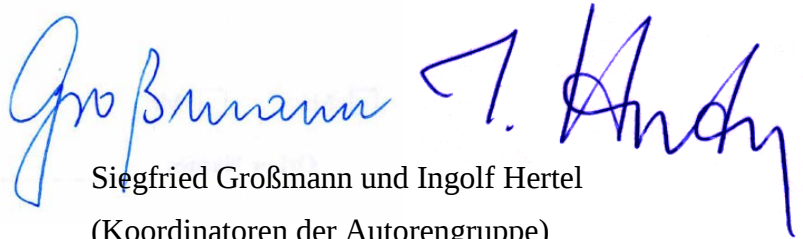
Wir danken schon jetzt allen, die zum Gelingen dieses Vorhabens beigetragen haben. Unser ganz besonderer Dank gilt der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, die dieses Vorhaben finanziell großzügig unterstützt.

Heidelberg, Marburg und Berlin, im März 2014



Johanna Stachel

(Präsidentin der DPG)



Siegfried Großmann und Ingolf Hertel

(Koordinatoren der Autorengruppe)

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkungen.....	1
Inhaltsverzeichnis	4
Einleitung	6
Glossar	8
Kapitel 1 Physik bildet: Vom Bildungswert und -charakter der Physik	9
Kapitel 2 Rahmenbedingungen für den physikalischen Anteil eines 10-semesterigen LA-Studiums	11
2.1 Leistungsanforderungen	11
2.1.1 Leistungspunkte.....	11
2.1.2 Arbeitszeiten.....	14
2.1.3 Mittlere Studienwochenzeit-Verteilung	17
2.2 Konsequenzen aus den Rahmenvorgaben für die Curricula.....	19
2.3 Abschlussarbeiten.....	20
2.4 Bildungsstandards der KMK	21
Kapitel 3 Allgemeine Gesichtspunkte und Anforderungen.....	22
3.1 Allgemeines	22
3.2 Exemplarisch tief oder in systematischer Breite studieren?.....	22
3.3 Verbesserung der Betreuung.....	23
3.4 LA-Studium <i>sui generis</i>	23
3.5 Unterrichtsbezogen experimentieren.....	25
3.6 Leitthemen-Orientierung (auch Kontext-Orientierung genannt).....	26
3.7 Geschichte der Physik	27
3.8 Mathematikausbildung	28
3.9 Computereinsatz und EDV-Kenntnisse.....	29
3.10 Medienkompetenz.....	29
3.11 Moderne Physik und Technikanwendungen.....	30
3.12 Sprechen über Physik.....	31
3.13 Stetes Wiederholen	31
Kapitel 4 Fachphysikalische Inhalte.....	32
4.1 Großskalige Aufteilung	32
4.2 Lehrformen und Umfang der Module	34
4.2.1 Physik 1 bis 4 (P1 bis P4).....	34
4.2.2 Grund-Praktika und Fortgeschrittenes Praktikum (GP und FP)	35
4.2.3 Mathematische Methoden der Physik (MM).....	37
4.2.4 Theoretische Physik (T1 bis T3)	37
4.2.5 Moderne Physik (MP1 bis MP3):	38
4.2.6 Anwendungen in Physik und Technik (A1, A2)	38
4.3 Übersicht und Curriculum	39
4.4 Zusätzliche Anmerkungen zum Curriculum	42
4.4.1 Pflicht- und Wahlbereiche	42
4.4.2 Leistungspunkte und Arbeitsbelastung.....	42
4.4.3 Zeitbedarf	43
4.4.4 Überschneidungsfreiheit.....	43
Kapitel 5 Lehramtsstudium Physik für die Sekundarstufe I Anforderungen und Inhalte	44
Kapitel 6 Fachdidaktische, bildungswissenschaftliche und schulpraktische Ausbildungsanteile	45
6.1 Fachdidaktische Studienelemente im Lehramtsstudium Physik	45
6.1.1 Beispielpläne zur Verteilung der Module.....	46

6.1.2	Modul 1: Grundlagen des Lehrens und Lernens von Physik (6 LP)	46
6.1.3	Modul 2a: Physikunterricht – Zentrale Gestaltungselemente (6 LP)	47
6.1.4	Modul 2b: Physikunterricht – Konzeption (6 LP ggf. zzgl. Praxisphasen).....	48
6.1.5	Modul 3: Physikdidaktisches Urteilen und Forschen sowie Weiterentwickeln von Physikunterricht (6 LP zzgl. Masterarbeit)	49
6.2	Gesamtübersicht: Fachphysikalische und fachdidaktische Komponenten im Lehramtsstudium Physik.....	50
6.3	Synergie mit den Bildungswissenschaften.....	51
6.4	Praxisbezug in der Lehramtsausbildung	52
Kapitel 7	Schlussbemerkungen.....	54
Anhang A	Die physikalischen Fachinhalte der LA-Ausbildung im Detail.....	58
A.1	„Leitthemen“ aus der Erfahrungswelt – Kontextorientiertes Lernen	58
A.1.1	Mechanik.....	59
A.1.2	Thermodynamik	60
A.1.3	Elektrodynamik	60
A.1.4	Relativität	61
A.1.5	Optik.....	61
A.1.6	Atom- und Quantenphysik	62
A.1.7	Statistische Physik.....	62
A.1.8	Allgemeine Physik	63
A.2	Fachsystematische Inhalte der Lehrveranstaltungen	63
A.2.1	Physik P1 bis P4.....	64
A.2.2	Mathematische Methoden der Physik (MM).....	68
A.2.3	Praktika im fachphysikalischen LA-Studium (GP1 bis GP3 und FP).....	68
A.2.4	Theoretische Physik (T1 bis T3) – zwei Alternativen.....	70
A.2.5	Moderne Physik (MP1 bis MP3) Standardangebot und Alternativen	74
A.2.6	Anwendungen in Physik und Technik (A1, A2)	77
Anhang B	Beschreibung der Studienelemente der Fachdidaktik Physik	79
B.1	Schülervorstellungen und Lernprozesse im Physikunterricht.....	79
B.2	Motivation und Interesse an Physik	81
B.3	Bildungsstandards und physikbezogene Kompetenzen	83
B.4	Konzeptionen für den Physikunterricht	85
B.5	Unterrichtsbezogenes Experimentieren	87
B.6	Medien im Physikunterricht	88
B.7	Physik erklären – Sprache und Repräsentationsformen im Physikunterricht	90
B.8	Aufgabenkultur: Lern- und Leistungsaufgaben im Physikunterricht	91
B.9	Planung und Analyse von Physikunterricht	93
B.10	Natur der Naturwissenschaften – Wissenschafts- und Erkenntnistheorie zur Physik	95
B.11	Forschungsbasierte physikdidaktische Vertiefung	97
Anhang C	Lernergebnisse eines Lehramtsstudiums in Physik	98
Anhang D	Auszüge aus Dokumenten der KMK und aus weiteren wichtigen Quellen	100
D.1	„Sachstand in der Lehrerbildung“ (KMK)	100
D.2	„Monitor Lehrerbildung“ von 2012	102
D.3	Bildungsstandards der KMK	106
D.4	Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung.....	109
D.5	Auszug aus der KFP-Empfehlung zu mathematischen Vorkursen	111
Anhang E	Quellenverzeichnis	113

Einleitung

Den wenigsten wird klar sein, welche dramatischen Randbedingungen die Lehramtsausbildung heute einschränken. Der zeitliche Rahmen, der in der Lehramtsausbildung für das Fachstudium Physik zur Verfügung steht, ist aufgrund der bildungspolitischen Vorgaben heute außerordentlich eingeengt – viel stärker als gemeinhin wahrgenommen. Deshalb müssen wir gleich zu Beginn, noch bevor wir uns Gedanken um die inhaltliche Gestaltung des Studiums machen können, in **Kapitel 2** eingehend analysieren, wie viel – oder besser wie wenig – Zeit den Lehrenden und Lernenden tatsächlich zur Verfügung steht.

Es gilt, diesen vorgehenden Rahmen mit *konkreten und wirklich studierbaren Inhalten* für eine moderne, professionelle Lehramtsausbildung in Physik konsistent auszufüllen. Die künftigen Lehrer sollen natürlich Physik so gut wie möglich „können“: Sie sollen während ihres Studiums das für einen zeitgemäßen Physikunterricht in der Schule unverzichtbare Grundwissen in klassischer und moderner Physik erlernen. Zugleich müssen ihnen die für physikalisches Arbeiten, Erkennen und Können notwendigen Fähigkeiten, in der Bildungspolitik Kompetenzen genannt, so vermittelt werden, dass sie diese in angemessener Weise später auch ihren Schülern nahebringen können. Besonders aber sollen die künftigen Lehrkräfte im Schulfach Physik während ihres Studiums Begeisterung für Physik entwickeln; nur dann können sie diese Begeisterung auch bei ihren Schülern und Schülerinnen wecken. Anhand konkreter Beispiele sollten sie im Fachstudium erfahren, dass physikalisches Wissen, Denken und Können eine wesentliche Grundlage für das Verständnis der Welt und unserer natürlichen und technischen Umwelt darstellt – und zugleich eine entscheidende Grundvoraussetzung für die fruchtbare weitere Entwicklung der modernen Industriegesellschaft ist. Schließlich sollten die Physiklehrer Sicherheit bei der selbständigen Weiterentwicklung ihres fachlichen Wissens und Könnens erwerben.

Neben dem Fachwissen müssen die Studierenden auch „Professionswissen“ für den Lehrerberuf erwerben, also u.a. die Fähigkeit, komplexe fachliche Inhalte schülergerecht aufzubereiten, sie überschaubar und begreifbar zu machen (man spricht von Didaktischer Reduktion) und sie ansprechend aber dabei doch fachlich korrekt zu vermitteln – und, heute wichtiger denn je, die dafür erforderliche Lernumgebung zu gestalten, das Interesse der Schüler zu wecken und deren unverzichtbare Aufmerksamkeit zu erreichen und zu erhalten.

Ausgangspunkt und Grundlage dieser Empfehlungen für die Lehramts(LA)-Ausbildung im Studienfach Physik ist die DPG-Studie aus dem Jahr 2006 [**Großmann, et al. (2006)**], die inzwischen vielfach als zukunftsweisendes Konzept angesehen wird. Die Thesen und Empfehlungen dieser Studie, insbesondere das Konzept eines Lehramtsstudiums *sui generis*, werden in dieser Anschlussstudie bezüglich der konkreten Inhalte weiterentwickelt.

Für die Ausgestaltung des LA-Studiums sind die Fachbereiche bzw. Fakultäten und die mit der Lehramts-Ausbildung betrauten Hochschullehrer verantwortlich. Ihnen soll das hier vorgestellte Curriculum mit seinen detaillierten Inhalts- und Zeitangaben eine Art Machbarkeitsstudie bieten. Ein insgesamt abgerundetes, modernes Studium ist nur bei äußerster Disziplin der Lehrenden (und Lernenden) möglich. Zwar wird sich die konkrete Ausgestaltung der Studienpläne naturgemäß an den Potentialen und fachlichen Schwerpunkten der jeweiligen Hochschule und ihrer Hochschullehrer orientieren. Der hier beispielhaft vorgestellte Studienablauf dokumentiert jedoch, dass es im Rahmen des aktuellen Zeitbudgets für die Lehramtsstudiengänge nur sehr wenig Spielraum für besondere Vorlieben oder Schwächen einzelner Lehrender gibt – und dass vielmehr eine präzise Zeiteinteilung im Einzelnen und eine detaillierte Abstimmung im Rahmen eines verbindlichen Gesamtkonzepts fast zwingend erforderlich sind.

Im Rahmen eines 10-semesterigen Studiums beträgt der Studienumfang für jedes Fach, so auch für die Physik (einschließlich der Physikdidaktik), höchstens 120 Leistungspunkte. Daher ist es unter

den heutigen bildungspolitischen Vorgaben nicht möglich, zur Sicherung einer angemessenen fachlichen Qualität zuerst ein „normales“ Bachelorstudium mit üblicherweise 180 Leistungspunkten zu absolvieren, dem sich ein LA-spezifisches Master-Studium anschließt. In keinem der zwei geforderten LA-Studienfächer steht die Ausbildungszeit für einen Bachelor-Abschluss im Fach zur Verfügung. Zwar enthalten die 180 LP auch Nebenfachleistungen, aber diese sind genau und passend für die Physikausbildung vorgeschrieben, insbesondere Mathematik, während die LA-Studierenden oftmals völlige Wahlfreiheit für ihr Zweitfach haben und diese auch häufig nutzen.

Wir beginnen in **Kapitel 1** mit einigen allgemeinen Gedanken zum Bildungswert und -charakter der Physik, gewissermaßen als Argumentationshilfe in der gegenwärtigen öffentlichen Bildungsdebatte. In **Kapitel 2** werden die vorgegebenen Rahmenbedingungen mit ihren starken Einschränkungen wie aber auch herausfordernden Möglichkeiten dargestellt. **Kapitel 3** enthält unsere Gesichtspunkte und Anforderungen zur Gestaltung eines LA-Studiums *sui generis*. Eine Gesamtübersicht über die fachphysikalischen Inhalte des LA-Physikstudiums wird in **Kapitel 4** entwickelt, und zwar großskalig in **4.1**, während in **4.2** Anregungen zu Lehrformen und Inhalten der Module gegeben werden. In **4.3** wird dies auch graphisch und tabellarisch zusammengestellt. Die hier gegebenen Empfehlungen, insbesondere die angegebenen Zeitabschätzungen für die einzelnen Teilthemen sollen Anhaltspunkte für das als machbar Eingeschätzte sein, ohne als Vorgaben gelten zu wollen. **Kapitel 5** enthält Anmerkungen zum LA-Studium Physik für die Sekundarstufe I. **Kapitel 6** ist den fachdidaktischen, bildungswissenschaftlichen und schulpraktischen Aspekten der LA-Ausbildung gewidmet, wobei in **6.1**, wiederum als realisierbares Beispiel, die fachdidaktische Ausbildung vorgestellt wird; in **6.2** wird sie der fachphysikalischen zeitlich gegenüber gestellt. **Kapitel 6.3** und **6.4** geben Hinweise zu den bildungswissenschaftlichen Anteilen des LA-Studiums und zu den während des Studiums zu absolvierenden Praktikumsphasen. **Kapitel 7** enthält die Schlussbemerkungen.

Anhang A und **Anhang B** machen ausführliche Konkretisierungsvorschläge für die fachlichen bzw. fachdidaktischen Inhalte der LA-Ausbildung. **A.1** bietet eine Fülle von Anregungen zum kontextorientierten Lehren und Lernen im Fach Physik („Leitthemen“ aus der Erfahrungswelt für die Vermittlung wichtigen physikalischen Grundwissens), in **A.2** wird beispielhaft gezeigt, wie die in **Kapitel 4** skizzierten fachphysikalischen Inhalte des LA-Studiums in der tatsächlich zur Verfügung stehenden Zeit darstellbar sind. Mit einer detaillierten Stundentafel für die wichtigsten Lehrveranstaltungen wird ein praktisch realisierbarer Vorschlag für ein komplettes Lehramts-Fachcurriculum in Physik gemacht. In **Anhang B** werden die Studienelemente (SE) für die in **Kapitel 6** vorgeschlagenen Module der physikalischen Fachdidaktik detailliert beschrieben.

Anhang C formuliert Fähigkeiten und Kenntnisse, über welche die Absolventen nach dem Abschluss eines Lehramtsstudiums idealerweise verfügen sollten.

Anhang D bietet eine Materialsammlung, in der auszugsweise wichtige Dokumente zur Bildungspolitik und zum Studium zitiert werden. **D.1** skizziert die Ländervielfalt, **D.2** spiegelt die universitäre Vielfalt der LA-Ausbildung wider. **D.3** gibt einen Auszug aus den Bildungsstandards der KMK (2004a), in **D.4** findet man einen Auszug aus den Vorgaben der KMK (2008) für die Inhalte von Fachwissenschaft und Fachdidaktik, und **D.5** summiert die Empfehlungen der Konferenz der Fachbereiche Physik [KFP (2011)] zum Umgang mit den Mathematikkenntnissen von Studienanfängern der Physik. In **Anhang E** sind die hier zitierten Quellen zusammengestellt.

Noch ein Wort zur grundsätzlichen Einordnung der hier vorgetragenen „Empfehlungen“: Es wird den Universitäten unterschiedlich leicht oder schwer fallen, ein eigenständiges Studium für die Lehramtsausbildung zu realisieren. Deshalb wird dieses Ziel vielleicht nur allmählich erreichbar sein. Wie unsere Umfrage bei den Fachbereichen ergeben hat, ist es teilweise bereits heute verwirklicht, und sei es näherungsweise. Manchmal aber ist der Personalmangel schwer zu überwin-

den, manchmal ist die Zahl der Studierenden für das Lehramt in Physik zu gering, um spezifische lehramtsorientierte Lehrveranstaltungen anbieten zu können. Wo immer aber das Ideal eines Studiums *sui generis* oder auch nur erste Schritte dazu in guter Qualität machbar sind, sollte dieses realisiert werden.

Es gibt auch Zwischenstufen zwischen dem Ideal und dem traditionellen „Mitlaufen“ der LA-Studierenden mit den Studierenden des Physik-Fachstudiums. Man kann spezielle Übungen (oder wenigstens spezielle Übungsaufgaben) für die LA-Studierenden veranstalten, spezielle Praktikumsversuche (oder wenigstens ihre spezielle Durchführung), eigene, themenspezifische Projektseminare einrichten, spezielle Vorlesungen in einigen ausgewählten Modulen anbieten und Anderes. Auch sollte geprüft werden, ob nicht gerade in der Eingangsphase des Studiums Lehrveranstaltungen, die sich nicht speziell an künftige Physiker richten, für die Lehramtsausbildung optimiert werden können, beispielsweise gemeinsame Angebote mit denen für Naturwissenschaftler oder Ingenieure. Wichtig ist ferner (inzwischen meist schon realisiert) die Benennung eines oder zweier Lehrender, die für die LA-Ausbildung verantwortlich sind und sich auch verantwortlich fühlen.

Das Studium *sui generis* zur Lehramtsausbildung findet heute bereits seinen Widerhall in der gesellschaftlichen Diskussion, etwa in den Thesen des nationalen MINT-Forums von 2013 [[Winter et al. \(2013\)](#)], aber auch in Regierungsäußerungen [s. z.B. [Merkel \(2013\)](#)]. Jeder Schritt zur Verbesserung der LA-Ausbildung ist für sich wertvoll. Und manche der im Folgenden vorgetragenen Ideen werden sich realisieren lassen, ohne die Fakultäten zu überfordern.

Glossar

BW	Bildungswissenschaften
ECTS	European Credit Point and Transfer System
EWS	Eigenverantwortlich gestaltete, nicht betreute Wochenarbeits-Stunde
EWS-i	Eigenverantwortlich gestaltete Wochenarbeits-Stunde in der LV-Zeit
EWS-a	Eigenverantwortlich gestaltete Wochenarbeits-Stunde außerhalb der LV-Zeit
FP	Fortgeschrittenenpraktikum
FD	Fachdidaktik (FD1 = Fachdidaktik in Fach 1, FD2 = Fachdidaktik in Fach 2)
G	Arbeit in Gruppen und Projektseminaren (siehe Kapitel 4.2)
GP	Grundpraktikum
KMK	Kultusministerkonferenz
LA	Lehramt
LP	Leistungspunkt nach ECTS
LV	Lehrveranstaltung
LV-h	Lehrveranstaltungsstunde, beträgt 45 Minuten
LV-Zeit	Lehrveranstaltungszeit: 14 Wochen pro Semester
nicht-LV-Zeit	Zeit außerhalb der LV-Zeit: 6 Wochen pro Semester
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik
P	Praktikum
SE	Studienelement
Std	Stunde, beträgt 60 Minuten
SWS	Semester-Wochen-Stunde von Lehrveranstaltungen (LV) = betreute wöchentliche Lernzeit während der LV-Zeit, beträgt 45 min pro Woche, wird aber wie 60 min Arbeitszeit pro Woche gerechnet
Ü	Übung
V	Vorlesung

Kapitel 1

Physik bildet: Vom Bildungswert und -charakter der Physik

Physik ist eine lebendige Wissenschaft. In ihrer modernen Form ist sie in vierhundert Jahren seit Kepler und Galilei aus dem Bestreben erwachsen, einheitliche Gesetzmäßigkeiten im Aufbau und in den Abläufen der Naturphänomene und der materiellen Welt zu erkennen, sie zu beschreiben und immer wieder zu überprüfen. Physik setzt den Mut voraus, „sich seines eigenen Verstandes zu bedienen“, und sie verheißt Erfolg, wenn das mit Anstrengung und Disziplin geschieht. Zur Anstrengung gehört das Beobachten, das Vermessen und Erklären, das Entwickeln treffender Begriffe, das Einüben der dafür benötigten Sprache, der experimentellen und theoretischen Methoden. Die Disziplin besteht darin, nicht frei „drauflos zu schwadronieren“, sondern die eigenen Vorstellungen der Kontrolle durch die Natur zu unterwerfen. Erfolg wird dann erlebt als Übereinstimmung – oder als Korrektur, die man zu akzeptieren und zu verarbeiten hat.

Physikalische Bildung⁴ besteht darin, mit diesem Prozess vertraut zu sein, ein Stück weit, und sei es auch nur klein und sehr begrenzt, an ihm teilzuhaben. Sie sensibilisiert für die Schönheit von Gesetzen einfacher Gestalt und großer Tragweite, wie etwa Einsteins $E = mc^2$ oder Plancks $E = h\nu$. Zugleich aber vermittelt sie ein Gespür für die Gefahren, die manche Früchte des Baums dieser Erkenntnisse in sich bergen. Wer könnte das besser beurteilen als die Physiker selbst! Bethe und Weizsäcker, die mit Hilfe der Energie-Masse-Äquivalenz $E = mc^2$ als erste verstanden, woher Sonne und Sterne die Energie für ihr Leuchten beziehen, gehörten zu den schärfsten Kritikern der Produktion von Waffen nach diesem Prinzip. In dieser Tradition ist es zu einer Selbstverständlichkeit geworden, dass physikalische Ausbildung stets auch das Nachdenken über mögliche Anwendungen und Risiken der gewonnenen Erkenntnisse einbezieht. Das soll auch in der Lehramtsausbildung in Physik geschehen.

Physikunterricht soll diesen lebendigen Geist der Aufklärung durch eigenes Tun vermitteln, in der Universität wie an Schulen. Physikunterricht ist keine Anhäufung von trockenem (trägen) Faktenwissen, ist nicht allein auf Inhalte fixiert. Er soll Neugier wecken, Wissensdurst und Taten-drang fördern, indem er Fragen anregt und Wege zu Antworten zeigt. Er soll auch lehren, mit physikalischem Wissen kreativ umzugehen, es zu beherrschen, Physik „zu können“. Dazu bedarf es des nötigen Spielraums und eines starken Selbstbewusstseins auf Seiten der Lehrenden, um Fragen nicht abwehren zu müssen, die aus dem Rahmen des Lehrplans fallen oder auf die er oder sie gerade nicht vorbereitet ist. In einem auch an Leitthemen orientierten Studium kann der Umgang mit solchen Situationen geübt werden.

Physik bildet auch dann, wenn man sie nicht in allen Gebieten und systematisch beherrscht, sondern sie exemplarisch in ihren wesentlichen Methoden, Begriffsbildungen, Ergebnissen und Anwendungen erfahren hat, an einigen Beispielen auch mit einer gewissen Tiefe. LA-Studierende sollen lernen, sich selbständig weitere Detailkenntnisse zu erarbeiten und damit ständig weiterzubilden. Bildung ist andauernde Weiterentwicklung.

Schon immer hatte guter Physikunterricht zum Ziel, dass Schüler im Ergebnis des Lernprozesses nicht bloß Fachkenntnisse rezipiert haben, sondern sie auch verstehen und vor allem anwenden und beurteilen können.

⁴ Der Bildungswert und Bildungscharakter der Physik wird in der Denkschrift der **DPG (2001)** überzeugend dargestellt, insbesondere in den Thesen 2 und 3 sowie im Kapitel 6 „Physik in Lehre und Ausbildung“.

Deshalb müssen LA-Studierende an der Hochschule in einem Studium *sui generis* erfahren, wie sie selbst Kompetenz erwerben, indem sie sich mit den Fachinhalten auf vielfältige Weise auseinandersetzen: durch Üben, Zweifeln, Prüfen, Wiederholen, Anwenden und immer wieder darüber Sprechen. Die Hochschulen haben die Aufgabe, das als einen Prozess der Persönlichkeitsbildung zu gestalten, Selbstbewusstsein und Selbständigkeit jedes einzelnen Studierenden zu fördern. Nur dann können sie erwarten, dass schulischer Unterricht der ausgebildeten Studierenden in ähnlicher Weise Kompetenz befördert und Begeisterung weckt.

Kapitel 2

Rahmenbedingungen für den physikalischen Anteil eines 10-semesterigen LA-Studiums

Soweit nicht anders erwähnt, geht es hier und in den folgenden Kapiteln um das LA-Studium für den Physikunterricht in allen gymnasialen Schulstufen (bzw. in Schulen mit Sekundarstufe I und II).

Im Folgenden wird der dafür bildungspolitisch vorgegebene Rahmen, insbesondere der Leistungspunkt- und Arbeitszeitrahmen, erläutert und nach Fächern spezifiziert. Sodann wird die sich daraus ergebende Arbeitsbelastung der Studierenden abgeleitet.

2.1 Leistungsanforderungen

Die universitären Studiengänge sind heute in erheblichem, teils dramatischem Maße durch Vorgabe zahlreicher Rahmenbedingungen der Bildungspolitik bezüglich der Leistungsanforderungen vorgeformt. Wichtige Dokumente der Kultusministerkonferenz hierzu sind in [Anhang E](#) aufgeführt [[KMK \(1997\)](#), [KMK \(2008\)](#)⁵ und [KMK \(2003\)](#)⁶]. Die Hochschulen oder gar die Hochschullehrer können sie insoweit nicht mehr frei gestalten. Das gilt besonders für die Lehramtsstudiengänge. Vor allem in ihren zeitlichen Einschränkungen erweisen sich die Rahmenvorgaben als ernüchternd eng, ja restriktiv in ihren Auswirkungen. Dennoch gibt es viele Gestaltungsmöglichkeiten innerhalb des vorgegebenen Rahmens. Mit diesen werden sich die folgenden Kapitel beschäftigen, nachdem zunächst die stringenten zeitlichen Vorgaben für das LA-Studium geklärt sind.

2.1.1 Leistungspunkte

Ein volles Lehramtsstudium (LA-Studium) verlangt in den meisten Bundesländern Studienleistungen im Umfang von 300 Leistungspunkten, die in 10 Studiensemestern zu erarbeiten sind. In jedem Semester können die Studierenden also 30 Leistungspunkte erwerben. Der Terminus „Leistungspunkte“ bezieht sich auf das *European Credit Point and Transfer System* ECTS und wird im Folgenden abgekürzt als LP. Andere gebräuchliche Abkürzungen, die dasselbe bedeuten, sind SP = Studienpunkte, CP = Credit Points oder auch ECTS-Punkte.

Nach den bildungspolitischen Vorgaben sind in einem vollen Lehramtsstudium zwei Fächer und deren jeweilige Didaktik sowie einschlägige Lehrangebote der Bildungswissenschaften (manchmal auch als „Erziehungswissenschaften“ bezeichnet) zu studieren. Die Bundesländer füllen diesen Studienrahmen teilweise sehr unterschiedlich aus. Selbst der Leistungsumfang von 300 LP ist nicht einheitlich. Wie groß die Vielfalt dieser Vorgaben ist, wird aus [KMK \(2013\)](#) „Sachstand in der Lehrerbildung“ deutlich (auszugsweise in [Anhang D.1](#) zitiert).

Innerhalb der Bundesländer gibt es zudem mehr oder weniger große Variationen von Universität zu Universität, wie der „Monitor Lehrerbildung“ [[CHE \(2013\)](#)] ermittelt hat (auszugsweise in [Anhang D.2](#) zusammengefasst) [siehe hierzu auch [Bauer et al. \(2012\)](#)].

⁵ s. insbes. Abschn. 2 zu den fachbezogenen Kompetenzen und Abschn. 14, S. 40–41, zum Fachprofil Physik.

⁶ s. insbes. B2: Besondere Regelungen für Studiengänge, mit denen die Voraussetzungen für ein Lehramt vermittelt werden, sowie die Anlage „Rahmenvorgaben für die Einführung von Leistungspunktsystemen und die Modularisierung von Studiengängen“.

Im Überblick stellen wir bei einem Lehramtsstudium von 10 Semestern etwa folgende Bandbreiten für die erforderlichen Leistungs-Punkte fest:

Studium insgesamt: 300 LP

- 1. Fach (einschließlich seiner Didaktik) 100-120 LP
- 2. Fach (einschließlich seiner Didaktik) 100-120 LP
- Bildungswissenschaften 30-50 LP
- Schulpraktika 20-30 LP
- Abschlussarbeiten 20-40 LP

Die unteren Grenzen sind jeweils als Mindeststandards anzusehen, in der Summe werden aber 300 LP nicht überschritten.

In mehreren Bundesländern werden derzeit erhebliche Änderungen der staatlichen Vorgaben für das Lehramtsstudium geplant. Dabei geht es zum einen um die Einführung eines *Praxissemesters*, typischerweise im Masterstudiengang, in welchem die Studierenden überwiegend in der Schule tätig sein werden (s. dazu auch Kapitel 6.4.). Zum anderen sollen künftig *Inklusion* und *Sprach-Bildung* für entsprechend bedürftige Schüler von den regulären Fachlehrkräften zusätzlich zu leisten sein; darauf müssten diese während des Hochschulstudiums vorbereitet werden.

Aus fachwissenschaftlicher Sicht muss nachdrücklich darauf hingewiesen werden, dass neue Inhalte nicht zu Lasten der Fachausbildung hinzukommen dürfen. Wie nachfolgend deutlich werden wird, sind bereits jetzt die vorgesehenen Leistungspunkte (LP) für die Ausbildung in den beiden Studienfächern so knapp bemessen, dass bei einer weiteren Reduktion die erforderliche Qualität der Lehramtsausbildung nicht mehr zu gewährleisten wäre.

Wir wollen im Folgenden einen „mittleren“ Musterplan für den fachlichen und fachdidaktischen Teil einer Ausbildung zum Physiklehramt als studierbares Beispiel formulieren, der auf dem Ist-Zustand der Ländervorgaben gründet. Er soll Anregung und Hilfestellung sein bei der Ausarbeitung der Curricula der Fachbereiche auf Grund ihrer jeweiligen Landesvorgaben. Dies sollte unter Beachtung der zahlreichen Gesichtspunkte geschehen, die dem hier erarbeiteten Musterplan zugrunde liegen.

Wir betrachten ein LA-Studium mit Physik als einem der beiden zu wählenden Fächer. Dabei unterscheiden wir *nicht* zwischen Physik als Erst- oder Zweitfach. Im späteren Berufsfeld Schule wird zwischen erstem und zweitem Fach einer Lehrkraft ebenfalls *nicht* unterschieden. Auch in den meisten Rahmenplänen der Länder wird Physik als eines von zwei gleichberechtigten Studienfächern behandelt. Erkennbare Unterschiede beziehen sich meist nur auf die Zuordnung von Bachelor-, Master- und sonstigen Abschlussarbeiten. Planungen und Trends zu Änderungen sind allerdings nicht zu übersehen.

Wir appellieren dringend an die verantwortlichen Planer, auch im Zuge bevorstehender Änderungen in der LA-Ausbildung nicht von der bewährten Gleichgewichtigkeit von Erst- und Zweitfach Physik abzuweichen. Für eine inhaltliche Differenzierung gibt es keinerlei fachliche Legitimation.

Von den 300 LP für das gesamte LA-Studium sind etwa 20 LP für die Abschlussarbeiten (Bachelor- und Masterarbeit bzw. Staatsexamensarbeit) und eventuelle Begleitveranstaltungen zu reservieren, unabhängig davon, in welchem der beiden gleichberechtigten Fächer die Abschlussarbeiten angefertigt werden. Zwar zeigt der „Monitor Lehrerbildung“, dass die Universitäten im Mittel 30 LP für die Abschlussarbeiten vorsehen (s. D.2). Wir schlagen aber vor, dass in diesem Fall 10 LP auf die Leistungen angerechnet werden, welche in den Fächern oder Fachdidaktiken zu

erbringen sind, in denen die Arbeiten erstellt werden. Man lernt ja durch eigenes Arbeiten in einem Themenbereich immer noch am meisten.

Als mittleren Wert aus der Vielfalt von Vorgaben für den Umfang des bildungswissenschaftlichen (BW) Anteils eines LA-Studiums setzen wir 40 LP an, wobei darin etwa 10 LP für die Begleitung von Schulpraktika enthalten sind (siehe auch Kapitel 6.4). Folglich betragen die Studienleistungen für das Studium der beiden Fächer jeweils 120 LP – einschließlich ihrer jeweiligen Didaktiken.

Auch der Studienanteil der Fachdidaktiken wird in den Bundesländern sehr unterschiedlich vorgegeben. Nach den Angaben in Anhang D.1 sehen wir in dem hier zu entwickelnden Musterplan 30 LP als konsensfähigen Wert für jede Fachdidaktik vor. Jedenfalls sollten es nicht weniger als 20 LP sein. Darin sind in der Regel die Schulpraktika berücksichtigt, deren Umfang in dem KMK-Dokument in D.1 nicht deutlich wird, wohl aber in der Monitor-Erhebung von D.2. In Kapitel 6 wird dies näher erläutert.

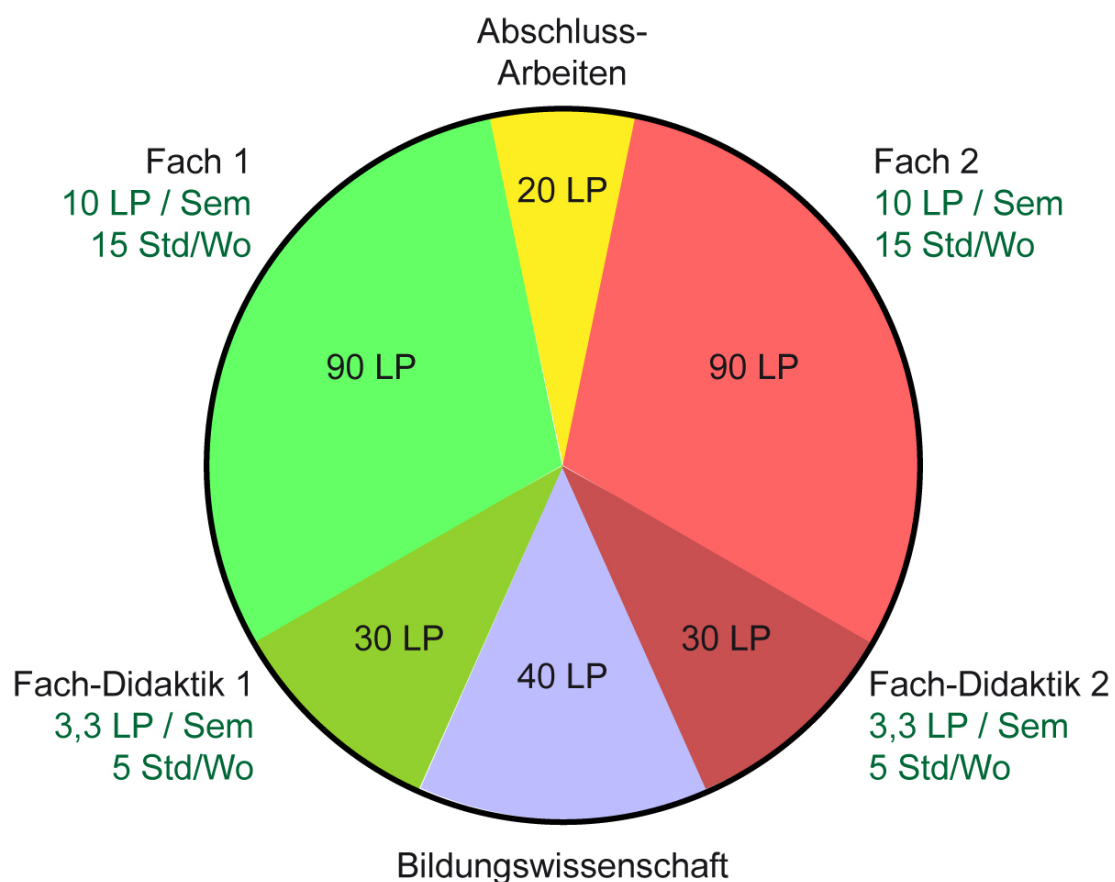


Abbildung 2: Verteilung der 300 Leistungspunkte eines LA-Studiums auf die beiden Fächer, die beiden Fachdidaktiken, die Bildungswissenschaft und die Abschlussarbeiten. Für Fächer und ihre Didaktiken sind außerdem die wöchentlichen Arbeitsstunden angegeben, deren Ermittlung in Abschnitt 2.1.2 besprochen wird. Die in den Lehrveranstaltungen zu erbringenden LP werden dabei auf 9 Semester umgelegt. Die Schulpraktika sind in den LP der Fachdidaktiken und der Bildungswissenschaft berücksichtigt.

Somit müssen die Fachkenntnisse in jedem der beiden gewählten Studienfächer durch Lehrveranstaltungen und die damit verbundenen nicht betreuten Studienleistungen im Umfang von 90 LP erworben werden. Diese Zahl kommt auch dem mittleren Wert aus der sehr großen Vorgabenvielfalt der Bundesländer sehr nahe, wie in Anhang D.1 zusammengestellt. In Abbildung 2 ist diese Gesamtaufteilung der Leistungspunkte graphisch dargestellt. Der Rahmen für den fachlichen An-

teil jedes Lehramtsstudienfachs ist also erheblich enger als der Studienumfang in den jeweiligen fachwissenschaftlichen Studiengängen selbst.

Wir halten diese 90 LP für den Erwerb der fachlichen Fähigkeiten in Physik für unbedingt notwendig. Weitere Kürzung würde dieses Ziel ernsthaft gefährden.

Die fachphysikalischen Studienleistungen im Lehramtsstudiengang von 90 LP entsprechen also nur 30% der insgesamt zu erbringenden Studienleistungen von 300 LP. Sie sind in einer Zeit von 10 Semestern zu erbringen. Wir schlagen aber vor, diese auf 9 Semester zu konzentrieren, um auf die Abschlussarbeiten im 6. und 10. Semester Rücksicht zu nehmen, in denen weniger Platz für „normale“ Lehre ist. Auf jedes dieser 9 Semester entfallen daher im Mittel 10 LP. Teilt man die 30 LP, welche für die Fachdidaktik Physik zur Verfügung stehen (einschließlich dem zugeordneten Anteil Schulpraktikum) in gleicher Weise auf, so ergeben sich dafür im Mittel während 8 Semestern je 3 LP, in einem Semester 6 LP (typischerweise das Schulpraktikum), also im Mittel über 9 Semester $3\frac{1}{3}$ LP.

2.1.2 Arbeitszeiten

Die Studienorganisation muss die Belastbarkeit der Studierenden beachten, auch um dadurch die hohe Zahl der Studienabbrüche verringern zu helfen.

Jedes Semester besteht aus der Zeit, in der die Lehrveranstaltungen stattfinden, der „LV-Zeit“, und aus der lehrveranstaltungsfreien Zeit, im Folgenden „nicht-LV-Zeit“ genannt. Letztere nennt man fälschlicherweise oft „Semesterferien“, was sie keineswegs ist. Die Dauer der LV-Zeit ist je nach Lage der Feiertage, vor allem aber je nach Bundesland und je nach Hochschule unterschiedlich. Wir rechnen im Folgenden mit einer mittleren Dauer der LV-Zeit von 14 Wochen pro Semester, einheitlich für das Winter- wie für das Sommersemester.

Eine Semesterwochenstunde (SWS) entspricht also, auf das Semester hochgerechnet, 14 Arbeitsstunden (Std). Die Lehrveranstaltungen sind für die Studierenden betreute Arbeitszeit bzw. Arbeitszeit, in der sie präsent sein müssen; wir nennen sie deshalb Präsenzarbeitszeit. Daneben gibt es individuelle, selbst geregelte Arbeitszeit, im Folgenden als nicht betreute Arbeitszeit bezeichnet.

Die *nicht betreuten, in eigener Verantwortung gestalteten Wochenarbeitsstunden* (EWS) bilden aber keineswegs ein unerschöpflich großes Zeitreservoir, das etwa für umfangreiche Übungsaufgaben nutzbar wäre!

Denn die betreute wöchentliche Lernzeit SWS darf zusammen mit den EWS-i (der Label i kennzeichnet die EWS in der LV-Zeit) nicht größer sein als die für den Erwerb der jeweiligen Leistungspunkte bildungspolitisch vorgegebene Arbeitszeit! Das gilt selbstverständlich auch für die EWS-a, also die nicht betreute Arbeitszeit außerhalb der 14 LV-Wochen.

Nun wird die Studienarbeitszeit aber nicht auf alle 52 Wochen eines Kalenderjahres verteilt; vielmehr ist eine Ferien- bzw. Urlaubszeit abzuziehen. ECTS bzw. KMK lassen dabei einen Spielraum. Die zulässige Spanne liegt zwischen etwa 6 Wochen Studienferien pro Jahr, der typischen Urlaubszeit eines Arbeitnehmers von 30 Arbeitstagen, als kürzere Variante und etwa 12 Wochen als längere.

Wir empfehlen, als nicht verplante (*Ferien-*)Zeit pro Jahr 12 Wochen (*inklusive* tatsächlicher Urlaubszeit) vorzusehen. Dadurch wird den Studierenden einer der wenigen verbleibenden Freiräume zur individuellen Entwicklung und Entfaltung während des Studiums eingeräumt.

Rahmenbedingungen für den physikalischen Anteil eines 10-semestrigen LA-Studiums

Die Hochschulen sollten diesen Freiraum unbedingt respektieren! – Es verbleiben also 40 Arbeitswochen im Jahr für organisiertes, durch und durch geregeltes Studium.

Bei der empfohlenen arbeitsfreien Zeit von 12 Wochen und damit 40 Arbeitswochen pro Jahr hat jedes Semester 20 Arbeitswochen und nicht etwa $52:2=26$! In diesen 20 Wochen sind die geforderten 900 Std Studienarbeit für den Erwerb der 30 LP pro Semester zu erbringen. Davon umfasst die LV-Zeit 14 Wochen. 6 Wochen jedes Semesters sind nicht-LV-Zeit.

Somit beträgt die wöchentliche Arbeitszeit in jeder der 20 Arbeitswochen eines Semesters 45 Std/Woche. Bei angenommenen 5 Arbeitstagen pro Woche haben die Studierenden 9 Std organisierte Studienarbeit pro Arbeitstag zu leisten. Das gilt durchgehend in der LV-Zeit wie auch in der nicht-LV-Zeit.⁷ **Tabelle 1** fasst die Ermittlung der pro Semester verfügbaren Arbeitszeiten zusammen.

Tabelle 1: Studien-Arbeitszeiten mit 45 Std/Woche während der 20 Arbeitswochen pro Semester, sowie 6 Wochen nicht organisierte Arbeit („Ferien“) pro Semester.

Zeitraum	Wochen W	Verfügbare Arbeitszeit in Std			davon für Physik Std $\times$ 90/300 in Std	
		pro Woche		im Semester $45 \times W$	pro Woche	im Semester $13,5 \times W$
Lehrveranstaltungszeit (LV)	14	SWS + EWS-i	45	630	13,5	189
nicht LV-Zeit	6	EWS-a	45	270	13,5	81
Ferienzeit	6					
Semester insgesamt	26			900		270

Die benötigten Arbeitszeiten ergeben sich aus den offiziellen Vorgaben von European Credit and Transfer System ECTS und Kultusministerkonferenz KMK:

Für den Erwerb eines Leistungspunkts (LP), ist eine Arbeitszeit („Workload“) von 30 Zeit-Stunden (Std) à 60 min zu erbringen. Wir sprechen im Folgenden von „Studienarbeitszeit“.

Ein volles, 10-semestriges LA-Studium mit 300 LP verlangt von den Studierenden 9000 Std Studienarbeitszeit; pro Semester sind es also 900 Std oder 45 Stunden pro Arbeitswoche. Das entspricht nach **Tabelle 1** nun in der Tat gerade der eben ermittelten, tatsächlich verfügbaren Arbeitszeit der Studierenden.

Für den Erwerb der 30 LP pro Semester sind 45 Std pro Woche Studienarbeit zu leisten. Daher muss man für den Erwerb von 1 LP regelmäßig 1,5 Std pro Woche arbeiten – in jeder der 20 pro Semester verfügbaren Arbeitswochen.

⁷ Im Falle der Alternative mit kürzerer Ferienzeit stünden etwa 46 Wochen pro Jahr für die Studienarbeit zur Verfügung. Das entspräche dann 900 Std in 23 Wochen im Semester, also etwa 40 Stunden pro Woche mit je 8 Std/Tag. Die Wochenarbeitszeit ist hier geringer. Weil nun aber in beiden Varianten die LV-Zeit von 14 Wochen pro Semester gleich lang ist, steht in letzterem Falle weniger Zeit (8 statt 9 Std/Tag) für die Lehre zur Verfügung. Der in LV vermittelbare Stoff ist daher geringer! Die Verteilung auf mehr Arbeitswochen im Jahr, d. h. kürzere Ferienzeit, hat also zwei Effekte: Das Studium hat a) längere Perioden der nicht betreuten Arbeit bei gleichbleibend langer LV-Zeit und b) weniger in Lehrveranstaltungen zu vermittelnde Inhalte! - Wir verfolgen ab jetzt nur die erstgenannte Variante, also 9 Std tägliche Arbeitszeit mit einer 45 stündigen Arbeitswoche, während 20 Wochen je Semester, davon 14 Wochen Lehrveranstaltungszeit.

Diese wichtige Relation, 1 LP entspricht 1,5 Std Arbeitszeit pro Woche, wird uns noch oft begegnen. Sie tritt an Stelle der gebräuchlichen Regel, dass 3 LP etwa 2 SWS entsprechen. Wir werden im Folgenden unterschiedliche SWS-Zahlen pro Leistungspunkt vorsehen, je nach Art der Lehrveranstaltung (Vorlesung, Übung, Praktikum sowie Gruppenarbeit bzw. Projektseminar).⁸ Dabei muss jedoch SWS + EWS-i stets genau gleich 1,5 mal der vorgesehenen LP-Zahl sein. Bei vorgegebener Zahl von LP für eine Lehrveranstaltung bedeuten mehr SWS bessere Präsenzarbeit (also Betreuung) bei zugleich weniger nicht betreuter Arbeitszeit!

Ein typisches Beispiel ist eine LV mit 6 LP; für diese sind nach obiger Regel 1,5 mal 6 gleich 9 Std Studienarbeit pro Woche zu erbringen. Das kann in 4 SWS V plus 2 SWS Ü plus 3 EWS-i erfolgen oder auch in 4 SWS V plus 3 SWS Ü plus nur noch 2 EWS-i.

Die Fachbereiche sollten sich bewusst sein, dass täglich 9 Std anspruchsvolles Neues zu lernen, es zu verstehen, geistig zu verarbeiten und sich als Verfügungsschatz einzuprägen eine beträchtliche Leistung abverlangt. Natürlich wird es Studierende geben, deren Begabung und Auffassungsgabe mehr zulässt, manchmal viel mehr. Es gibt aber auch andere, wohl in der Mehrzahl, deren Belastbarkeit dadurch ausgeschöpft ist. Vom Bildungsgedanken einer individuellen Förderung je nach Leistungsfähigkeit, wie er für den Schulunterricht mehr und mehr gefordert wird, sind die Hochschulen heute leider noch weit entfernt (wie ehrlicherweise meist auch die Schulen). Die folgenden Empfehlungen gelten für „Normal“-Studierende.

Für die Fachausbildung in Physik stehen nun nicht etwa alle 45 Std Arbeitszeit pro Woche zur Verfügung! Wenn die 90 LP unter Berücksichtigung der für die Abschlussarbeiten benötigten Zeit auf 9 Semester umgelegt werden, sind es pro Semester nur 10 LP. Die physikalische Fachausbildung für das LA muss somit in 15 Std pro Woche erfolgen, innerhalb wie außerhalb der LV-Zeit! Wir betonen, dass dies nur etwa 1 + 2/3 Arbeitstage in der Woche sind.

In der anderen Arbeitszeit sind die Studierenden anders, aber ebenso intensiv beschäftigt! Sie studieren nämlich noch die Fachdidaktik Physik (auf die in der Regel also eine Arbeitszeit von 5 Std pro Wochen entfällt) sowie das andere Fach, dessen Fachdidaktik und schließlich Bildungswissenschaft (BW). In **Abbildung 2** auf S. 13 wurden die entsprechenden Anteile der wöchentlichen Arbeitszeiten bereits graphisch illustriert.

Noch einmal: In diesen wöchentlich 15 Arbeitsstunden für die Fachausbildung in Physik sind *sowohl* die SWS der Lehrveranstaltungen *als auch* die benötigten nicht betreuten Wochenarbeitsstunden EWS-i enthalten! Die Fachbereiche müssen diesen erstaunlich engen Zeitrahmen für die Fachphysikausbildung respektieren! Der frühere Ausweg der Studierenden bei zu starker Belastung, nämlich die Verlängerung der Studienzeit, ist ihnen heute kaum noch möglich! – Das bedeutet z. B., dass Übungszettel, deren Bearbeitung ganze Nachmittage oder gar Tage in Anspruch nimmt, im Lichte der wöchentlichen 15 Arbeitsstunden in Fachphysik insgesamt nicht sinnvoll, ja ausgeschlossen sind!

Während der (pro Semester) 6-wöchigen nicht-LV-Zeit ist die Wochenarbeitszeit individuelle, nicht betreute Arbeitszeit im Umfang von 15 Std, EWS-a. Innerhalb der LV-Zeit werden die zur Verfügung stehenden 15 Std Wochenarbeitszeit für die Fachphysik größtenteils für deren LV benötigt. Für Übungsaufgaben, für Nacharbeit oder – gewünschte – Vorbereitung bleibt nicht viel übrig. Ein Beispiel mache klar, wie wenig das ist: Eine Vorlesung von 4 SWS plus 2 SWS Übungen und einem Hausaufgabenumfang inklusive Vor- und Nacharbeit von 4 Std lässt für weitere fachphysikalische Lehre gerade mal noch 5 Std pro Woche übrig. Das ist erkennbar zu wenig für

⁸ zur Begriffsbestimmung siehe Kapitel 4.2

eine weitere LV! Diese Einsicht impliziert, dass die Fachbereiche auf keinen Fall Curricula mit 3 Lehrveranstaltungen in einem Semester vorsehen dürfen. Wenn es auch aus fachsystematischen Gründen sinnvoll und erwünscht sein mag, so ist es doch für die Studierenden einfach nicht leistbar. Lernen unter starker Überlastung hat wenig bleibenden Effekt, ist also kein nachhaltiges Lernen.

Der uns bekannte Lehralltag an den Universitäten spiegelt all diese Ergebnisse zum studentischen Zeitbudget durchaus und deutlich wider. Den Lehrenden erscheint es zwar oft so, als ob die Studierenden nicht genug für ihr Fach lernen würden; sie bemängeln zu geringe Aktivität. Die dargelegten Zahlen belegen aber: Sie haben schlicht nicht mehr Zeit! Jedenfalls nicht die oder der „Norm-Studierende“. Begabtere oder besonders engagierte Studierende leisten mehr; es gab und gibt sie und sie werden zu unserer großen Freude immer wieder in unsere Fachbereiche kommen. Sie können und sollen mehr gefördert werden. Die anderen Studierenden werden ihre Leistungsfähigkeit kaum steigern können. Auf sie soll das Lehrangebot und sollen die Leistungsanforderungen ausgerichtet sein. Die dann immer noch überforderten Studierenden werden abbrechen.

In diesem Kontext sei darauf hingewiesen, dass es auch in den Schulen Lehrkräfte gibt, die ihre Schüler überfordern. Sie sorgen für Leid und Abkehr der Kinder vom Schulfach Physik. Der Gedanke liegt nahe, dass solche Lehrkräfte ihre Haltung von überfordernden Hochschulen mitgebracht haben könnten.

2.1.3 Mittlere Studienwochenzeit-Verteilung

Mit dem eben vorgestellten Arbeitsbudget disponieren die Fachphysik und die Fachdidaktik Physik zusammen allerdings bereits über $13\frac{1}{3}$ LP während 9 Semestern, d.h. über 20 Std von verfügbaren 45 Wochenstunden. Wenn das zweite Fach die gleiche Einteilung wählt, so disponieren beide Fächer, zusammen mit ihren Fachdidaktiken, im Mittel über 9 Semester bereits über $26\frac{2}{3}$ LP der insgesamt empfohlenen 30 LP pro Semester. Für die Bildungswissenschaften würden dann im Mittel nur $3\frac{1}{3}$ LP für jedes der 9 Semester verbleiben, also insgesamt 30 LP, während 40 LP vorgesehen sind. Man muss also die Arbeitsbelastung disziplin- und semesterübergreifend ausgleichen – insbesondere wenn noch eine geringere Belastung für die Examssemester entstehen soll.

Tabelle 2 macht hierfür einen Vorschlag und illustriert, dass dies durchaus sinnvoll realisierbar sein kann. Entsprechend unserem in Kapitel 6.4 ausgeführten Plädoyer für möglichst frühe schulpraktische Phasen ist ein solches Praktikum im 4. Semester vorgesehen, eine weitere Praxisphase in Verantwortung der Bildungswissenschaften für die Zeit zwischen 2. und 3. Semester. Die Lernbelastung in zwei Semestern mit Schulpraktikum wird dabei um 10% zu Gunsten der Examssemester angehoben – dies bewegt sich im Rahmen der allgemein akzeptierten Regeln, die auch in Akkreditierungsverfahren geprüft werden.

Die Schulpraktika werden derzeit vielerorts umstrukturiert. Teilweise werden ganze Praxissemester vorgesehen. **Tabelle 2** kann also nur eine Grobskizze für die Verteilung der Lernbelastung pro Semester sein.

In jedem Fall sollten die Fachbereiche einen solchen, verbindlich zwischen den beteiligten Disziplinen zu vereinbarenden Rahmen bei der Ausgestaltung ihrer Curricula einhalten, um die Studierbarkeit eines LA-Studiums sicher zu stellen. Wir empfehlen dabei, 10 Leistungspunkte für das Fach Physik (ohne Didaktik der Physik) pro Semester nicht als Mittelwert, sondern als oberste Schranke anzusehen. Schon dieser Wert führt, wie **Tabelle 2** dokumentiert, zu zeitweiligen Überlasten, die in den Examssemestern ausgeglichen werden.

Tabelle 2: Beispiel für eine mögliche Verteilung der Studienleistungen (LP) verteilt über 10 Semester auf die verschiedenen Disziplinen – die fachwissenschaftlichen Anteile sind außerhalb der Examenssemester konzentriert. Mögliche Schulpraktika (dunkler und fett markiert) werden den beiden Fachdidaktiken und der Bildungswissenschaft zugeordnet.

Sem	Physik LP	Didaktik Physik LP	Fach 2 LP	Didaktik Fach 2 LP	Bildungs- wissensch. LP	Abschluss- arbeiten LP	Summe LP
1	10	3	10	3	4		30
2	10	3	10	3	7		33
3	10	3	10	0	7		30
4	10	6	10	3	1		30
5	10	3	10	3	4		30
6	4	3	4	3	3	10	27
7	10	3	10	3	4		30
8	10	3	10	3	4		30
9	10	3	10	6	4		33
10	6	0	6	3	2	10	27
Summe	90	30	90	30	40	20	300

Sinnvolle Ausgleichsmöglichkeiten ergeben sich aber durch die (besonders wünschenswerte) Abstimmung zwischen Fachphysikern und Physikdidaktikern, die in gut kooperierenden Fakultäten bereits vielfach genutzt wird. Neben entsprechenden Verschiebungen zwischen diesen beiden Fächern, die im Laufe des Studiums ausgeglichen werden, kann man z.B. auch gemeinsam verantwortete Lehrveranstaltungen vorsehen, in der beide Disziplinen entsprechende LP einbringen. So kann einiges an Flexibilität aber auch an Effektivität gewonnen werden. Gemeinsame Obergrenze für die Physik Fachwissenschaft und die Physik Didaktik sind dann $13\frac{1}{3}$ LP pro Semester (s. auch Kapitel 6.2).

Wir weisen auf eine wichtige Konsequenz des Bestehens einer LP-Obergrenze pro Semester hin. Die Leistungsanforderung einer Lehrveranstaltung muss so beschaffen sein, dass sie entweder diese Grenze als *ein* Modul tatsächlich ausschöpft. Alternativ können auch zwei Lehrveranstaltungen mit je deutlich kleinerer LP-Zahl zusammen diese Obergrenze erreichen, beispielsweise 6 LP + 4 LP oder 5 LP + 5 LP o. ä. Offensichtlich ist es aber kaum möglich, drei oder gar noch mehr Lehrveranstaltungen in einem Semester vorzusehen; diese könnten dann nur noch mit zu wenigen Leistungspunkten ausgestattet werden. Konkret bedeutet das beispielsweise, dass die physikalische Grundvorlesung, die Begleitvorlesung Mathematische Methoden und außerdem noch ein Praktikum *nicht* in einem Semester durchführbar sind, selbst wenn es dafür gute sachliche Gründe gibt (es sei denn durch die eben skizzierte Abstimmung mit der Fachdidaktik). – Sehr unzweckmäßig sind ferner Lehrveranstaltungen mit 7 oder 8 oder gar 9 LP (es sei denn als Kombination mehrerer Lehrveranstaltungen). Sie erlauben nämlich keine weiteren LV angemessener Größe mehr im selben Semester.

Noch zwei Hinweise: (a) Die Präsenzarbeitszeit einer Lehrveranstaltung im Umfang von 1 Std „Workload“, also à 60 min, dauert traditionell tatsächlich nur 45 min. Diese dreiviertel Stunde wird im Folgenden als 1 LV-h abgekürzt. Der in den SWS angerechnete Workload (60 min oder 1 Std) und die tatsächliche Dauer der konkreten LV (45 min oder 1 LV-h) sind also zu unterscheiden. Letzteres ist insbesondere beim Umfang der in einer LV zu vermittelnden fachlichen Inhalte pro LV-Stunde zu beachten.

(b) Die hier ausgeführten Überlegungen zur Arbeitszeit der Studierenden sind nicht nur bei der Auswahl des zu vermittelnden Lehrstoffes und damit für die Planung von Curricula für die verantwortlichen Hochschullehrer wichtig. Wir empfehlen diese Rahmendaten auch den Studierenden zugänglich zu machen und sie ggfs. mit ihnen zu besprechen. Den wenigsten Studierenden wird von Anfang an klar sein, dass von ihnen eine konzentrierte 45 stündige Arbeitswoche über 40 Wochen pro Jahr hinweg erbracht werden muss, wenn sie ihr Studium in der vorgegebenen Regelstudienzeit erfolgreich abschließen wollen. Das setzt natürlich voraus, dass die Finanzierung des Lebensunterhalts der Studierenden gesichert ist, ohne dass sie neben dem Studium erwerbstätig sein müssen! Wie sich dies mit dem derzeitigen BAFöG Höchstsatz von 670 Euro in den Ballungsräumen verträgt, sei dahingestellt.

Wir fassen zusammen:

Für den Erwerb von 1 LP ist während der insgesamt 20 Arbeitswochen des Semesters eine Studienarbeitszeit von je 1,5 Std/Woche zu erbringen.

In einer 9 Semester-Äquivalente umfassenden Studienzeit steht für die Ausgestaltung des Fachphysik-Curriculums ein Leistungsrahmen von 10 LP, für die Fachdidaktik Physik von weiteren $3\frac{1}{2}$ LP pro Semester zur Verfügung.

Dem entsprechen wöchentliche Arbeitszeiten von 15 Std für das Fach Physik und 5 Std für die Fachdidaktik Physik.

Diese Studienarbeitszeit umfasst sowohl die SWS der Lehrveranstaltungen als auch die individuellen, nicht betreuten Wochenarbeitsstunden EWS, sei es innerhalb (EWS-i), sei es außerhalb der LV-Zeit (EWS-a)

$$1,5 \times \text{LP} = \text{SWS} + \text{EWS-i} = \text{EWS-a}$$

Die Studierenden müssen wissen, dass ein erfolgreiches Studium (innerhalb der Regelstudienzeit) von ihnen eine konzentrierte, 45 stündige Arbeitswoche erfordert – kontinuierlich während 40 Wochen pro Jahr.

2.2 Konsequenzen aus den Rahmenvorgaben für die Curricula

Durch die bildungspolitischen Vorgaben ist nach dem Gesagten fixiert, dass zum Erwerb eines Leistungspunktes LP im Mittel genau 1,5 Std pro Woche zu studieren sind, ein ganzes Semester lang, auch in der vorlesungsfreien Zeit. Da gibt es keinen Spielraum. Nicht fest vorgegeben dagegen ist, wie sich diese Wochenarbeitsstunden auf Lehrveranstaltungen, sprich SWS, einerseits und nicht betreute Wochenarbeitsstunden EWS-i andererseits aufteilen. Das haben die Entwickler von Curricula zu beachten.

Im Curriculum wird angegeben, wie viele Leistungspunkte LP den einzelnen Lehrveranstaltungen LV zugeordnet werden, beispielsweise 6 LP in einer und 4 LP in einer zweiten, wodurch die maximale LP-Zahl für das Semester ausgeschöpft ist. Mit dem Faktor 1,5 folgt, dass die entsprechenden Arbeitszeiten pro Woche für diese LV 9 Std bzw. 6 Std betragen.

Während der 14-wöchigen LV-Zeit sind diese 9 Std + 6 Std die Summe aus Präsenzzeit während der LV und nicht betreuter Arbeit EWS-i. Die Präsenzzeit in Semesterwochenstunden SWS ist unterteilt in SWS für Vorlesung, Übungen, Praktika und Arbeit in Gruppen bzw. Projektseminaren. Die nicht betreuten Wochenarbeitsstunden für eine LV ergeben sich als Differenz:

$$\text{EWS-i} = 1,5 \times \text{LP} - \text{SWS}$$

Sie dürfen natürlich nicht negativ sein; sollten sie es rechnerisch sein, müssen die angesetzten SWS verringert werden. Im Beispiel sei etwa die erste LV von 6 LP mit 4 SWS Vorlesung und 2 SWS Übungen ausgestattet. Dann stünden für Vor- und Nachbereitung durch die Studierenden nur noch $EWS-i = (1,5 \times 6 - 4 - 2) \text{ Std} = 3 \text{ Std}$ zur Verfügung. Die zweite LV von 4 LP bestehe aus 2 SWS Vorlesung und 2 SWS Arbeit in Gruppen/Projektseminaren. Dann wären gerade mal noch $(1,5 \times 4 - 2 - 2) \text{ Std} = 2 \text{ Std}$ für die nicht betreute Arbeit zu dieser LV übrig. Nicht betreute Übungsaufgaben zu dieser LV dürfen nicht mehr als diese 2 Stunden benötigen! Die verantwortlichen Hochschullehrer müssen sich also bei jeder LV entscheiden, ob sie mehr betreute Präsenz- oder mehr individuelle nicht betreute Arbeitszeit für effektiver halten. Beides zugleich zu steigern, ist nicht möglich.

In den 6 Wochen der nicht-LV-Zeit entfällt in der Regel die Präsenzzeit. Deswegen besteht dann die(selbe) wöchentliche Arbeitszeit für die Fachphysik allein aus nicht betreuten Wochenarbeitsstunden EWS-a. Da die Arbeitszeit von 15 Std/Woche für die Fachphysik sowohl innerhalb wie außerhalb der Lehrveranstaltungszeit gleich ist, gilt für die Wochenbilanzen außerhalb der LV-Zeit

$$EWS-a = 1,5 \times LP = SWS + EWS-i,$$

im obigen Beispiel also $9 + 6 = 15 \text{ Std}$ (was die obere Grenze von 15 Studienarbeitszeit in diesem Beispiel ausschöpft). In der nicht-LV-Zeit dient die nicht betreute Wochenarbeitszeit den Studierenden dazu, den Stoff nachzuarbeiten, sich auf das kommende Semester vorzubereiten, für Prüfungen zu lernen oder ggfs. auch Hausarbeiten/Präsentationen zu verfassen.

Mancherorts werden Praktika als Blockpraktika in der sonst lehrveranstaltungsfreien Zeit angeboten. Das gibt den Studierenden „mehr Luft“ während der LV-Zeit. Das sollte aber von den Fachbereichen nicht dafür genutzt werden, die Präsenzarbeitsstunden bei anderen LV während der Lehrveranstaltungszeit auszudehnen.

2.3 Abschlussarbeiten

Bei den Abschlussarbeiten bzw. -Prüfungen für Lehramtsstudierende gibt es ebenfalls Länder-Unterschiede. Entweder das Studium schließt mit einer Staatsexamensarbeit und anschließendem Staatsexamen ab oder das Lehramtsstudium besteht aus einem Bachelor- und einem Master-Teil, die jeweils mit einer Bachelor- bzw. Master-Prüfung abgeschlossen werden (*Bachelor of Education* oder *Science* bzw. *Master of Education* oder *Science*). Die Bachelorprüfung erfolgt in der Regel nach dem 6. Studiensemester. Sofern dafür eine Bachelorarbeit anzufertigen ist, muss das im jeweiligen Zeitplan für das Curriculum beachtet werden, indem dieser für das 6. Semester weniger andere Lehrveranstaltungen vorsieht. Auch muss es bei der Verteilung der Leistungspunkte berücksichtigt werden. Im nachfolgenden Musterplan werden wir deshalb sowohl im 6. als auch im 10. Semester deutlich weniger als die maximal im Fach Physik zu erwerbenden 10 LP pro Studiensemester vorsehen.

Zu den Abschlussarbeiten geben wir folgende Empfehlung:

Falls beide Arbeiten physikalischer Natur sind, soll zumindest eine ganz fachphysikalisch sein. Wenn aber (nur) eine der beiden Abschlussarbeiten in Physik geschrieben wird, entweder die Bachelor- oder die Masterarbeit, sollte diese sowohl fachphysikalische als auch fachdidaktische Komponenten enthalten. Wenn dies z. B. eine fachdidaktische Forschungsarbeit zum Physikunterricht ist, sollte dennoch ein Fachphysiker als zweiter Betreuer einbezogen sein – und umgekehrt bei fachphysikalischem Inhalt der Arbeit. Entsprechend sollte auch bei Staatsexamensarbeiten verfahren werden.

2.4 Bildungsstandards der KMK

Da die an den Schulen tätigen Lehrer die von der KMK erlassenen Bildungsstandards – bzw. die für das jeweilige Bundesland gültigen, darauf aufbauenden Rahmenpläne – bei der Gestaltung ihres Unterrichts zu beachten haben, bilden diese Bildungsstandards indirekt auch einen Bezugsrahmen für die Lehramtsausbildung an den Hochschulen. Insofern die Fachbereiche für die Inhalte der Curricula zuständig und verantwortlich sind, sollten sie die für ihr Fach geltenden Inhalte der Bildungsstandards für die Schulen beachten, damit die von ihnen ausgebildeten Lehrkräfte ihren Unterricht entsprechend gestalten können.

„Nicht zuletzt ausgelöst durch die wenig befriedigenden Ergebnisse deutscher Schüler in internationalen Schulleistungsvergleichsstudien wie z. B. TIMSS oder PISA“ [Baumert et al. (1997), PISA2000 (2001)] „hat die Ständige Konferenz der Kultusminister (KMK) seit 2002 kontinuierlich Beschlüsse zur Qualitätssicherung im Bildungswesens gefasst. Ein zentrales Element ist dabei die Ablösung der bisher gewohnten Input-Steuerung über detaillierte inhaltliche Vorgaben für den Unterricht in sämtlichen Fächern, Schulformen und -stufen mittels Lehrplänen durch eine verstärkte Orientierung am Output oder Outcome, also den Wirkungen oder Ergebnissen schulischer Arbeit.“ [Lersch (2010)]

Am 16. 12. 2004 verabschiedete die Kultusministerkonferenz die heute bundesweit gültigen „Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss“ [KMK (2004a), in Anhang D.3 haben wir auszugsweise daraus wichtige, zentrale Festlegungen zitiert]. Sie bilden den gemeinsamen Rahmen für den Physikunterricht an deutschen Schulen. Die Bildungsstandards der einzelnen Bundesländer stellen eine Präzisierung der KMK-Bildungsstandards dar. Derzeit arbeitet die KMK an der Erweiterung der Bildungsstandards für die Sekundarstufe II.

Die Bildungsstandards benennen vier sogenannte *Kompetenzbereiche*, in denen Schüler Kompetenzen aufbauen sollen (weitere Details kann man Anhang D.3 entnehmen):

1. Fachwissen,
2. Erkenntnisgewinnung,
3. Kommunikation,
4. Bewertung.

„Das Neue und Besondere an diesen Standards ist die Tatsache, dass sie ... bestimmte Könnenserwartungen formulieren und weniger auf abfragbares Wissen zielen.“ [Lersch (2010)] So wird auch der Begriff „Fachwissen“ zunehmend durch „Umgang mit Fachwissen“ ergänzt [s. z.B. IQB (2013)]. Jedem einzelnen Kompetenzbereich ist eine Liste von Kompetenzen zugeordnet. Zu beachten ist, dass die über das Fachwissen hinausgehenden Kompetenzen nicht nur implizit erworben werden, sondern von den Lehrkräften bewusst in der Unterrichtsplanung adressiert und auch in entsprechenden Lernerfolgskontrollen berücksichtigt werden sollen. Dies verlangt einen Unterricht, der sich *nicht auf die Vermittlung von Lehrbuchwissen reduziert, sondern Physik in vielfältige Kontexte einbindet, der Schüler das selbständige Anwenden physikalischer Methoden abverlangt und auch das Nachdenken über Naturwissenschaften explizit anregt.*

Der in den Vorbemerkungen angekündigte Teil dieser Studie, *Physik in der Schule*, wird sich ausführlicher und auch kritisch mit den Bildungsstandards befassen.

Kapitel 3

Allgemeine Gesichtspunkte und Anforderungen

Im Folgenden wird ein LA-Studienplan – im Sinne eines Beispiels – entwickelt. Dabei werden alle von der Bildungspolitik vorentschiedenen und in **Kapitel 2** beschriebenen Regeln als Rahmenbedingungen beachtet. Zur konkreten Ausgestaltung des fachphysikalischen LA-Studiums in diesem vorgegebenen Rahmen gibt es eine Reihe wichtiger Gesichtspunkte.

3.1 Allgemeines

Wir halten es gerade in der Ausbildung von künftigen Lehrkräften für wichtig, bei ihrem Studium die betreute Arbeit in Form von Übungen oder in Gruppen bzw. Projektseminaren gegenüber der individuellen nicht betreuten Arbeit zu stärken, ganz besonders in den ersten Semestern. Wir werden deshalb für jede einzelne Lehrveranstaltung sorgfältig überlegen, welches Verhältnis von betreuter Präsenzarbeitszeit in Lehrveranstaltungen (SWS) und eigenverantworteter, nicht betreuter Wochenarbeitszeit (EWS-i) innerhalb der LV-Zeit für ein erfolgreiches Studium sinnvoll erscheint. Dabei werden wir uns nicht an das Standard-Schema halten, wonach zwei Semesterwochenstunden (SWS) stets drei Leistungspunkten (LP) entsprechen. Es gilt aber, dass die gesamte Studienarbeitszeit pro Woche gleich dem 1,5 fachen der für die jeweilige LV zu erwerbenden Zahl der LP ist. Deshalb geht eine Erhöhung der SWS mit einer Erniedrigung der EWS-i bei dieser Lehrveranstaltung einher; bessere Betreuung ist unlösbar verbunden mit weniger Hausarbeit (und umgekehrt), insbesondere mit weniger Hausaufgaben bei den Übungen! Die ausgegebenen Übungszettel sollten in den im Allgemeinen sehr knappen EWS-i bearbeitbar sein! Wir erhoffen uns von unserer Empfehlung einer besseren Betreuung durch mehr SWS zu Lasten der EWS-i eine wesentliche Verbesserung der Studienbedingungen mit vielen positiven Auswirkungen. – Mag es den Fachbereichen auch nicht immer oder nicht immer gleich möglich sein, diese bessere Betreuung mit dem vorhandenen Personal zu verwirklichen, so sollte das zumindest aus den genannten Gründen das erklärte Ziel sein.

Innerhalb der in **Kapitel 2** dargestellten Rahmenbedingungen lautet die nicht einfache Aufgabe für die Fakultäten kurz zusammengefasst so: Es ist eine möglichst *hochwertige fachwissenschaftliche* Ausbildung der zukünftigen Physiklehrer mit einem Lehr- und Studienangebot zu gewährleisten, für das (nur!) 90 LP zu vergeben bzw. zu erwerben sind – nicht mehr, aber auch nicht weniger. Das muss bei einer wöchentlichen Arbeitszeit für die Fachphysik von nur 15 Stunden erfolgen. Innerhalb der nur 14 Wochen pro Semester mit Lehrveranstaltungen umfasst dies die Arbeitszeit für die LV und die nicht betreute Arbeit zusammen, in den weiteren 6 Wochen außerhalb der LV-Zeit nur die nicht betreuten Wochenarbeitsstunden. Das gesteckte Ziel einer sehr guten Physikausbildung in dieser knappen Zeit zu erreichen, ist eine Herausforderung für Lehrende und Lernende. Es bedeutet auch: Wir Hochschullehrer können und dürfen in dieser sehr begrenzten Zeit nicht alles vermitteln wollen, was uns als Physikern am Herzen liegt!

3.2 Exemplarisch tief oder in systematischer Breite studieren?

Lehramtsstudierende sollen und können keine Spezialisten in einzelnen Teildisziplinen der Physik werden, sondern sollen – ihrer späteren Aufgabe entsprechend – die Physik in ihrer Gesamtheit, zumindest im Überblick, kennen. In angemessener Tiefe ist das offenkundig nur exemplarisch möglich. Ziel muss sein, Interesse und Begeisterung zu wecken und zugleich Physik zu verinnerlichen. Deshalb sollte man hier reichlich Wahlfreiheit lassen, denn begeistern kann nur, wer selbst für ein Thema „brennt“, selbst großes Interesse oder gar Begeisterung empfindet.

Solange die bildungspolitischen Vorgaben – zwei Fächer, zwei Fachdidaktiken, Bildungswissenschaften in 10 Semestern zu studieren – bestehen und ein fachlich besser ausgebildeter Lehrer mit nur einem Fach nicht zur Diskussion steht, ist es aus Zeitgründen unumgänglich notwendig, aus den vielen Teilgebieten der Physik nur einige wenige auszuwählen und selbst diese nur exemplarisch zu vermitteln.

Es geht nicht darum, was man für „unbedingt nötig“, gar für „unverzichtbar“ hält, sondern was in der vorgegebenen Studienzeit *möglich* ist.

Exemplarisch heißt auch, es wird mehrere Alternativen, mehrere Auswahlpräferenzen geben. Sofern sie in ihrer Logik machbar sind, auf physikalische Bildung zielen, auf Physik verstehen und können gerichtet sind, sind sie geeignet.

Wir betonen ferner, dass die Auswahl der fachlichen Inhalte wie die der Lehrformen geeignet sein soll, daran *auch* zu lernen, wie man sich selbst weitere Fachinhalte aneignen kann. Es sind nicht zuletzt auch diese Überlegungen, die zu der Forderung eines LA-Studiums *sui generis* führen.

3.3 Verbesserung der Betreuung

Als weitere wesentliche Säule eines guten LA-Studiums empfehlen wir zur Verbesserung der Lehre und der Steigerung ihrer Nachhaltigkeit eine Verstärkung der Betreuung. Das bedeutet: die Zeit für Präsenzarbeit der Studierenden ist zu vergrößern. Während im traditionellen Studium die Stundenzahl der LV relativ klein ist gegenüber dem nicht betreuten Lösen von Übungsaufgaben, dem individuellen Nacharbeiten, Vorbereiten usw., plädieren wir für mehr betreute Lehre zu Lasten der individuellen Arbeitszeit. Das gilt ganz besonders für die Anfangssemester. Praktisch bedeutet das eine Erhöhung der (betreuten) SWS und entsprechende Verringerung der nicht betreuten Wochenarbeitsstunden EWS-i (wegen des vorgegebenen zeitlichen Gesamtrahmens!). Das wird die Studierbarkeit erheblich verbessern, ohne die wenige verbleibende Zeit zu verringern, in der die Studierenden eigenen Interessen nachgehen können. Ein wichtiges Ziel der betreuten Arbeit vor allem in den Anfangssemestern ist es, die Fähigkeit und Motivation zu eigenständigem Arbeiten zu verbessern.

Die Fakultäten haben dann aber mehr Lehre zu leisten. Lehrerausbildung soll den gleichen Stellenwert haben wie die forschungsnahe Spezialausbildung. Möglichst viele Hochschullehrer und Privatdozenten sollten sich daher auch in der Lehrerausbildung engagieren. Wo das nicht ausreicht, sollten auch wissenschaftliche Mitarbeiter oder, wenn möglich, abgeordnete Lehrer eingesetzt werden, um eine stärkere Betreuung auch ohne Stellenzuwachs bei den Hochschullehrern zu gewährleisten. Bei den Wiederholungen und Übungen jüngere Mitarbeiter zu beteiligen, ist im Allgemeinen sehr effektiv, weil diese den Lernschwierigkeiten der jungen Studierenden noch sehr nahe sind. Und Lehrer könnten Erfahrungen aus der Schulpraxis einbringen.

3.4 LA-Studium *sui generis*

Das Lehramtsstudium muss – wie beschrieben – nicht nur exemplarischer, sondern zugleich anders angelegt sein als ein Fachphysikstudium. Es muss zum einen andere fachphysikalische Schwerpunkte setzen, muss zum anderen aber auch breiter, ganzheitlicher sein, soll außerdem etwas über die geschichtliche Entwicklung der Physik vermitteln. Und das alles, obgleich dafür erheblich weniger Studienarbeitszeit zur Verfügung steht als für ein Vollstudium der Physik. Ein wesentlicher Leitgedanke bei der Ausgestaltung des LA-Curriculums muss also sein, stets zu beachten, dass der Umfang, die Schwerpunkte, die ganzheitliche Breite der Inhalte, aber auch die Intensität der Betreuung sowie die Studienziele und die späteren Berufsaufgaben für die LA-Absolventen andere sind als die der Fach-Physiker. Aus all diesen Gründen muss die Lehramts-

ausbildung in Physik (wie anderer Lehramtsfächer) soweit wie irgend möglich als Studium *sui generis* konzipiert werden.

Sowohl wegen der unterschiedlichen Studienziele als auch wegen des zeitlich bescheideneren Studienumfangs sind gemeinsame Lehrveranstaltungen der LA Studierenden und Fachphysik Studierenden nur in Ausnahmefällen sinnvoll, wenn denn überhaupt. Die Lehrveranstaltungen des Fachphysiker-Studiums vermitteln den Studierenden mit fortschreitendem Studium mehr und viel stärker detailliertes Spezialwissen, und das zu Lasten der für das Lehramt notwendigen Breite und exemplarischen Vielfalt. Das gemeinsame Erlernen des Spezialwissens in gemeinsamen Lehrveranstaltungen würde einen zu großen Anteil des knappen LA-Zeitbudgets belegen, während anderes für das Lehramt Wichtiges dafür ganz wegfallen müsste. Wenn sie am Physik-Fachstudium teilnehmen, fehlt den LA-Absolventen vieles LA-typische breitere Wissen, wenn auch zugunsten von mehr Spezialwissen.

Eine gemeinsame Ausbildung in der Grundphysik mit den sogenannten Nebenfächlern (Biologen, Chemiker, Mathematiker, Ingenieurwissenschaftler, Mediziner etc.) kann dagegen bei geeignetem Lehrkonzept durchaus sinnvoll sein. Hierfür gibt es bereits erfolgreiche Realisierungen.

Das LA-Physikstudium *sui generis* soll deshalb – wo und wann immer möglich – bereits mit dem 1. Semester einsetzen. Aber auch, wenn es den Fachbereichen und Fakultäten nicht immer, nicht immer ganz oder nicht immer gleich möglich ist, die LA-Studierenden in Lehrveranstaltungen *sui generis* auszubilden, so ist es doch bereits wertvoll, wenn sie sich diesem Idealzustand nach ihren Möglichkeiten annähern. Jede Bemühung darum ist wichtig, jedes Beachten der LA-Ausbildungs-Spezifika bringt Verbesserung und verdient Unterstützung wie Anerkennung. So kann man etwa beim Besuch gemeinsamer Lehrveranstaltungen von BA/MA- und LA-Studierenden dennoch LA-spezifische Elemente vorsehen, ohne die Fachbereiche zu überfordern, z. B. lehramtsspezifische Arbeit in Gruppen bzw. Projektseminaren (siehe Kapitel 4.2) und insgesamt eine bessere Betreuung (siehe Abschnitt 3.3).

Ein häufig zu beobachtender Nachteil für die LA-Studierenden bei gemeinsamen Lehrveranstaltungen mit Fachphysikern besteht in einer von ihnen aus Zeitmangel kaum zu verarbeitenden Überfrachtung hinsichtlich Detaillierung und Umfang. Es fehlen ihnen oft auch Voraussetzungen, die sie als LA-Studierende wegen ihrer anderen Studienausrichtung gar nicht haben können. Das wirkt dann überfordernd und dadurch demotivierend, abschreckend. Sehr problematisch ist auch die scheinbar entgegenkommende Regelung, dass man die LA-Studierenden wegen ihrer anderen Studienausrichtung und Studienorganisation sowie der deutlich geringeren zu erwerbenden Leistungspunktzahl im Fach zwar von einigen Teilen der mit den Fachphysikern gemeinsamen Lehrveranstaltung freistellt und zeitlich entlastet, z. B. weniger oder andere Übungsaufgaben stellt, weniger mathematische Methoden lehrt u. ä., dann aber von ihnen im weiteren Studienverlauf *doch* dieselben Kenntnisse und Fähigkeiten erwartet oder gar verlangt. Das bringt sie immer wieder in die Position eines eher lästigen Anhängsels, das scheinbar auch noch weniger Fähigkeiten und Kenntnisse mitbringt. Es wird verkannt, dass die LA-Studierenden dafür anderes wissen, andere Kenntnisse und Fähigkeiten erworben haben und besser können als die Fachphysik-Studierenden.

Gemeinsame Lehrveranstaltungen mit den Fachphysik-Studierenden vernachlässigen zu leicht schon vom Ansatz her die andersartigen Studienziele der LA-Studierenden. Physiklehrer sind keine „schlechteren Physiker“, als die sie gelegentlich immer noch stigmatisiert werden. Sie sind an der Schule nämlich streng genommen gar nicht als Physiker tätig, sondern sie sind Spezialisten für das Lehren und Lernen von Physik in der Schule, für das Wecken von Interesse und wenn möglich von Begeisterung für die Physik. Deshalb benötigen Sie eine andere Ausbildung als die Fach-

physiker, die in der Forschung, an einer Universität oder in der Industrie und Unternehmen, Banken, Verwaltung u. a. tätig sein werden.

Dies muss man ihnen immer wieder bewusst machen, damit sie die für die Schule so unbedingt nötige eigene Begeisterung nicht verlieren und die Herausforderungen, die dieser Beruf mit sich bringt, mit einem stabilen Selbstwertgefühl angehen können.

Die Hochschulen haben die Verantwortung, die Wichtigkeit und den großen Wert eines motivierenden, begeisternden LA-Studiums – auch für den Physiknachwuchs! – anzuerkennen und ein gutes LA-Studium eigenen Wertes nach Kräften zu fördern. – Sportler wissen, dass Mehrkämpfer anders trainieren und auch andere Wettkämpfe bestreiten als diejenigen, die in Spezialdisziplinen antreten! Ebenso muss das LA-Studium seinem ureigenen Studienziel entsprechend *sui generis* angelegt sein. Und das ist – anders als oft gesagt wird – *gerade* im ersten, besonders wichtigen Teil des Studiums nötig. Im schon fortgeschrittenen Studium kann man Fachphysiker und LA-Physiker eher in gemeinsam interessierenden Lehrveranstaltungen unterrichten, für die beide Gruppen hinreichend vorgebildet sind und die beiden Gruppen Neues vermitteln. (Wir denken etwa an technische Anwendungen, an Astrophysik als eine Zusatzveranstaltung und ähnliches.) Das würde die gegenseitige Wertschätzung nicht mehr schädigen, aber ihre Gemeinsamkeiten als fachphysikalisch Ausgebildete fördern.

Im Folgenden erläutern wir weitere für ein LA-Studium wichtige Gesichtspunkte, welche die Forderung *sui generis* noch erhärten.

3.5 Unterrichtsbezogen experimentieren

Physiklehrer müssen weit mehr Funktionen von Experimenten im Blick haben als Physiker. Sie müssen, über die konkrete Erfahrung mit naturwissenschaftlichen Experimenten hinaus, Unterrichtsexperimente gestalten und nutzen können, etwa zum Darstellen eines Phänomens, zur Veranschaulichung eines Konzepts, zur Überprüfung physikalischer Gesetze, zur Erzeugung eines kognitiven Konflikts, zur Diskussion über die Wissensentstehung in der Naturwissenschaft, zum Aufzeigen von Alltagsbezügen, zur Veranschaulichung von Forschungsexperimenten, zur Erregung von Aufmerksamkeit, um Schüler zum Staunen zu bringen und gelegentlich sogar zu unterhalten [Hopf et al. (2013)]. Auch muss darauf geachtet werden, dass die Studierenden systematisch mit den in der Schule typischerweise vorhandenen Laborgeräten umzugehen lernen.

Diese speziellen Erfahrungen und Fähigkeiten sind unverzichtbar für den Physikunterricht in der Schule, wenn es darum geht, *Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung* zu vermitteln wie in den KMK Bildungsstandards gefordert. Natürlich spielen sie besonders im Rahmen der Fachdidaktik bei der LA-Ausbildung eine wichtige Rolle (siehe Modul 2a aber auch 2b in Kapitel 6.1.3, und speziell erläutert in Anhang B.5).

Aber auch die Fachphysiker tragen hier gemeinsam mit den Fachdidaktikern Verantwortung: In einem Lehramtsstudium *sui generis* sollten diese Aspekte – wo immer es sich als möglich und sinnvoll erweist – in den Grundpraktika angesprochen und durch praktische Übungen vertieft werden. Gerade hierbei lassen sich die bereits angesprochenen Synergien entfalten, die aus der wichtigen Zusammenarbeit von Fachphysik und Fachdidaktik für ein optimales LA-Studium entstehen können. Beide Disziplinen könnten z.B. Leistungspunkte für gemeinsam veranstaltete *Demonstrationspraktika* einbringen und ihre jeweilige Expertise bei der Betreuung der künftigen Lehrer kombinieren.

Exemplarisch sollen die Studierenden auch mit den Methoden des forschenden Lernens vertraut gemacht werden (im englischen Sprachraum „*inquiry based science education*“, IBSE, genannt), um dies dann im Schulunterricht aus eigener Erfahrung umsetzen zu können.

3.6 Leitthemen-Orientierung (auch Kontext-Orientierung genannt)

In aller Regel wird die akademische Lehre für die Studierenden prägend sein, so wie auch der Unterricht an den Schulen für die Schüler prägend ist. Deshalb ist die Art und Weise der Vermittlung von Physik für die Lehramtsstudierenden an der Hochschule nicht nur wichtig hinsichtlich der Inhalte und des Physikverständnisses, sondern sie wird – bewusst oder unbewusst – zum Vorbild für die eigene spätere Lehrtätigkeit an der Schule werden. Aus diesem Grunde müssen die Lehramtsstudierenden in ihrer eigenen Physikausbildung Erfahrungen sammeln (sie sammeln können!), die beispielhaft für ihre spätere eigene Lehre in der Schule sein können und sollen.

Wir charakterisieren die spätere Lehraufgabe in Physik so: Junge Menschen, also die Schüler, lernen nicht fachsystematisch. Vielmehr sind sie als Kinder kleine Forscher und Entdecker, stellen Fragen, probieren aus, tüfteln, finden Antworten und Lösungen, möchten Zusammenhänge verstehen und vor allem: sie können staunen. Es ist wichtig, dieses alles auch bei Jugendlichen zu erhalten und weiter zu fördern. Gerade das ist eine besonders wichtige Aufgabe der Lehrenden an den Schulen. Deshalb müssen die LA-Studierenden diese Haltung in ihrem eigenen Studium an den Fachbereichen selber erfahren, müssen die Begeisterung für die allgegenwärtige Physik in der modernen Technik-Kultur, aber auch für die „großen“ Fragen dahinter und das Finden von Antworten immer wieder erleben, intellektuell wie emotional. Es ist das und weniger die reine Fachsystematik, was die Hochschulen im LA-Studiengang zu lehren haben, und zwar exemplarisch!

Aus diesen Gründen empfehlen wir, Physik nicht nur rein fachsystematisch „geläutert“ zu vermitteln, sondern sie womöglich an Hand interessanter Fragestellungen beispielhaft zu erarbeiten. Nicht die logisch-systematische Deduktion, die reine Herleitung, die methodisch-technischen Details, das Lösen von Übungsaufgaben u. ä. allein sollen die Lehre an der Universität ordnen, sondern auch aktuelle physikalische Fragen und gewisse als interessant und spannend erlebte Leitthemen. Sie zu beantworten, lehrt viel Physik, wobei außerdem stets die konkrete Fragestellung präsent ist; diese Präsenz einer interessanten Fragestellung wird im Allgemeinen sehr motivierend sein. Leitthemen, also die Orientierung an allgemein interessierenden oder praktisch wichtigen Themen oder Kontexten können dem Lernen immer wieder Sinn und Ziel und damit stete Motivation geben. Sie sollten die frustrierende Dauerfrage vergessen machen „Wozu brauchen wir das alles?“, insbesondere wenn es gelingt, die Studierenden bei der Auswahl von Leitthemen mit gestalten zu lassen.

In dem im [Anhang A](#) detailliert ausgeführten Beispielcurriculum ordnen wir deshalb die Fachinhalte des Lehramtsstudiums in Physik in zweierlei Weise. Zum *einen* geben wir einen Katalog von Modulen mit fachsystematischen Inhalten an, die in einem Studium mit 90 LP zu erlernen sein sollten. Zum *anderen* benennen wir zu diesen Modulen jeweils eine Reihe von Leitthemen (oder Kontexten), über die sich die fachlichen Inhalte alternativ erschließen und lernen lassen. Es liegt in der Natur ganzheitlicher Fragestellungen, dass Leitthemen sich nicht immer an Teilgebietsgrenzen halten. Häufig betreffen sie mehrere Teilgebiete und -bereiche der Physik zugleich, was der physikalischen Bildung zu Gute kommt. Leitthemen zu bearbeiten bedeutet zweifellos eine Herausforderung an die Lehrenden, zumal wenn sie sich unter dem Druck von Lehrkatalogen stehend fühlen. Andererseits bieten Leitthemen die beglückende Möglichkeit, die Einheit der Physik intellektuell zu erfahren, sie emotional zu erleben oder sie zu demonstrieren. Man „lernt“ dann nicht nur, sondern „versteht Physik“, gewinnt physikalisches Können und Anwenden, wird – in heutiger Diktion – *kompetent* in Physik.

Für die Lehre an Hand von Leitthemen ist auch an andere, oft geeignetere Formen der Lehre zu denken, wie etwa an Gruppenarbeit mit guter Präsenzbetreuung. Beides wird den Lernerfolg verbessern. Auf weitere für ein Lehramtsstudium *sui generis* für geeignet gehaltene Lehrformen wird später noch eingegangen.

Die Bearbeitung von Leitthemen scheint uns besonders geeignet zu sein für die Entwicklung von *Kompetenzen*, wie sie in den mehrfach bereits erwähnten KMK-Standards als Ergebnis schulischen Physik-Unterrichts gefordert werden. Die dazu in Anhang D.3 eingangs unter 2. nachzulesenden Erläuterungen der „Kompetenzbereiche des Faches Physik“ und der damit verbundenen „Handlungsdimensionen“ beschreiben eine Zielsetzung, die man als sehr ähnlich zu den soeben gemachten Überlegungen identifizieren kann – formuliert freilich in der uns nicht so geläufigen Sprache der Bildungswissenschaften.

Die Suche nach Antworten auf die in einem Kontext zu stellenden Fragen bietet Gelegenheit, explizit Methoden der Erkenntnisgewinnung anzusprechen und einzuüben, die schließlich zu dem einschlägigen *Fachwissen* führen – auch in der Qualität von Verfügungswissen. Nicht zuletzt das *Kommunizieren* von Problemen und Ergebnissen sowie deren kritische *Bewertung* sind natürlicher Teil eines so konzipierten Unterrichts – an der Universität wie an der Schule.

Zusammengefasst: Die beiden Möglichkeiten „*fachsystematisches Curriculum*“ und „*curriculare Leitthemen* (= *kontextorientiertes Lernen*)“ sollen nicht als Entweder-oder Alternative verstanden werden, sondern als ein Sowohl-als-auch, als zwei sich ergänzende Seiten derselben Medaille „guter, nachhaltiger Physik-Lehre“. Beide Aspekte sinnvoll zu kombinieren, ist eine große Herausforderung für die Lehrenden: ihre Kompetenz als Fachphysiker ist ebenso gefordert wie ihre Bereitschaft, neue Formen des Physik Lehrens zu erproben. Der *fachsystematische* Blick einerseits beachtet, dass ein vernünftiges Maß gefunden werden muss für den Umfang dessen, was LA-Studierende angesichts knapp bemessener Studienarbeitszeit in den einzelnen Fächern leisten und lernen können. Die *curricularen Leitthemen* andererseits sollen das universitäre LA-Studium *sui generis* in seinem besonderen Aufbau, seinen inhaltlichen Schwerpunkten, seiner Ganzheitlichkeit und in den Methoden seiner Vermittlung näher an die Schulwirklichkeit der künftigen Lehrer heranzuführen. Sie machen es unverwechselbar und charakteristisch. Ihnen liegt als Ideal die Vorstellung zugrunde, das Fachwissen für die Lernenden von thematisch orientierten Fragen her aufzuschließen, besser zu motivieren und bleibender zu erarbeiten.

Eine Sammlung geeigneter Leitthemen ist in Anhang A.1 zusammengestellt – geordnet nach wichtigen fachsystematischen Themenfeldern.

3.7 Geschichte der Physik

Die Physik ist eine lebendige Wissenschaft. Sie hat seit ihren Anfängen in der Antike immer neue Einsichten über den Aufbau der Natur und ihre Gesetzmäßigkeiten angesammelt. Doch geschah dies nicht bruchlos. Immer wieder mussten etablierte Denkmuster aufgegeben werden, weil verfeinerte Methoden der Naturbeobachtung dazu zwangen. Nach Max Plancks berühmtem Diktum, wonach die Gegner einer neuen wissenschaftlichen Wahrheit erst aussterben müssen, ehe sie sich durchsetzen kann, hat es immer wieder Auseinandersetzungen um die „richtige“ Weltsicht gegeben. Die Entwicklung der Physik ist eine faszinierende Ideengeschichte, die als solche im Lehramtsstudium nicht ganz unterschlagen werden sollte. Sie ist auch die Geschichte der „Riesen“, auf deren Schultern wir Heutigen stehen, um weiter sehen zu können. Es ist auch eine Geschichte von hartnäckigem Ringen und großartigen Erfolgen, von Rivalitäten und tragischen Schicksalen. Gut erzählt, kann sie beträchtlich zur Motivation der Lernenden beitragen.

Wir plädieren deshalb dafür, solche Erzählungen an passenden Stellen in die Lehre einfließen zu lassen. Die Grundkurse in experimenteller und theoretischer Physik eignen sich wohl besonders dafür, wenn es um die großen Durchbrüche in Mechanik, Thermodynamik, Elektrodynamik, Quantentheorie und Quantenstatistik geht. Aber auch die Moderne Physik bietet Gelegenheit zu zeigen und zu diskutieren, wie schwierige Probleme gelöst werden konnten (etwa in der Teilchen-

physik oder der Kosmologie) und wie dabei häufig neue auftraten. Es ist nicht abzusehen, dass die Physik bald „fertig“ sein könnte.

Physikgeschichtliche Hinweise bieten Gelegenheit, um auch wissenschaftstheoretische bzw. wissenschaftsphilosophische Aspekte an geeigneten Stellen einfließen zu lassen, soweit sich dies zwanglos an die fachlichen Themen anschließen lässt.

3.8 Mathematikausbildung

Ein Dauerproblem der Lehramtsausbildung in Physik (wie übrigens auch in der Ausbildung der Fachphysiker) ist die Rolle der mathematischen Anforderungen und Fähigkeiten. Wir schließen uns hier den entsprechenden Empfehlungen der Konferenz der Fachbereiche Physik an [KFP (2011)]. Die Hochschulen sollten einen *Studienvorkurs anbieten*, in dem die Lehramtsstudierenden wie die Fachphysikstudierenden einen definierten Schulstoff wiederholen oder nachholend erstmals erlernen können, ohne jedoch fachsystematischen Hochschulstoff vorwegzunehmen oder gar falsch verstandene Abstraktionen zusätzlich einzuführen. Eine Liste der von der KFP ermittelten mathematischen Inhalte, die bei Schulabschluss gelernt sein und gekonnt werden sollten und die bei Studienbeginn dann bei allen Physik-Studierenden vorausgesetzt werden können und sollen, kommunizieren wir als Anhang D.5.

Darauf aufbauend empfehlen wir den Fachbereichen eine freiwillige Eignungsprüfung vor Studienbeginn und eine intensive Studienberatung zum LA-Studium in Physik anzubieten. Insbesondere bei einem Angebot entsprechender Vorkurse zum Auffrischen bzw. Erwerben der nötigen fachlichen Voraussetzungen – gegebenenfalls nicht nur der mathematischen – wird dadurch kein ausreichend Begabter ausgeschlossen. Es wird so aber späteren Studienabbrüchen entgegengewirkt. (Wo Eignungsprüfungen bereits durchgeführt werden, sind die bisherigen Erfahrungen offenbar positiv.) Auf jeden Fall aber sollten die Fachbereiche darauf hinweisen, dass die Kombination Physik-Mathematik inhaltlich besonders gut zusammenpasst, wie auch darauf, dass die Kombination von Physik mit anderen Fächern deutlich schwieriger ist, Mehrarbeit und größere Anstrengung erfordert.

Wir empfehlen ferner dringend, eine eigene Grundausbildung in den für die Physik wichtigsten mathematischen Methoden als Teil des Lehramtsstudiums vorzusehen. Sie in die Physik-Grundlehrveranstaltungen einzugliedern, wie es wegen Zeit- oder Personalknappheit oft versucht wird, erweist sich selten als geeignete Lösung. Folgende Gründe sprechen für eine eigene LV über die mathematischen Methoden der Physik. Zum einen dürfen die Studierenden statt Mathematik viele andere Fächer als zweites Fach wählen; sie lernen die mathematischen Methoden der Physik also nicht woanders. Zum anderen lernen selbst die Studierenden mit Mathematik als zweitem Fach die für die Physik wichtigen Fähigkeiten und Kenntnisse anders, abstrakter, physikanwendungsferner und vor allem meist erheblich später, als es zum Erlernen physikalischer Inhalte benötigt wird. Deshalb kann man auf eine eigene mathematische Grundausbildung der Physik-LA-Studierenden nicht verzichten.

Ein Modul „Mathematische Methoden der Physik“ soll somit für alle Teil des Lehramtsstudiums sein. Soweit irgend möglich, ist es natürlich inhaltlich und in der zeitlichen Abfolge mit den Physik-Lehrveranstaltungen abzustimmen. Die LV „Mathematische Methoden in der Physik“ sollte deshalb im Curriculum in den Anfangssemestern vorgesehen und besucht werden können. Inhaltliche Empfehlungen dazu werden unten gegeben.

Die Mathematischen Methoden in den Grundkurs Physik zu integrieren macht nur Sinn, wenn man dabei ihre Inhalte *nicht* verringert. Die Studienarbeitszeit lässt sich also dadurch *nicht* verringern!

Die Mathematik spielt in der Physik eine unverzichtbare Rolle, weil die Physik ihrem Wesen nach eine quantifizierende Wissenschaft ist. Darüber hinaus präzisiert die mathematische Formulierung das physikalische Denken und die physikalische Erkenntnis in wesentlicher und charakteristischer Weise. Physikalische Begriffsbildung und das Formulieren von Naturgesetzen sind ohne Mathematisierung nicht möglich. Zu beachten ist andererseits aber auch, dass Mathematik für Physiker weder Selbstzweck ist noch als bloßes Üben von Rechentechniken im Umgang mit physikalischen Einsichten (miss-)verstanden werden darf. Wichtig sind die elementaren mathematischen Inhalte, sind viele Beispiele und Übungsaufgaben, ist der Verzicht auf formale mathematische Beweise, sofern diese nicht schon zur Erklärung des Sachverhaltes selbst notwendig waren.

3.9 Computereinsatz und EDV-Kenntnisse

Zu den unverzichtbaren Fähigkeiten von Physiklehrern gehört heute auch der vertraute Umgang mit Computern. Angefangen vom Schreiben von Texten über graphische Darstellungen einfacher Funktionen und das Programmieren von Rechenaufgaben bis hin zum Umgang mit Simulationen als Lern- und Lehrhilfen und zum Einsatz von Computeralgebra gehört dies heute als selbstverständliches Werkzeug zum Schulalltag. Die Vermittlung von EDV-Kenntnissen und -Fähigkeiten muss deshalb im LA-Curriculum unbedingt einen Platz haben, möglichst mehrfach angesprochen und geübt werden. Dazu eignen sich Übungen und Praktika.

In der Lehrpraxis tauchen häufig dreierlei Schwierigkeiten auf, die sich aber lösen lassen. Die eine, eher vordergründige, ist die Qual der Wahl angesichts der rasanten und variantenreichen Entwicklung des Softwareangebots; es wäre wünschenswert, dass alle Teilnehmer an einem Kurs oder einer LV mit derselben – und zwar frei verfügbaren – Software arbeiten. Doch bringen die Studierenden i. A. so unterschiedliche Vorkenntnisse und Prägungen im Computerumgang mit, dass das manchmal nicht so ganz einfach durchsetzbar ist. – Die zweite, mehr immanente Schwierigkeit ist eine sachlich-lernsystematische: Soll man das Lösen von Gleichungen, das Differenzieren oder Integrieren oder Ähnliches ganz auf Maschinen auslagern, ehe die Lernenden per Kopf und Hand geübt haben, wie das geht? Die Antwort ist klarerweise nein – und dennoch ist der Gewinn groß, wenn auch Aufgaben gemeistert werden können, die eben nicht mehr per Hand zu bewältigen sind, etwa die Bestimmung der Flugbahn eines Fußballs einschließlich eventuellen Dralls. Hier kann und sollte man übrigens auch die Bedeutung von analytisch handhabbaren Näherungen oder Abstraktionen und den Einfluss der realen Abweichungen untersuchen: Beispiele sind etwa Linearisierung und nachfolgende Untersuchung, was die nichtlinearen Glieder ausmachen. Oder: Ideale Flugbahnen unter Vernachlässigung der Reibung (Basketball) versus Einfluss der Luftreibung (Federball); an diesem Beispiel ist auch auf die Möglichkeit der Videoanalyse hinzuweisen. – Die dritte, mehr curriculare Schwierigkeit betrifft die Frage, *wo und wann* im Studiengang denn der Umgang mit dem Rechner geübt werden soll. Wir meinen, das kann sinnvoll am ehesten in Übungen (insbesondere zur LV Mathematische Methoden der Physik) oder im Rahmen der Praktika geschehen, sofern dort genügend Präsenzarbeitszeit und eine anschließende nicht betreute individuelle Arbeitszeit zur Verfügung stehen. Als dritte Möglichkeit empfehlen wir, Kompaktkurse in der vorlesungsfreien Zeit anzubieten. Sie haben sich sehr bewährt.

3.10 Medienkompetenz

Ein verwandtes Thema, das aber den schulischen Unterricht wie auch den Hochschulalltag Studierender sehr viel weitläufiger betrifft als nur in der fachlichen Ausbildung, ist die sogenannte *Medienkompetenz*, also die sinnvolle Nutzung elektronischer Medien. In einem Beschluss der **KMK (2012)** wird betont, wie dieser Aspekt für jegliche Ausbildung immer wichtiger wird. Es wird gefordert, „Medienbildung ... auch in der fachbezogenen Lehrerbildung der ersten und zweiten Phase in den Prüfungsordnungen ausreichend und verbindlich zu verankern.“ Das wird ein

wichtiger Bestandteil der Fachdidaktikausbildung sein (s. Anhang B.6). Aber auch in der fachwissenschaftlichen Physikausbildung spielt dies eine immer wichtigere Rolle: Neben der Nutzung von Lernplattformen und der Verwendung elektronisch verfügbaren Lernmaterials, betrifft dies gute und schlechte, kleinere und größere Beiträge im World Wide Web, aber auch Lehrbücher, die Studierende von ihren Uni-Bibliotheken frei herunterladen können, und reicht bis hin zu ganzen Kursangeboten wie etwa den „Massive Open Online Courses“, mit denen man in den USA die exorbitanten Studiengebühren umgehen möchte und die auch hierzulande abgerufen werden können.

Angesichts der stürmischen Entwicklung dieses Bereichs empfehlen wir Aufmerksamkeit für seine Potentiale und eine moderate Integration in den universitären Lehrbetrieb. Aber es gilt nach wie vor auch: Ein selbst durchgeführtes reales Experiment hat einen höheren Bildungswert als das Zuschauen in der virtuellen Welt, auch wenn dort Interaktion möglich ist. Die persönliche Unterweisung durch einen Hochschullehrer, wenn sie denn auf die Bedürfnisse des einzelnen Studierenden eingeht, ist – gerade auch als Modell für den späteren Schulunterricht – nachhaltiger als die noch so schicke App oder die ad libitum verfügbare elektronische Konserve. Damit soll nicht gegen deren Produktion polemisiert werden, im Gegenteil: es kann ungemein lehrreich sein, so etwas zu erarbeiten, sei es als Einzel-Präsentation in einem Projektseminar oder als Projektarbeit eines ganzen Kurses. Aber meist ist das wertvoller für den Lernerfolg als das Produkt eines anderen.

Das Üben eines verantwortungsvollen und effizienten Umgangs mit dem Internet ist sehr wichtig: die Studierenden sollten frühzeitig erkennen, dass das Web – so hilfreich es für viele Informationszwecke auch ist – das Studium guter Lehrbücher nicht ersetzen kann: nur wer über hinreichende fachliche Kompetenz verfügt, ist in der Lage überhaupt zielführend im Internet nach Information zu suchen, und erst recht ein Gefühl für die Qualität der dort angebotenen Information zu entwickeln. Gerade für die künftigen Lehrer ist diese Art der Medienkompetenz unverzichtbar, da sie ihre eigenen Fähigkeiten, damit umzugehen, später weitergeben. Lehrer müssen lernen, dass der einfache Hinweis an einen Schüler „schau doch mal im Internet nach“ nicht akzeptabel ist und die Urteilsfähigkeit des Neulings bei weitem übersteigt – gerade bei der heutigen Generation von Schülern, die meinen sich damit perfekt auszukennen. Zu diesem Thema gibt es auch im Web eine Reihe hilfreicher Einstiegshinweise [s. z.B. [Wikipedia \(2013\)](#), [Dodge \(2007\)](#)].

3.11 Moderne Physik und Technikanwendungen

Im Lehramtsstudium müssen außer den physikalischen Grundeinsichten (quasi dem „Lesen und Schreiben Lernen in Physik“) auch die moderne Physik sowie ein Einblick in die zahlreichen modernen physikalischen und technischen Anwendungen einen Platz haben, natürlich ebenfalls nur exemplarisch. Beides prägt ja die Sicht der Öffentlichkeit auf Physik. Die Lehrenden in der Schule werden damit durch Schülerfragen konfrontiert werden, z. B. zur Nanotechnologie, zu Energiefragen, Medizintechnik, Sternenhimmel, Kosmologie u.a. mehr. Die Auswahl der konkreten Inhalte aus der Fülle interessanter Gebiete der Physik und Technik wird bei der nur geringen Studienzeit, die hierfür bleibt, besonders exemplarisch sein (müssen). Deshalb wird sie gerade in diesem Studienabschnitt besonders stark von den Präferenzen des jeweiligen Fachbereichs abhängen. Beide aber, moderne Physik und Technikanwendungen, dürfen in einem modernen LA-Studium auf keinen Fall fehlen! Andererseits sollen die LA-Studierenden auch nicht auf Spezialgebiete eingeschränkt werden. Vielmehr müssen die Lehrveranstaltungen über die moderne Physik und über technische Anwendungen sich ebenfalls an dem Ziel orientieren, einen Einblick in die Physik als Ganzes zu vermitteln sowie die späteren Lehrer physikalisch zu bilden. Deshalb müssen nach Möglichkeit auch sie *sui generis* konzipiert werden.

3.12 Sprechen über Physik

In den Übungen, den Praktika, bei der Gruppenarbeit bzw. in den Projektseminaren soll *auch* geübt werden, frei über Physik zu sprechen, sich frei, genau und sachkundig auszudrücken. „Über Physik sprechen“ zu können ist ein sehr wichtiger (und leider oft vernachlässigter) Teil von Physik „können“ und darüber wissen. Zu lernen, über Physik klar und richtig zu sprechen, bedarf guter Betreuung durch Erfahrene. Man lernt es nur durch Tun, also in der betreuten Präsenzarbeit (Projektseminare, Praktika, betreuten Übungsgruppen), kaum während der nicht betreuten Arbeitszeit.

Das Sprechen über Physik – im Rahmen der KMK Bildungsstandards ist dies dem „*Kompetenzbereich Kommunikation*“ zuzuordnen – ist auch ein wichtiges Anliegen im Didaktikteil der Lehramtsausbildung (siehe Modul 2a in Kapitel 6.1.3 und Anhang B.7).

Hierzu gehört ein weiterer, gerade für das Lehramt sehr wichtiger Aspekt der schon oben angesprochenen Medienkompetenz: Präsentation von fachlichem Wissen mit Hilfe der einschlägigen Medien: Präsentationen oder Portfolios, Projektor, Beamer, Poster (neuerdings auch Digitale, interaktive Wandtafeln). Erfahrungsgemäß werden dabei beliebig viele Fehler gemacht. Sie sollten heute eigentlich nicht mehr vorkommen angesichts des aktuellen Stands der (Medien)-Technik (und vieler guter Hinweise dazu im Web; aber Vorsicht auch hier, nicht alles, was im Web steht, ist wirklich hilfreich). Dies sollte also, wo immer angebracht und zweckmäßig, bei der Vermittlung von Fachwissen ebenso wie im Didaktik-Teil eingeübt werden (Modul 2a und Anhang B.6).

3.13 Stetes Wiederholen

Das LA-Curriculum in der fachphysikalischen Ausbildung der LA-Studierenden erlaubt wegen seiner Beschränkung im zeitlichen Umfang leider nur in sehr bescheidenem Maße die in der Fachphysiker-Ausbildung möglichen (und wichtigen!) Wiederholungszyklen auf dem jeweils schon erreichten höheren Niveau. Trotzdem ist das Element des Wiederholens wie bei jedem Lernen grundsätzlich auch in der LA-Ausbildung unverzichtbar. Wir empfehlen deshalb nachdrücklich, die Präsenzbetreuung in den Übungen regelmäßig durch Wiederholungen zu bereichern! Besonders in den Anfangssemestern sollte den Studierenden gezeigt und geholfen werden, wie sie Stoff wiederholen und wie sie neuen Stoff eigenständig lernen können. Es ist zweckmäßig und effektiv, die Wiederholungen in Abständen vorzusehen, eventuell unter Einordnung des Gelernten nach neuen Gesichtspunkten. Wiederholung als wichtiges Element des Lernens muss unbedingt auch in die Lehrveranstaltungen des LA-Studiums integriert sein! – Der wichtige Wiederholungszyklus auf höherem Niveau durch die Lehrveranstaltungen der Theoretischen Physik findet sich auch in der LA-Ausbildung wieder, allerdings weit weniger ausgeprägt als in der Ausbildung der Fachphysiker.

Kapitel 4

Fachphysikalische Inhalte

In diesem Kapitel wird das im vorangehenden Kapitel Gesagte zu einer konkreten, beispielhaften Empfehlung entwickelt für die fachlichen Inhalte und ihre Verteilung über das gesamte 10-semesterige Lehramtsstudium.

4.1 Großskalige Aufteilung

Um den in **Kapitel 3** genannten Anforderungen und Gesichtspunkten unter Beachtung der in **Kapitel 2** skizzierten Rahmenvorgaben gerecht zu werden, formulieren wir zunächst die großskalige, inhaltliche Struktur des Lehramtsstudiums im Fach Physik im Umfang von 90 LP. Für die physikalische Fachdidaktik setzen wir insgesamt 30 LP an, worin der von der Physikdidaktik zu betreuende Teil der Schulpraktika enthalten ist. Einzelheiten zur fachdidaktischen Ausbildung in Physik werden in Kapitel **6.1** und **6.2** behandelt.

Es sei nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass diese Empfehlung beispielhaft gemeint ist und weder den Fakultäten noch gar den einzelnen Hochschullehrern die Verantwortung zur individuellen Ausgestaltung abnehmen kann.

Tabelle 3: Verteilung der empfohlenen 120 LP auf sieben Komponenten des LA-Studiums in Physik. In Spalte zwei ist eine beispielhafte Aufteilung dargestellt, die im Anhang (wiederum beispielhaft) detailliert wird. In Spalte 4 sind mögliche Bandbreiten der verschiedenen Bereiche dargestellt, innerhalb derer alternative Aufteilungen sinnvollerweise liegen sollten. Die untere Zahl ist als Mindestumfang für den jeweiligen Bereich zu betrachten. In der Summe sollten jedoch maximal 120 LP angesetzt werden. Bei der „Modernen Physik“ können die Schwerpunkte des jeweils verantwortlichen Fachbereichs/Instituts an der ausbildenden Universität zur Geltung kommen.

Komponenten	Leistungspunkte (empfohlen)	Anmerkungen	Mögliche Bandbreite
Physik 1 - 4	24 LP	davon ca. 1 LP Geschichte der Physik	20 – 30 LP
Praktika	18 LP	3 × 4 = 12 LP Grund- und 6 LP F-Praktikum	15 – 20 LP
Mathematische Methoden	8 LP		5 – 10 LP
Theoretische Physik	14 LP	davon ca. 1 LP Geschichte der Physik	10 – 15 LP
Moderne Physik	16 LP insgesamt 3 LV	Stets 6 LP Astrophysik ferner mit je 5 LP Festkörper; Teilchen und Kerne; oder Atome-Moleküle-Optik oder Weiche Materie oder Biophysik ...	12 – 18 LP
Anwendungen, auch Technik	10 LP		5 – 12 LP
Didaktik der Physik (einschl. Schulpraktika)	30 LP		20 – 30 LP
Physik insgesamt (ohne Abschlussarbeiten)	120 LP		100-120 LP

Tabelle 3 zeigt eine auf vielfältigen Erfahrungen und Zielvorstellungen beruhende großskalige Aufteilung der 120 LP in größere Blöcke, Module oder Gruppen von Modulen. Die auf dieser Struktur basierende Fachphysik-Ausbildung für das gymnasiale LA (90 LP) wird in den folgenden Abschnitten konkretisiert. Die in **Tabelle 3** ebenfalls aufgeführten Anteile der Fachdidaktik (30 LP) werden in Kapitel 6.1 behandelt.

Dazu werden Module vorgeschlagen, in denen nicht nur die Lehrformen, sondern auch der Umfang der Teilthemen in den Lehrveranstaltungen beschrieben werden. Wir haben dabei sehr darauf geachtet, dass dieses Lernpensum von den Studierenden wirklich geleistet werden kann. Auch wird der wichtigen Rolle der Präsenzbetreuung Aufmerksamkeit gewidmet.

Die besondere Erwähnung von je etwa 1 LP für die Geschichte der Physik in den Grundkursen der experimentellen und theoretischen Physik in **Tabelle 3** geschieht im Hinblick auf das in Kapitel 3.7 Gesagte.

Der Hinweis mag nützlich sein, dass die Anwendungen grundsätzlich ebenso wie der Grundkurs Physik P1-P4 (und natürlich die Praktika) experimentell orientiert sein sollen. Es sind damit 52 LP der 90 LP in experimentell ausgerichteten Lehrveranstaltungen zu erarbeiten, 22 LP (Mathematische Methoden und Theoretische Physik) in theorieorientierten und 16 in experimentell-theoretisch gemischten. In der „Modernen Physik“ werden sich experimentelle und theoretische Aspekte die Waage halten. – Ein weiterer Hinweis: Eine Zuordnung von *mehr* als je 6 LP für die vier Grundvorlesungen P1 bis P4 würde dazu führen, dass diese dann im vorgegebenen Rahmen von 10 Leistungspunkten bzw. 15 Wochenstunden praktisch keine weitere LV im Fach Physik neben sich mehr erlauben! Das wäre nicht sinnvoll!

Das LA-Studium sollte nicht nur fachsystematisch angelegt sein, sondern einen nicht nur marginalen leitthemen- bzw. kontext-orientierten Anteil vorsehen, der den analysierenden, phänomen- und themenorientierten Ansatz nutzt oder zumindest aufzeigt. Wir denken daran, dass mindestens 10 LP so erworben werden sollten.

Den zu erwerbenden Leistungspunkten für die jeweiligen Module oder Lehrveranstaltungen werden je nach Lehrform unterschiedliche Semester-Stundenzahlen SWS zugeordnet. Diese SWS bestimmen den wöchentlichen Arbeitsrhythmus. Wie in Kapitel 2.1.2 beschrieben und mit Beispielen erläutert, ergeben sich aus den LP und den SWS die jeweils noch zur Verfügung stehenden, nicht betreuten Wochenarbeitsstunden in Eigenverantwortung EWS-i für die individuelle Hausarbeit in der LV-Zeit. Es gilt $EWS-i = 1,5 \times LP - SWS$, alles in Stunden (Std). Erinnert sei noch einmal daran, dass jede der Lehrveranstaltungs-SWS in der Regel nur 45 Minuten tatsächlich betreuter Arbeitszeit in der Lehrveranstaltungsstunde entspricht, im Folgenden kurz als LV-h bezeichnet. An Hand der LV-h à 45 Minuten lässt sich am übersichtlichsten bewerten, ob der Umfang der zu lernenden Inhalte zu bewältigen sein wird.

Wenn die Fakultäten oder die verantwortlichen Hochschullehrer in den folgenden Empfehlungen etwas für im LA-Studium nicht verzichtbar Gehaltenes vermissen und es ergänzen möchten, können sie es natürlich unter Berücksichtigung der dafür benötigten LV-h hinzufügen. Sie müssen dafür aber anderes, für eher verzichtbar Gehaltenes, in gleichem Umfang herausnehmen! Sonst besteht die große Gefahr, das LA-Studium in Physik zu überfrachten. Wie mehrfach betont und durch viele Erfahrungen belegt, werden der Lehrerfolg und die Nachhaltigkeit des Lernens durch Überfrachtung beeinträchtigt und es kann durch Überforderung zu Demotivation, Verzagen, Frust oder sogar zum Studienabbruch kommen.

4.2 Lehrformen und Umfang der Module

Es werden fünf Formen der Lehr- und Lernarbeit unterschieden: Vorlesungen (V), Präsenz-Übungen mit Anleitung durch einen erfahrenen Betreuer (Ü), Arbeit in Gruppen oder Projektseminaren (G), Praktika (P) sowie individuelle Beschäftigung mit Hausaufgaben, Protokollen, Vor- und Nacharbeit, Prüfungsvorbereitung in eigener Regie der Studierenden (EWS).

Von besonderer Bedeutung, gerade für das LA-Studium, ist die *Arbeit in Gruppen oder Projektseminaren* (G), organisiert von den Lehrenden und/oder Studierenden. Dabei kann man an unterschiedliche Arbeitsformen denken. Bei Gruppenarbeit wird es mehr um das gemeinsame Erarbeiten eines Themas gehen, bei Projektseminaren mehr um die Präsentation – die Grenzen sind fließend. Im Gegensatz zum klassischen, meist eher als eine Serie von Monologen wahrgenommenen Seminar, kommt es hier auf die möglichst aktive Mitarbeit aller Teilnehmer an. Zum Beispiel können sich mehrere Gruppen bilden, die jeweils ein Thema („Projekt“) erarbeiten und es dann den anderen vorstellen. Alternativ kann man an mehrere kurze Impulsvorträge denken, die eine gemeinsame Diskussion stimulieren. Wichtig ist dabei die aktive Rückkopplung zwischen Zuhörern und Vortragenden, auch soweit es Stil, Form, Inhalt und Qualität des Vortrags betrifft. Nicht zuletzt sollen die künftigen Lehrer hierbei üben, wie man physikalische Inhalte professionell präsentiert und seine Zuhörer fesselt. Der Phantasie der verantwortlichen Hochschullehrer sind hier keine Grenzen gesetzt.

Bis auf die nicht betreute Eigenarbeit findet die Lehre an der Universität statt und wird in SWS eingeteilt und organisiert. Für jedes einzelne Modul muss realistisch abgeschätzt werden, wie das vorgegebene Zeitbudget ($1,5 \times \text{LP Std pro Woche}$) am sinnvollsten in betreute SWS und nicht betreute eigenverantwortete Wochenarbeitszeit während (EWS-i) und außerhalb (EWS-a) der Vorlesungszeit aufzuteilen ist. Wir machen dazu weiter unten Vorschläge.

4.2.1 Physik 1 bis 4 (P1 bis P4)

Die physikalische Grundausbildung findet in Vorlesungen, Übungen und Praktika statt, die den Hauptteil der ersten vier Semester ausmachen. Den LV Physik P1 – P4 mit zusammen 24 LP entsprechen nach dem konventionellen Schlüssel, wonach das Verhältnis LP:SWS gleich 3:2 wäre, gerade 16 SWS, also gerade einmal je 4 (!) SWS Experimentalphysik in den ersten vier Semestern. Das ist deutlich weniger als das Lehrangebot für die Grundausbildung der Fachphysiker (und macht eben deshalb Lehrveranstaltungen *sui generis* für das LA notwendig). Deshalb sei auch noch einmal der Hinweis gestattet, bei geeigneten Lehrinhalten und -konzepten die Möglichkeit einer Kombination mit anderen Physik-Ausbildungsgängen zu prüfen, wie etwa mit denen für Biologen, Chemiker, Mathematiker, Ingenieurwissenschaftler, Mediziner. Die Studierenden würden danach in den 14 LV-Semesterwochen $14 \text{ Std/SWS} \times 16 \text{ SWS} = 224 \text{ Std}$, also mit 31% weniger als ein Drittel der Arbeitszeit (von 720 Std für die 24 LP à 30 Std), in Lehrveranstaltungen an der Universität verbringen, und etwa zwei Drittel individuell zu Hause studieren. Selbst in der LV-Zeit wäre die nicht betreute Wochenarbeitszeit EWS-i mit 5 Std pro Woche größer als die 4 Std Präsenzarbeitszeit in den Lehrveranstaltungen an der Hochschule (bei $1,5 \times 6 = 9 \text{ Std insgesamt}$). Erfahrungsgemäß sind viele Studierende aber gerade in der Anfangszeit mit dem Ausarbeiten des Erlernten und dem eigenständigen Bearbeiten von Übungsaufgaben so sehr überfordert, dass sie, allein gelassen, oft das Handtuch werfen und die nicht betreute Zeit nicht nutzen. Aus genau diesem Grunde haben wir in Kapitel 3.3 empfohlen, die Zahl der betreuten SWS tendenziell gegenüber den individuellen Wochenarbeitsstunden EWS-i zu vergrößern.

Wir ordnen deshalb den 6 LP für jeden der Grundkurse P1 bis P4, anders als konventionell üblich, statt nur 4 jetzt 6 SWS zu. Das ermöglicht eine traditionelle Aufteilung jedes Grundkurses in 4

SWS Vorlesungen und 2 SWS Übungen. – Wir regen sogar an, auch den Gedanken zu prüfen, die betreuten Übungen von 2 auf 3 SWS aufzustocken bei gleichzeitiger Reduktion des Vorlesungsanteils auf dann ebenfalls 3 SWS. Das führt zwar zu einer Verringerung des in der Vorlesung (V) zu vermittelnden Stoffes, wird diesen aber dafür nachhaltiger in den Übungen (Ü) vertiefen. Zumindest ein Teil des in der Vorlesung weggelassenen Stoffes könnte in betreuter Arbeit nachgearbeitet werden. – In Anhang 4.2.1 werden wir einen an der Aufteilung 4 Std V + 2 Std Ü orientierten Vorschlag über die fachlichen Inhalte der Grundkurse machen. Bei der 3+3-Variante wären die Fachinhalte zu reduzieren! In beiden Varianten beträgt die nicht betreute Arbeitszeit EWS-i genau 3 Stunden, was auch nötig erscheint.

Wie schon betont, halten wir vor allem die Verbesserung der Betreuung in den Übungen inklusive des unbedingt nötigen Wiederholens für wichtig. In den Übungen sollte unter kundiger Betreuung und in ruhiger, offener Atmosphäre an den Schwierigkeiten beim Erfassen und Verstehen von Vorlesung und Aufgaben gearbeitet werden. Die Lösungen der gestellten Aufgaben sollten am Ende soweit vorbereitet sein, dass jeder sie zu Hause aufschreiben kann. Die Aufgaben selbst sollen eng mit der Vorlesung abgestimmt sein und keine mathematischen Fertigkeiten erfordern, die über das aus der Schule Mitgebrachte bzw. das in den „Mathematischen Methoden der Physik“ Gelernte hinausgehen. Sonst muss es hier, in den Übungen, ergänzt werden.

In jedem der vier Semester stehen demnach $4 \text{ SWS} \times 14$, also 56 Std Präsenzarbeitszeit für die vermittelnde Lehre (Vorlesung) im Fach Physik zur Verfügung. Das sind 56 LV-h à 45 Minuten – nicht eben viel, doch erlaubt der für ein LA-Studium gesetzte Rahmen (zwei Fächer plus BW) einfach nicht mehr. Dazu kommen je $2 \text{ SWS} \times 14$, also 28 Std bzw. LV-h à 45 min Übungen und Wiederholungen. Zusammen beträgt die Präsenzarbeitszeit damit 84 Std, also 47% der gesamten Arbeitszeit von 180 Std zum Erwerb der 6 LP. (Für die 3+3 Variante lauten die Zahlen 42 Std für V und ebenso viele für Ü, insgesamt genauso viel Präsenzarbeitszeit von 84 Std, also ebenfalls 47% der Arbeitszeit für diese LV.) Für die Studierenden bedeutet unsere Empfehlung gegenüber der traditionellen „3LP entsprechen 2SWS“-Regel eine Verschiebung ihrer Studienarbeit zugunsten betreuter Präsenzarbeitszeit und zulasten der individuellen nicht betreuten Arbeitszeit EWS-i. Das verstehen wir als eine erhebliche Verbesserung der Lehre in den Anfangssemestern. Das gilt sowohl für die 4+2 als auch für die 3+3 Variante.

4.2.2 Grund-Praktika und Fortgeschrittenen Praktikum (GP und FP)

Zum fachphysikalischen Studium gehören ganz wesentlich die Praktika, in denen experimentelle und praktische Fähigkeiten vermittelt werden, in der Sprache der KMK-Standards also die Methoden der *Erkenntnisgewinnung* und durch die Arbeit in kleinen Gruppen auch die Fähigkeit zur *Kommunikation*. Die eigene Beschäftigung mit physikalischen Fragestellungen und deren Beantwortung durch Experimente ist ein extrem wichtiger Lernprozess, der zugleich Spaß und Freude an der Physik vermitteln soll. Ferner stellt das Praktikum eine sehr nachhaltige Wiederholung von physikalischen Inhalten und Konzepten dar, die in den anderen Lehrveranstaltungen bzw. aus Büchern gelernt wurden. Praktika haben daher auch im LA-Studium einen zentralen Stellenwert. Die Praktika sollten speziell für das LA-Studium konzipiert sein und den größten Teil der dafür veranschlagten Zeit als Präsenzarbeitszeit vorsehen. Die Themenauswahl der Praktikumsversuche ist von jeher exemplarisch, selbst in der Ausbildung der Fachphysiker. Sie sollte sich aber in der LA-Ausbildung einerseits an schultypischen Fragestellungen orientieren, andererseits das Verständnis wichtiger physikalischer Sachverhalte und Konzepte fördern. Besonderes Augenmerk soll auf die Entwicklung der praktischen Fähigkeiten der Studierenden gelegt werden. Sie sollen lernen, mit schultypischen Geräten umzugehen, sie sollen ferner spezifische Schulexperimente kennenlernen, grundlegende handwerkliche Fähigkeiten erwerben, einfache elektrische und elektronische Schal-

tungen entwerfen und realisieren können. – Auch in den Praktika sollen die schon genannten, für das LA-Studium charakteristischen inhaltlichen und methodischen Spezifika beachtet werden; noch einmal sei auf die schon in Kapitel 3.10 genannte Medienkompetenz hingewiesen.

Grundsätzlich können Praktika, ganz oder teilweise, auch als sog. Projektpraktika durchgeführt werden. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Realisierung von Experimenten, welche die Studierenden selbst konzipieren, aufbauen, durchführen und auswerten – natürlich unterstützt von kompetenten Tutoren. Der organisatorische, technische und materielle Aufwand für solche Projektpraktika ist naturgemäß deutlich höher als bei konventionellen Praktika mit festen Versuchsaufbauten – er führt die Studierenden aber im Erfolgsfall viel näher an die Realität physikalischer Forschung und fördert die Entwicklung experimenteller Fähigkeiten. Gerade für LA Studierende bieten solche Projektpraktika daher eine hervorragende Vorbereitung für die spätere Arbeit in der Schule.

In allen Praktika zusammen sind insgesamt 18 LP zu erwerben. Davon entfallen 12 LP auf die drei Grundpraktika (GP1 bis GP3) zu je 4 LP sowie 6 LP auf das Fortgeschrittenen-Praktikum (FP). Der größte Teil der für die Praktika veranschlagten Zeit soll Präsenzarbeitszeit sein. Für die Grundpraktika setzen wir 5 SWS Präsenzzeit an, was impliziert, dass nur noch 1 Std nicht betreute Wochenarbeitszeit (1 EWS-i) bleibt. Mit 9 empfohlenen SWS ($1,5 \times 6$ LP) für das F-Praktikum verbleibt für nicht betreute Arbeit während des Semesters gar keine Zeit mehr, ist also EWS-i = 0 Std. Für alle Praktika können, sollen, ja müssen am Ende eines Praktikumstages Auswertung und Protokoll im Wesentlichen abgeschlossen sein!

Wenn die Praktika als Blockveranstaltungen über mehrere Tage in der lehrveranstaltungsfreien Zeit organisiert werden – was wir für eine sehr sinnvolle Variante halten – kann damit während des Semesters individuelle nicht betreute Wochenarbeitszeit gewonnen werden, die der Beschäftigung mit anderen Lehrveranstaltungen zu Gute käme. Falls allerdings eine enge Verzahnung mit den einführenden Physik-Kursen P1 – P4 angestrebt wird, scheiden für die Praktika Kompaktkurse in der vorlesungsfreien Zeit aus. Wir erinnern hier noch einmal daran, dass mehr als zwei Lehrveranstaltungen pro Semester wegen der Arbeitszeitschranke von 15 Std pro Woche für die Physik nicht möglich sind. Falls also die Praktika verzahnt werden (sollen), sind die Lehrveranstaltungen „Mathematischen Methoden der Physik“ nicht mehr in den Anfangssemestern machbar. – Möglich sind Mischformen, bei denen nur eins oder zwei der Grundpraktika als Blockpraktikum durchgeführt werden.

Inhaltlich sollen in den drei **Grundpraktika** neben dem Aufbau von Experimenten und dem Umgang mit Messgeräten auch elementare Arbeitsmethoden wie Protokollführung, Fehlerbehandlung, graphische Darstellung von Hand und mit Computer sowie statistische Analyse eingeübt werden. Dazu gehört ferner der Erwerb von Grundkenntnissen in Elektronik und im Bau einfacher elektronischer Schaltungen sowie die Datenerfassung und die Nutzung von Rechnern, wie in Kapitel 3.9 besprochen.

Das Fortgeschrittenen-, auch Forschungs-Praktikum (FP) genannt, soll – sofern eher konventionell angelegt – mit Messverfahren und experimentellen Fragestellungen der modernen Physik vertraut machen (Atomphysik, Quantenoptik, Teilchenphysik, Umweltphysik, kondensierte Materie,...).

Wir empfehlen aber, auch weniger konventionelle Alternativen zu prüfen, auch wenn dafür gilt: *Mut zum Experiment!* Der klassische Bildungsweg der Lehramtsstudierenden aus der Schule, in die Universität und dann zurück in die Schule ist nicht unbedingt optimal für eine moderne, lebensnahe Ausbildung von Lehrkräften in naturwissenschaftlichen Disziplinen. Das kann durch eine intensive, praktische Tätigkeit in einem Berufsfeld aufgebrochen werden, das zum MINT-

Bereich gehört und möglichst forschungsnah sein sollte. Ein solches *Berufspraktikum* ist der ideale Ort für einen Kompetenzerwerb im Bereich „Erkenntnisgewinnung“. Im Sinne der vorangehenden Ausführungen zu Physik und Technik in Kapitel 3.11 kann ein solches *Berufs- oder Forschungspraktikum* eine hervorragende Lehr- / Lernsituation bieten. Ein realisiertes Beispiel wird an der Humboldt Universität erprobt.⁹ Das hierbei durchgeführte 4 wöchige Forschungspraktikum in einem Forschungsinstitut oder in der Industrie wird vor allem dann attraktiv, wenn Leistungspunkte aus zwei MINT Fächern gleichzeitig erworben werden können. Dafür ist natürlich eine gute interdisziplinäre Abstimmung erforderlich.

4.2.3 Mathematische Methoden der Physik (MM)

Dieser Kurs begleitet in den ersten beiden Semestern die experimentelle Physik und wird von den Studierenden erfahrungsgemäß als schwer bis zu schwer empfunden. Deshalb empfehlen wir, besonders hier die Präsenzzeit bei den Übungen zu erhöhen. In jedem der ersten beiden Semester sind 4 LP durch Teilnahme an diesen Lehrveranstaltungen zu erwerben. Dem entsprechen $4 \text{ LP} \times 1,5 \text{ Std/LP} = 6 \text{ Std}$ Arbeitszeit pro Woche, und zwar für V, Ü aber auch Übungsaufgaben (-zetteln) insgesamt! Das ist nicht eben viel, wenn man die Arbeit an den ausgegebenen Übungsaufgaben realistisch einschätzt. Wir empfehlen: Die 4 LP in MM pro Semester sollen bei sehr guter Betreuung in 2 SWS für die Vorlesung und 3 SWS für die betreuten Übungen erarbeitet werden. Für die individuelle nicht betreute Nacharbeit während des Semesters steht dann lediglich noch 1 Std Wochenarbeitszeit zur Verfügung, $\text{EWS-i} = 6 \text{ Std} - 5 \text{ SWS Std} = 1 \text{ Std}$. Es bleibt also kein Platz mehr für weitere Hausaufgaben! Es soll und darf deshalb bei den Mathematischen Methoden keinen(!) Übungszettel für Hausaufgaben mehr geben. Dafür ist der Betreuungsgrad überdurchschnittlich gut. In der nicht-LV-Zeit haben die Studierenden dann noch weitere 6 nicht betreute Wochenarbeitsstunden, EWS-a, für das Nachbereiten und die Prüfungsvorbereitung.

Mit dem Lehrangebot von 6 LP für Physik 1 und 4 LP für die Mathematischen Methoden wird die Grenze von 10 LP für ein Semester gerade genau ausgeschöpft. Der stoffliche Inhalt ist diesem Zeitbudget gut anzupassen. Eine weitere fachphysikalische LV ist nicht mehr möglich.

4.2.4 Theoretische Physik (T1 bis T3)

Die Lehrveranstaltungen zur Theoretischen Physik sollen für die LA-Studierenden vor allem ein wichtiger Beitrag zu *ihrer Bildung als Physiker* sein. Nicht nur aus Gründen der beschränkten Studienzeit sondern auch wegen der späteren Berufsaufgaben der Lehrer können die LV in Theoretischer Physik nicht eine – dann sowieso nur rudimentäre – Fachausbildung zum Ziel haben.

Wir empfehlen ein Angebot von drei Theorie-LV für LA-Studierende in den Semestern 5 bis 7, also nach dem Grundkurs Physik P1 bis P4, mit $6 + 4 + 4$ Leistungspunkten. Die 6 LP des 5. Semesters umfassen 3 SWS Vorlesung + 3 SWS Präsenzübungen, die 4 LP der beiden anderen Semester haben das Format 2 SWS V + 2 SWS Ü. Auch hier soll in betreuten Übungen gründlich an den Schwierigkeiten der Studierenden gearbeitet werden, so dass die Aufgaben danach in nicht mehr als 3 bzw. 2 Stunden pro Woche bewältigt werden können ($\text{EWS-i} = 1,5 \times 6 - 3 - 3 = 3 \text{ Std}$ bzw. $1,5 \times 4 - 2 - 2 = 2 \text{ Std}$). – Die Präsenzarbeitszeit in den drei Semestern beträgt zusammen $14 \text{ Std/SWS} \times (6+4+4)\text{SWS} = 196 \text{ Std}$, das sind 47% der 420 Std für die insgesamt 14 LP. Auf die eigenverantworteten Hausarbeitsstunden entfallen $(3+2+2) \times 14 = 98 \text{ Std}$, also nur halb so viel: wieder also ist der Betreuungsgrad erheblich besser als bisher üblich. Für die nicht betreuten Wo-

⁹ <http://www.promint.hu-berlin.de/mint-lehre/praktikum>

chenarbeitsstunden, EWS-a, in der nicht-LV-Zeit verbleiben mit insgesamt 126 Std (6+4+4 Wochen à 9 Stunden) noch 30%.

In den Semestern 5 und 6, den beiden letzten der Bachelorphase, werden die wichtigsten Grundlagen der theoretischen Begriffsbildungen, Denkstrukturen und Methoden, auch analytische Zugänge vermittelt. Zu Beginn des Masterstudiums, im 7. Semester, findet dann noch eine bescheidene Vertiefung und Ergänzung statt.

4.2.5 Moderne Physik (MP1 bis MP3)

Moderne Physik soll in drei inhaltlich verschiedenen Teilen angeboten werden. Ein Teil MP1 soll auf jeden Fall Astronomie, Astrophysik und Kosmologie sein. Dazu kommen MP2 Festkörperphysik und MP3 Teilchen- und Kernphysik; je nach örtlichen Gegebenheiten können dies auch alternativ andere Gebiete sein, etwa Atome, Moleküle und Optik, die Physik der weichen Materie oder Biophysik. Für MP1, MP2 und MP3 sind 6 LP + 5 LP + 5 LP vorzusehen, jeweils im Format 2 SWS Vorlesung (V) + 3 SWS Projekt- oder Gruppenseminar (G), sowie nicht betreute, eigenverantwortete Wochenarbeitsstunden EWS-i von 4 Std bzw. je 2,5 Std. Ein wichtiger Aspekt in G soll dabei die Bearbeitung von Teilthemen in eigener Initiative der Studierenden sein. Damit entfallen $(5+5+5) \times 14 = 210$ von $(6+5+5) \times 30 = 480$ Stunden Gesamtarbeitszeit auf die Präsenzveranstaltungen, mit 44% also knapp die Hälfte. Die Vorlesung soll Übersicht und Orientierung vermitteln, vor allem aber leitthemenorientiert die Eigenarbeit der Studierenden im Projektseminar (G) unterstützen. Das Projektseminar soll exemplarisch detaillieren und ergänzen. Der Astrophysik inklusive Astronomie geben wir wegen des großen Schülerinteresses bei der LA-Ausbildung ein höheres Gewicht.

4.2.6 Anwendungen in Physik und Technik (A1, A2)

Hier werden aktuelle und gesellschaftlich relevante Themen mit Bezug zur Physik und zur Technik behandelt. Letzteres ist wichtig, weil der schulische Physikunterricht nicht zuletzt auch auf allgemein interessierende technische Verfahren und Entwicklungen einzugehen hat. Diese Lehrveranstaltungen finden in einem höheren Semester statt. Sie sind experimentorientiert und ergänzen die vier experimentellen Grundvorlesungen in den Anfangssemestern. Mit insgesamt 10 LP in zwei Semestern à 5 LP lassen sich im Curriculum damit deutliche Akzente setzen.

In den beiden Lehrveranstaltungen A1 und A2 sollen die Studierenden möglichst selbst gewählte Leitthemen oder kontextorientierte Fragen in Gruppenarbeit untersuchen, zwar mit Anleitung, aber vorwiegend in eigener Initiative. Mehrere Gruppen beschäftigen sich mit je einem Thema und präsentieren in gemeinsamen Sitzungen die Ergebnisse. Um dabei auf Grundlagen in der Physik zurückgreifen zu können, sollte mit dieser Lehrveranstaltung nicht vor dem 6. Semester begonnen werden. Wir empfehlen für beide Semester eine Aufteilung in 3 SWS Vorlesung/Plenum plus 3 SWS Arbeit im Gruppen- oder Projektseminar. Für die nicht betreuten Wochenarbeitsstunden EWS-i verbleiben dann allerdings nur 1,5 Std pro Woche, wiederum schmerzlich wenig.

Wir weisen auf eine bedenkenswerte und attraktive Alternative hin. Man stärkt die Moderne Physik zu Lasten der Anwendungen, indem alle drei Lehrveranstaltungen Moderne Physik mit je 6 LP angeboten werden und die beiden Lehrveranstaltungen Technikanwendungen mit je 4 LP. Dadurch lassen sich fachbereichsspezifische Prioritäten setzen. Es sind auch Hybridformen beider Alternativen denkbar.

4.3 Übersicht und Curriculum

Wir fassen nun die im Abschnitt 4.2 entwickelten Vorschläge für die Lehrveranstaltungen in der fachphysikalischen LA-Ausbildung in der folgenden **Tabelle 4** zusammen, gegliedert nach den 6 Komponenten Physik (P), Grundpraktikum (GP) und Fortgeschrittenen Praktikum (FP), Mathematische Methoden (MM), Theorie (T), Moderne Physik (MP) und Anwendungen (A). Dabei geht es darum, aus all diesen Überlegungen und Rahmenbedingungen ein studierbares Curriculum zu entwickeln.

Tabelle 4: Lehrformate V, Ü, G, P und nicht betreute Wochenarbeitszeit EWS-i während (i = in) der Lehrveranstaltungszeit der fachphysikalischen LA-Ausbildung. Die ersten beiden Spalten enthalten die Namen der LV, aus denen dann die eigentlichen Module zu bilden sind. In der dritten Spalte wird die jeweilige Gesamtzahl der zu erwerbenden Leistungspunkte angegeben. Die nächsten vier Spalten geben die auf ein Semester bezogene Zahl wöchentlicher Präsenzarbeitsstunden für Vorlesungen (V), Übungen (Ü), Gruppenarbeit bzw. Projektseminare (G) und Praktika (P) an. In der vorletzten Spalte findet sich die Zahl der nicht betreuten Wochenarbeitsstunden der Studierenden während des Semesters (EWS-i). Die letzte Spalte gibt die Summe aus SWS und EWS-i wieder, die gleich der nicht betreuten Wochenstundenzahl EWS-a für diese LV außerhalb der LV-Zeit ist. Jede Zeile der Tabelle entspricht einer LV in einem Semester. Module können ein oder mehrere Semester umfassen.

Name der Lehrveranstaltung		LP	SWS				EWS-i	EWS-a
			V	Ü	G	P	Std	Std
P1	Physik 1: Mechanik – Thermodynamik	6	4	2	–	–	3	9
P2	Physik 2: Elektrodynamik – Relativität	6	4	2	–	–	3	9
P3	Physik 3: Optik – Quantenphysik	6	4	2	–	–	3	9
P4	Physik 4: Quantenmechanik – Atomphysik	6	4	2	–	–	3	9
GP1	Grundpraktikum 1	4	–	–	–	5	1	6
GP2	Grundpraktikum 2	4	–	–	–	5	1	6
GP3	Grundpraktikum 3	4	–	–	–	5	1	6
FP	Fortgeschrittenenpraktikum	6	–	–	–	9	–	9
MM1	Mathematische Methoden 1	4	2	3	–	–	1	6
MM2	Mathematische Methoden 2	4	2	3	–	–	1	6
T1	Theoretische Physik 1	6	3	3	–	–	3	9
T2	Theoretische Physik 2	4	2	2	–	–	2	6
T3	Theoretische Physik 3	4	2	2	–	–	2	6
MP1	Astronomie – Astrophysik - Kosmo- logie	6	2	–	4	–	3	9
MP2	Festkörperphysik	5	2	–	3	–	2,5	7,5
MP3	Teilchen- und Kernphysik	5	2	–	3	–	2,5	7,5
A1	Anwendungen 1	5	3	–	3	–	1,5	7,5
A2	Anwendungen 2	5	3	–	3	–	1,5	7,5
Σ	Summe	90	39	21	16	24	35	135

Ohne die Fachbereiche und Hochschullehrer ihrer Verantwortung dafür zu entheben, machen wir einen Vorschlag, der als Beispiel, quasi als ein Existenzbeweis, dienen möge. Er beachtet die verschiedenen Beschränkungen und Rahmenbedingungen. Eine daraus folgende, naheliegende Semestereinteilung zeigt **Tabelle 5**, graphisch dargestellt in **Abbildung 3**.

In den ersten sechs Semestern, also in der Bachelorphase, wird ein Grundstudium absolviert, auf dem in der Masterphase die fortgeschrittenen Veranstaltungen aufbauen. Bei der Bachelor- und

Master-Studienorganisation erfolgt nach dem 6. Studiensemester eine Bachelorprüfung. Sofern das LA-Studium mit einem herkömmlichen Staatsexamen abschließt, entfällt die (Bachelor-) Zwischenprüfung. Da in beiden Fällen zum Erwerb der Gymnasiallehrerbefähigung das gesamte Studium von 10 Semestern zu absolvieren ist, werden die Studieninhalte in beiden Fällen im Wesentlichen gleich sein.

Tabelle 5: Die Verteilung der Lehrveranstaltungen (LV) in der fachphysikalischen LA-Ausbildung auf die 10 Studiensemester. 1. Spalte: Semesternummern; 2. Spalte: Namen der jeweiligen LV; 3. Spalte: zu erwerbende Leistungspunkte (LP); 4. Spalte: Semesterwochenstunden (SWS) für alle LV in diesem Semester; 5. Spalte: nicht betreute Wochenarbeitsstunden (EWS-i) in der LV-Zeit; 6. Spalte: nicht betreute Wochenarbeitsstunden (EWS-a) während der 6 Wochen außerhalb der LV-Zeit; diese sollten aber nicht mehr den einzelnen Lehrveranstaltungen zugeordnet werden. Es sind 14/27 oder 52 % des Studiums der Fachphysik betreute LV und 13/27 oder 48 % eigenverantwortete, nicht betreute Wochenarbeitszeit.¹⁰

Sem	Lehrveranstaltungen	LP	SWS	EWS-i	EWS-a
1.	P1 und MM1	6 + 4 = 10	6 + 5 = 11	3 + 1 = 4	15
2.	P2 und MM2	6 + 4 = 10	6 + 5 = 11	3 + 1 = 4	15
3.	P3 und GP1	6 + 4 = 10	6 + 5 = 11	3 + 1 = 4	15
4.	P4 und GP2	6 + 4 = 10	6 + 5 = 11	3 + 1 = 4	15
5.	T1 und GP3	6 + 4 = 10	6 + 5 = 11	3 + 1 = 4	15
6.	T2	4	4	2	6
7.	FP und T3	6 + 4 = 10	9 + 4 = 13	0 + 2 = 2	15
8.	MP2 und A1	5 + 5 = 10	5 + 6 = 11	2,5 + 1,5 = 4	15
9.	MP3 und A2	5 + 5 = 10	5 + 6 = 11	2,5 + 1,5 = 4	15
10.	MP1	6	6	3	9
Σ	Summe	90	100	35	135

Abbildung 3 stellt die Semestereinteilung der Lehrveranstaltungen bzw. Module des fachphysikalischen Curriculums gemäß Tabelle 3 graphisch dar. Wir kommen in Kapitel 6 auf diese Übersicht noch einmal zurück und illustrieren ihr Zusammenwirken mit den entsprechenden Modulen aus der Fachdidaktik.

An dieser Stelle sei freilich noch einmal darauf hingewiesen, dass die hier vorgeschlagene Absenkung der Lernbelastung im Fach Physik in den beiden Examssemestern gegenüber dem 10-semesterigen Mittelwert – so wünschenswert sie auch sein mag – nur in enger Abstimmung mit den übrigen Fächern möglich ist. Sie erfordert ja in den anderen Semestern die Anhebung der Semesterarbeitslast um ca. 10 % (1 LP entsprechend 1,5 Wochen Std) gegenüber dem Mittelwert über alle 10 Studiensemester (9 LP entsprechend 13,5 Wochen Std). Soll dies insgesamt zu einer Entlastung in den Examssemestern führen, so folgt daraus zwangsläufig eine entsprechende Anhebung für die beiden Fächer und die Bildungswissenschaften zusammen über die Obergrenze von 30 LP (45 Wochen Std) hinaus in anderen Semestern. (Siehe dazu auch die generelle Übersicht in Kapitel 2.1.3 sowie die Ausführungen im Zusammenhang mit dem Fachdidaktik Lehrangebot in Kapitel 6.2.)

¹⁰ Die 2700 Stunden für die Fachphysik teilen sich auf in $100 \times 14 = 1400$ betreute und $35 \times 14 + 135 \times 6 = 1300$ nicht betreute.

Nach dieser grundsätzlichen Ausarbeitung eines fachphysikalischen Curriculums sind nun die physikalischen Inhalte der LV zu überlegen. In **Anhang A** werden konkrete inhaltliche Vorschläge für die Lehrveranstaltungen der Fachphysik gemacht. Hier gibt es Gestaltungsspielraum für die verantwortlichen Hochschullehrer. Um das zu zeigen, beschreiben wir zumindest zwei Mal jeweilige Alternativen.

Anhang **A.1** enthält eine umfangreiche Liste von kontextorientierten Leitthemen für die relevanten Gebiete. Anhang **A.2** führt die fachsystematischen Inhalte im Detail aus. Hierfür werden auch die jeweils benötigten Zeiten abgeschätzt; oft wird erst dadurch wirklich klar, wie begrenzt die Zeit und damit der Lehrkanon tatsächlich ist.

Die entsprechende inhaltliche Ausgestaltung des fachdidaktischen Curriculums wird in **Anhang B** beschrieben. In Anhang **C** schließlich wird das Idealbild der auf diese Weise ausgebildeten Physiklehrer entworfen.

Std

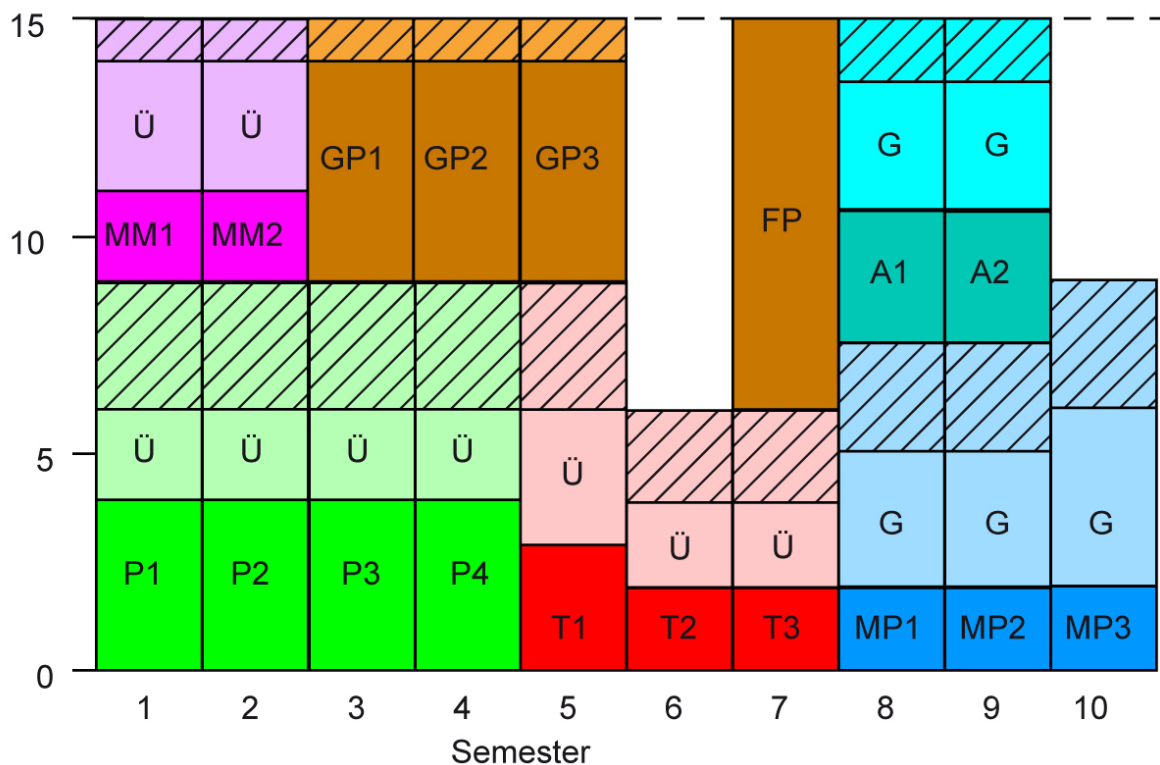


Abbildung 3: Graphische Darstellung des fachphysikalischen LA Curriculums entsprechend **Tabelle 5**. Die nicht betreuten Wochenarbeitsstunden während der Lehrveranstaltungszeit, EWS-i, erscheinen schraffiert, die Lehrveranstaltungen (LV) werden durch glatte Flächen gekennzeichnet; darin eingetragen ist die Art der LV, also Vorlesung (jeweilige Abkürzung gemäß Tab. 2), Übung (Ü), Gruppenarbeit (G), Praktikum (GP bzw. FP). Die Farben der sechs Arten der Module entsprechen: grün für Physik 1– 4, magenta für Mathematische Methoden, braun für Praktika, rot für Theoretische Physik, blau für Moderne Physik und cyan für Anwendungen. Die gestrichelte Linie am oberen Rand zeigt die Stundenzahl 15 Std, die nach den in **Kapitel 2** diskutierten bildungspolitischen Vorgaben nicht überschritten werden soll (s. insbes. Kapitel **2.1.2: Arbeitszeiten**).

4.4 Zusätzliche Anmerkungen zum Curriculum

4.4.1 Pflicht- und Wahlbereiche

Wir haben die Fachausbildung nicht explizit nach Pflicht- und Wahlbereichen detailliert. Eine gewisse Wahlfreiheit besteht aber neben der Auswahl von Themen in der Modernen Physik auch bei den Anwendungen in Physik und Technik. (Hier sei noch einmal betont: Technische Anwendungen sollten unbedingt angeboten werden. Denn wenn die Physik das nicht tut, werden das andere besetzen – was dann gewiss zu Lasten der Physikausbildungszeit gehen würde.) Bei der Konzeption ihres Curriculums müssen die Fakultäten also darauf achten, dass die von ihnen für unverzichtbar gehaltenen Themen auf jeden Fall bereits im Pflichtkanon vorkommen.

Neben den Grundelementen der fachlichen LA-Ausbildung, also der Mechanik, Wärmelehre, Elektrodynamik, Relativitätsphysik, Optik, Quantenphysik gehören dazu auch Atome, Moleküle, Kerne und Elementarteilchen. Das schließt die Vertrautheit mit Kernspaltung, Radioaktivität, ionisierender Strahlung sowie den Grundbausteinen der Materie ein. Sofern es nicht sicher in späteren Lehrveranstaltungen gelehrt wird, müssen diese Themen bereits in den Grundkurs kommen, gegebenenfalls unter Verzicht auf anderes dort.

4.4.2 Leistungspunkte und Arbeitsbelastung

Das besprochene Muster-Curriculum legt folgende Daten zu Grunde (siehe Kapitel 2): Die Studienarbeitszeit beträgt 45 Arbeitsstunden pro Woche bei 20 Arbeitswochen pro Semester, von denen 14 Wochen Lehrveranstaltungszeit sind, bei insgesamt 10 Semestern. Pro Semester sind 30 Leistungspunkte zu erwerben, wobei jeder LP 30 Studienarbeitsstunden erfordert. Die Vermittlung der Fachphysik erfolgt in einer Arbeitszeit von 270 Std zum Erwerb von 90 LP, die der Fachdidaktik in 900 Std für 30 LP.

Wie eingangs erwähnt, schwanken diese Zahlen für die verschiedenen Bundesländer, teilweise deutlich. Die Fakultäten müssen das beachten und haben teils deutlich weniger, teils mehr Zeit für die Vermittlung der Physik. Die KMK formuliert den Rahmen wie folgt [KMK (2010)]:

„Leistungspunkte sind ein quantitatives Maß für die Gesamtbelastung des Studierenden. Sie umfassen sowohl den unmittelbaren Unterricht als auch die Zeit für die Vor- und Nachbereitung des Lehrstoffes (Präsenz- und Selbststudium), den Prüfungsaufwand und die Prüfungsvorbereitungen einschließlich Abschluss- und Studienarbeiten sowie gegebenenfalls Praktika.¹¹ In der Regel werden pro Studienjahr 60 Leistungspunkte vergeben, d.h. 30 pro Semester. Dabei wird für einen Leistungspunkt eine Arbeitsbelastung (work load) des Studierenden im Präsenz- und Selbststudium von 25 bis maximal 30 Stunden angenommen, sodass die Arbeitsbelastung im Vollzeitstudium pro Semester in der Vorlesungs- und der vorlesungsfreien Zeit insgesamt 750 – 900 Stunden beträgt. Dies entspricht 32 – 39 Stunden pro Woche bei 46 Wochen pro Jahr. Die Hochschulen haben die Studierbarkeit des Studiums unter Berücksichtigung der Arbeitsbelastung der Studierenden (im Akkreditierungsverfahren) nachvollziehbar darzulegen.“

Der Akkreditierungsrat setzt das so um [KMK (2011), Akkreditierungsrat (2008)]: „Die konkrete Festlegung, wie viele Arbeitsstunden innerhalb der Bandbreite von 25 – 30 einem ECTS-Punkt zugrunde liegen, erfolgt in den Studien- und Prüfungsordnungen.“ Und: „Es darf keine mechanische Umrechnung von SWS in ECTS erfolgen.“

¹¹ So wie wir es in Kapitel 2, Kapitel 3 und Kapitel 4 umgesetzt haben.

Wir haben deshalb mehrfach vorgeschlagen, je nach Lehrveranstaltung die erforderlichen LP mehr in betreuter Studienzeit (also SWS) als in selbstbestimmter Studienzeit zu erwerben.

Da auch bei der aktuell von der KMK genannten geringeren Arbeitsbelastung die Zahl der Semesterwochen trotzdem bei durchschnittlich 14 bleibt, bedeutet jede solche Verringerung der Arbeitsstunden/Woche eine entsprechende Verringerung des betreuten Fachstudiums. Auch die Erweiterung der Arbeitszeit von 40 auf 46 Wochen im Jahr bedeutet eine Verringerung der betreuten Arbeitszeit während der Lehrveranstaltungszeit, wie bereits in Kapitel 2.1.2 dargelegt, siehe dort auch Fußnote 5. Die Betreuungsintensität und die Zeit für die Lehre verringert sich bei einer 32 bis 39 Stunden- gegenüber einer 45 Stunden-Woche um 29% bis 13% für das Fachstudium! Die in **Anhang A** aufgeführten fachphysikalischen Inhalte wären demzufolge erheblich zu reduzieren. Wir halten das zum Erwerb einer ausreichenden Fachkompetenz für nicht vertretbar und schlagen deshalb die 45 Std-Woche vor. Davon entfallen allerdings nur höchstens 15 Std auf die Fachphysik. (Entsprechendes gilt selbstverständlich auch für das andere Fach bzw. die Bildungswissenschaften.)

4.4.3 Zeitbedarf

Die in **Anhang A** gegebenen Abschätzungen für die einzelnen Teilthemen beruhen auf den Erfahrungen der die Fachphysik lehrenden Mitglieder der Arbeitsgruppe. Sofern die Hochschullehrer und Fachbereiche der Physik andere Erfahrungen gesammelt haben, werden sie diese Zahlen für sich korrigieren. Wichtig ist aber, sich durch gute Betreuung stets zu vergewissern, dass die Studierenden den Studienanforderungen auch tatsächlich erfolgreich nachkommen können.

4.4.4 Überschneidungsfreiheit

Die bildungspolitischen Vorgaben machen derzeit kaum Einschränkungen bei der Wahl der zwei Studienfächer. Daher gibt es eine große Vielfalt an Kombinationen. Es ergeben sich mehr Fächerkombinationen mit entsprechendem Zeitbedarf für deren Lehrveranstaltungen, als Lehrveranstaltungsstunden in der Woche zur Verfügung stehen. Überschneidungen von Lehrveranstaltungen sind also unvermeidlich. Die Universitäten sollten sich aber bemühen, durch Vermittlung von Absprachen zwischen den Fachbereichen so wenig zeitliche Überschneidungen wie nur irgend möglich zuzulassen. Das erfordert Kompromissbereitschaft aller Fachbereiche!

Kapitel 5

Lehramtsstudium Physik für die Sekundarstufe I

Anforderungen und Inhalte

Im Kern bezieht sich die hier vorgelegte Studie auf das Lehramt im gesamten gymnasialen Bereich (Sekundarstufe I und II) – und somit auch auf die Ausbildung für den Sekundarbereich I an Schulen, die zur Hochschulreife führen.

Wir können und wollen hier nicht auf die aktuelle bildungspolitische Diskussion zur Ausgestaltung des Lehramtsberufs für die Sekundarstufe I in den nicht zur Hochschulreife führenden Schultypen eingehen. Aus fachphysikalischer Sicht sehen wir allerdings keine wirklich inhaltlich begründbaren Differenzierungsmöglichkeiten.

Auch im Lehramts-Studium für die Schultypen mit allein Sekundarstufe I unterscheiden sich die Rahmenbedingungen länderspezifisch ganz erheblich. Bisher ist dieses Studium meist deutlich kürzer als das für Gymnasien. Allerdings gibt es Tendenzen, auch hierfür ein 10-semstriges Studium vorzuschreiben [KMK (2013)]. Die Lehrkräfte, die für eine Schulform mit allein Sekundarstufe I ausgebildet werden, unterrichten in der Regel in den Jahrgangsstufen 5 bis 10. Ihr Studium umfasst in der Regel 7 Semester, in denen insgesamt 210 LP zu erwerben sind. Der Anteil der Bildungswissenschaften ist hier relativ noch höher als im gymnasialen Studium. Es entfallen etwa je ein Drittel der zu erarbeitenden LP auf die beiden Fächer und die Bildungswissenschaften. Berücksichtigt man noch die Leistungen für die Abschlussprüfung(en), so ergeben sich typische Studienumfänge von je 60 LP für die beiden Fächer, 70 LP für die Bildungswissenschaften und 20 LP für die Abschlussprüfung(en) als ungefähre Richtzahlen.

Wegen der länderspezifisch sehr großen Unterschiede und der geringeren Zahl von Hochschulen, die speziell für die Sekundarstufe I in nichtgymnasialen Schultypen ausbilden, haben wir darauf verzichtet, ein Mustercurriculum wie für das gymnasiale Lehramt (Sek. I. und Sek. II) auch hierfür auszuarbeiten. Die Anforderungen daran speziell für das Fach Physik bedürften aber wegen dieser genannten noch kürzeren Ausbildungszeit (für 60 LP statt 120 LP für die Physik) einer besonderen Analyse und Anstrengung.

Wir verweisen deshalb hier auf die verbindlichen Rahmenvorgaben der KMK (2008) für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der LA-Ausbildung, die in Anhang D.4 auszugsweise wiedergegeben sind. In ihnen werden stichwortartig fachlich-inhaltliche Vorgaben für das Sek. I Studium gemacht, die dann jeweils für die Stufe Sek. II mit der Vorgabe „erweitert“ fortgesetzt werden.

Wir halten das, was in Kapitel 3 und Kapitel 4 sowie in Anhang A für die Ausbildung zum gymnasialen Lehramt ausgeführt wurde (und dieses beinhaltet ja sowohl Sekundarstufe I als auch Sekundarstufe II), durchaus auch für die Sekundarstufe I als adäquat. Insbesondere ist die Ausbildung an Hand übergreifender Leitthemen (kontextorientierten Themen) aus wichtigen Bereichen der Physik, wie in Anhang A.1 dargestellt, gerade für den Unterricht in der Sekundarstufe I besonders wichtig und praktisch anwendbar.

Aus der Sicht des vorgestellten Beispiel-Curriculums für Sek. I und Sek. II wären die Inhalte für Sek. I als Verkürzungen von Sek. II zu lesen, gerade umgekehrt wie es die „Ländergemeinsamen Vorgaben“ [KMK (2008)] tun.

Kapitel 6

Fachdidaktische, bildungswissenschaftliche und schulpraktische Ausbildungsanteile

6.1 Fachdidaktische Studienelemente im Lehramtsstudium Physik

Die nachfolgenden Überlegungen zur Fachdidaktikausbildung im Lehramtsstudium Physik beziehen sich auf das gymnasiale Lehramt. Sie können auch als Basis für nichtgymnasiale Lehramtsstudiengänge im Fach Physik dienen.

Die Gesellschaft für Fachdidaktik (GFD) hat im „Kerncurriculum Fachdidaktik“ [GFD (2004)] einen Rahmen für die Gestaltung der fachdidaktischen Studienelemente (für alle Unterrichtsfächer) formuliert.

Die nachfolgenden Überlegungen verstehen sich als fachspezifische Konkretisierung des GFD-Papiers.¹² Die Vorgaben der KMK zu den ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen für die Fachdidaktiken in der Lehrerbildung im Fach Physik sind berücksichtigt [KMK (2008), siehe auch Anhang D.4].

Der vorliegende Vorschlag geht von einem Studienumfang für die Fachdidaktik von 24 LP aus, der sich in vier Module zu je 6 LP gliedert. Zusätzlich sind 6 LP für physikbezogene Anteile schulpraktischer Studien oder für das Praxissemester vorgesehen. Je nach Studienorganisation kann der Umfang der Schulpraxis auch höher sein. Das Modul 2b kann dann entsprechend reduziert werden.

Das Modul 3 kann auch als Begleitmodul zu einer Masterarbeit in Physikdidaktik genutzt werden.

Den Modulen sind jeweils bestimmte Studienelemente (SE) zugeordnet. Die Studienelemente verstehen sich als zentrale inhaltliche Bausteine der Fachdidaktikausbildung. Die Angabe des Umfangs der einzelnen Studienelemente ist als Orientierung des Umfangs innerhalb des gesamten Studiums zu verstehen.

In den Beschreibungen der Studienelemente sind Verknüpfungen zwischen den fachdidaktischen Modulen benannt, die inhaltliche Variationen deutlich machen. Eine Abstimmung und Koordinierung der Studienelemente mit den Modulen der Fachwissenschaft und der Bildungswissenschaften ist wünschenswert. Konkrete Hinweise finden sich ebenfalls in den Beschreibungen der Studienelemente.

Die hier beschriebene Modularisierung ist ebenso wie die Zuordnung der Studienelemente zu den einzelnen Modulen als beispielhafte Möglichkeit der Gestaltung des physikdidaktischen Studiums zu verstehen. Die Studienelemente können in Modulen unterschiedlich kombiniert und auf das Studium verteilt werden. Eine Verteilung der Studienelemente auf Lehrveranstaltungen wird deshalb nicht ausgeführt.

¹² Im Vergleich zum Vorschlag der GFD wurde das Modul 2, das im GFD-Papier 10 LP umfasst zuzüglich praktischer Phasen in der Größenordnung von 8 LP, in zwei Module mit je 6 LP untergliedert zuzüglich praktischer Phasen im Umfang von 6 LP.

6.1.1 Beispielpläne zur Verteilung der Module

In den Beispielplänen (Tabelle 6 und Tabelle 7) gehen wir von der Verteilung der Studienelemente auf vier Module aus, die sich jeweils über zwei Semester erstrecken. Eine Verteilung auf mehr als vier Module sollte aber nicht ausgeschlossen werden. Die Nummerierung orientiert sich an den GFD-Modulen.

Tabelle 6:

Beispiel 1 – 24 LP Fachdidaktik plus 6 LP physikdidaktische Schulpraxis als separates zusätzliches Modul z.B. im Rahmen eines Praxissemesters.

Sem.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Modul 1		Modul 2a		Modul 2b		Praxis	Modul 3		
LP	3	3	3	3	3	3	6	3	3	

Tabelle 7:

Beispiel 2 (Alternative) – 24 LP Fachdidaktik plus 6 LP physikdidaktisch begleitete Schulpraxis.

Sem.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Modul 1		Modul 2a		Modul 2b		Modul 3	
								Praxis		
LP			3	3	3	3	3	9	3	3

Im Folgenden werden die hier genannten Module skizziert.

Ausführlichere Beschreibungen der Studienelemente, sind in Anhang B zusammengestellt. Sie enthalten auch Verweise auf einschlägige Literaturquellen.

6.1.2 Modul 1: Grundlagen des Lehrens und Lernens von Physik (6 LP)

Das Modul behandelt die theoretischen und empirischen Grundlagen des Lehrens und Lernens von Physik. Themen sind die kognitiven und affektiven Lernvoraussetzungen bei Schülern, Schwierigkeiten des Verständnisses physikalischer Begriffe und Phänomene sowie Möglichkeiten zur Unterstützung physikbezogener Lernprozesse. Darüber hinaus wird eine erste Orientierung bzgl. der Rahmenvorgaben und Ziele von Physikunterricht sowie physikspezifischer Unterrichtskonzeptionen gegeben.

Die Inhalte sind auf die zentralen fachlichen Konzepte abgestimmt, die in Einführungsveranstaltungen der Experimentalphysik behandelt werden. Um Bezüge zu diesen Veranstaltungen herzustellen, soll das Modul früh im Studienverlauf verortet sein.

Es sollen folgende **Kompetenzen** gefördert werden:

- Fähigkeit zur Diagnose und Beurteilung von Lernvoraussetzungen im Hinblick auf das Lernen von Physik (insb. Schülervorstellungen, Interesse, Motivation)
- Fähigkeit zur Berücksichtigung dieser Lernvoraussetzungen und des physikbezogenen Vorwissens bei der Darstellung und unterrichtlichen Behandlung physikalischer Sachverhalte
- Kenntnis und begründete Auswahl von Ansätzen zur Steigerung der fachbezogenen Lernmotivation bei Schüler
- Kenntnis der Grundlagen der Kompetenzorientierung (u.a. Bildungsstandards Physik, Lehrpläne)

- Kenntnis und Beurteilung beispielhafter physikspezifischer Unterrichtskonzeptionen.

Den Kompetenzen lassen sich folgende **Lehr- bzw. Lerninhalte** zuordnen:

- Zieldimensionen des Physikunterrichts
- Einfluss von Motivation und Interesse auf das Physiklernen
- Ansätze zur Förderung physikbezogenen Interesses
- Typische Schülervorstellungen zu physikalischen Sachverhalten, deren Ursachen und deren Diagnostik
- Gestaltung fachlicher Lernprozesse unter Berücksichtigung von Schülervorstellungen
- Grundlagen der Kompetenzorientierung: Bildungsstandards und deren Rolle im Bildungssystem
- Möglichkeiten zur Diagnostik und Förderung von Kompetenzen
- Merkmale guten Physikunterrichts
- Physikspezifische Unterrichtskonzeptionen und Möglichkeiten zu deren Umsetzung.

Die **Schwerpunkte** sind in folgenden vier Studienelementen genauer spezifiziert:

- Schülervorstellungen und Lernprozesse im Physikunterricht (2 LP) – s. Anhang **B.1**
- Motivation und Interesse an Physik (1 LP) – s. Anhang **B.2**
- Bildungsstandards und physikbezogene Kompetenzen (2 LP) – s. Anhang **B.3**
- Konzeptionen für den Physikunterricht (1 LP) – s. Anhang **B.4**

6.1.3 Modul 2a: Physikunterricht – Zentrale Gestaltungselemente (6 LP)

Modul 2a bereitet die Studierenden darauf vor, im Physikunterricht physikspezifische Arbeitsweisen zu verdeutlichen und mit ihnen die Darstellung und Erklärung physikalischer Sachverhalte zu verknüpfen. Im Fokus stehen Fähigkeiten zum effizienten Einsatz von Experimenten im Unterricht sowie zur angemessenen Verwendung von klassischen und modernen Medien, vor allem mit dem Ziel, Verständnis- und Lernprozesse effektiv zu unterstützen.

Das Modul nutzt experimentelle und fachinhaltliche Kenntnisse und Fähigkeiten aus den physikalischen Grundlagenveranstaltungen und vertieft die fachdidaktische Ausbildung speziell zu den Kompetenzbereichen der physikalischen Erkenntnisgewinnung und der fachspezifischen Kommunikation (auf Schulniveau).

Es sollen folgende **Kompetenzen** gefördert werden:

- Fähigkeit zur Erläuterung fachlicher Sachverhalte mit sprachlichen und visuellen Mitteln unter Berücksichtigung des Vorverständnisses von Schüler und mit angemessener medialer Technik (inkl. fachbezogener Kommunikationsfähigkeit und Diagnostik)
- Fähigkeit zur Reflexion und Überprüfung des Einsatzes von Experimenten und Medien im Unterricht sowie zur Weiterentwicklung eigener Fertigkeiten im Umgang mit Experimentiermaterialien
- Fähigkeit zur Auswahl von Experimenten und Medien sowie deren Einbindung in geeigneten Einsatzkontexten zur Unterstützung fachlicher Lernprozesse
- Fähigkeit zur fachbezogenen Kommunikation und Vermittlung von Fachinhalten
- Fähigkeit zum Planen und Gestalten von Lernumgebungen mit Experimenten und angemessener technischer Unterstützung.

Den Kompetenzen lassen sich folgende **Lehr- bzw. Lerninhalte** zuordnen:

- Grundstrukturen der fachlichen Denk-, Erkenntnis- und Kommunikationsprozesse (vor allem experimentelle Techniken, physikalische Fachsprache und physikspezifische Darstellungsformen)
- Adressatenbezogene Kommunikations- und Vermittlungstechniken (z.B. Moderations- und Präsentationstechniken, Nutzung von Medien und Darstellungsformen)
- Analyse, Entwicklung, Erprobung und Evaluation von Lehr- und Lernprozessen im Physikunterricht, speziell im Hinblick auf den Einsatz angemessener Vermittlungstechniken und der Hinführung zu experimentellen Arbeitsweisen

Die **Schwerpunkte** sind in folgenden drei Studienelementen genauer spezifiziert:

- Unterrichtsbezogenes Experimentieren (3 LP) – s. Anhang B.5
- Medien im Physikunterricht (1,5 LP) – s. Anhang B.6
- Physik erklären – Sprache und Repräsentationsformen im Physikunterricht (1,5 LP) – s. Anhang B.7

6.1.4 Modul 2b: Physikunterricht – Konzeption (6 LP ggf. zzgl. Praxisphasen)

Das Modul führt die bereits erworbenen fachlichen und fachdidaktischen Kompetenzen im Hinblick auf die kompetente Planung, Durchführung und Reflexion von Physikunterricht zusammen und vertieft und erweitert diese. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Auseinandersetzung mit der Aufgabenkultur im Physikunterricht. Das Modul wird durch Praxisphasen ergänzt und begleitet diese soweit studienorganisatorisch möglich.

Es sollen folgende **Kompetenzen** erworben werden:

- Fähigkeit zur Begründung schulpraxisbezogener Entscheidungen auf der Basis soliden und strukturierten Wissens über fachliche wie fachdidaktische Theorien und Strukturierungsansätze
- Fähigkeit zur Analyse, Elementarisierung und Aufbereitung von Sachstrukturen für Physikunterricht
- Fähigkeit zum (exemplarischen) Planen und Gestalten eines strukturierten Lerngangs, einer Unterrichtseinheit, einer Unterrichtsstunde oder von Unterrichtssequenzen mit angemessenem fachlichen Niveau, bezogen auf verschiedene Kompetenz- und Anforderungsbereiche
- Fähigkeit, vorhandene Lernmaterialien zu analysieren und anzupassen oder selbst Lernmaterialien zu entwerfen
- Entwicklung, Anpassung und Einsatz von Aufgaben, die physikbezogenes Lernen unterstützen
- Fähigkeit, Unterrichtsmethoden für den Physikunterricht begründet und zielorientiert auszuwählen
- Fähigkeit zum (exemplarischen) Planen und Gestalten von Lernumgebungen für selbst gesteuertes Lernen im Physikunterricht
- Fähigkeit zur theoriegeleiteten Analyse und Reflexion von Unterricht
- Fähigkeit zur Analyse und Beurteilung physikbezogener Lernprozesse, insb. auf Grundlage von Aufgaben.

Den Kompetenzen lassen sich folgende **Lehr- bzw. Lerninhalte** zuordnen:

- Analyse und Gestaltung von Physikaufgaben
- Elementarisierung von Sachstrukturen für den Physikunterricht

- Beurteilung und Erstellung von Lehr- und Lernmaterialien
- Planung und Analyse von Physikunterricht.

Die **Schwerpunkte** sind in folgenden zwei Studienelementen genauer spezifiziert:

- Aufgabenkultur - Lern- und Leistungsaufgaben im Physikunterricht (2 LP) – s. Anhang **B.8**
- Planung und Analyse von Physikunterricht (4 LP) – s. Anhang **B.9**

6.1.5 Modul 3: Physikdidaktisches Urteilen und Forschen sowie Weiterentwickeln von Physikunterricht (6 LP zzgl. Masterarbeit)

Dieses Modul vertieft die fachdidaktische Ausbildung in zwei Richtungen. Zum einen werden auf der Basis der erworbenen fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Kenntnisse Vorstellungen von der Physik als Wissenschaft vertieft und Konsequenzen für die Unterrichtspraxis reflektiert. Zum anderen werden die Studierenden an Fragen und Methoden physikdidaktischer Forschung und Evaluation herangeführt. An exemplarischen Themenfeldern begegnen die Studierenden Fachdidaktik als Wissenschaft und werden befähigt, eigene Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu planen und durchzuführen.

Das Modul bereitet auf eine Staatsexamensarbeit bzw. Masterarbeit mit fachdidaktischem Schwerpunkt vor.

Es sollen folgende Kompetenzen erworben werden

- Fähigkeit zur Reflexion über Physik als Wissenschaft unter fachdidaktischen Gesichtspunkten
- Fähigkeit zur exemplarischen Rezeption und Bewertung von physikdidaktischen Forschungsarbeiten, -methoden und -ergebnissen
- Fähigkeit, fachdidaktische Fragestellungen zu erkennen, zu entwickeln und zu Forschungsfragen zu konkretisieren
- Fähigkeit zur Anwendung ausgewählter Methoden fachdidaktischer Forschung und Evaluation in begrenzten eigenen Untersuchungen.

Den Kompetenzen lassen sich folgende **Lehr- bzw. Lerninhalte** zuordnen:

- ausgewählte Aspekte und Beispiele aus der Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftstheorie
- ausgewählte Theorie- und Forschungsansätze in der Fachdidaktik bezogen auf Physikunterricht
- Weiterentwicklung des Physikunterrichts in fachlicher, didaktischer und methodischer Hinsicht (auch in Kooperation mit der Fachwissenschaft, anderen Fachdidaktiken oder den Bildungswissenschaften)
- Analyse, Entwicklung, Erprobung und Evaluation von Lehr- und Lernprozessen im Physikunterricht (ausgewählte Forschungsfragen und -projekte).

Die **Schwerpunkte** sind in folgenden zwei Studienelementen genauer spezifiziert:

- Natur der Naturwissenschaften („Nature of Science“) – Wissenschafts- und Erkenntnistheorie zur Physik (2 LP) – s. Anhang **B.10**
- Forschungsbasierte physikdidaktische Vertiefung (4 LP) – s. Anhang **B.11**

6.2 Gesamtübersicht: Fachphysikalische und fachdidaktische Komponenten im Lehramtsstudium Physik

An dieser Stelle soll der in Kapitel 4.3 vorgestellte zeitliche Ablauf des Fachstudiums um die im vorangehenden Abschnitt 6.1 vorgestellten fachdidaktischen Komponenten des Lehramtsstudiums ergänzt werden. Wir stützen uns dabei auf das Beispiel 1 nach Tabelle 3 als eine besonders leicht zu realisierende Möglichkeit. Wiederum gehen wir, wie beim Fachstudium, von einer Arbeitszeit von 1,5 Stunden (Std) pro Woche je Leistungspunkt LP aus.

So erhalten wir für das fachliche und fachdidaktische Physikstudium gemeinsam das in Abbildung 4 dargestellte curriculare Schema. Es dokumentiert nicht zuletzt auch die Möglichkeiten, Synergien im Studienablauf durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Fachphysik und Fachdidaktik zu erschließen.

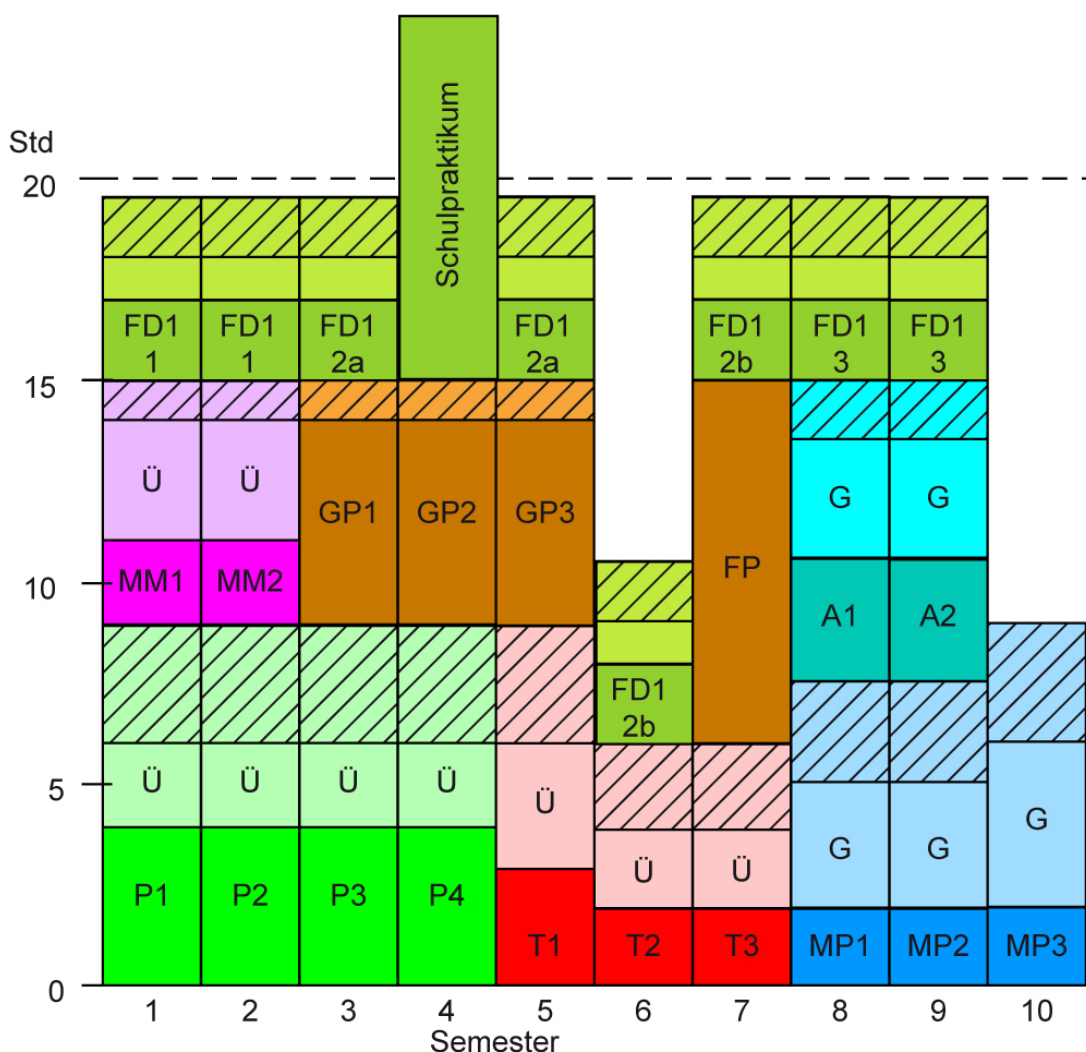


Abbildung 4: Graphische Darstellung des fachphysikalischen und fachdidaktischen LA Curriculums entsprechend Tabelle 5 und in Anlehnung an Tabelle 6. Die der Fachdidaktik zuzurechnenden Anteile sind in olivgrüner Farbe markiert (die Module 1, 2a, 2b und 3 sind mit FD1/1, FD1/2a etc. gekennzeichnet). Die standardisierte maximale Gesamtarbeitszeit während der Lehrveranstaltungszeit beträgt jetzt einschließlich der Fachdidaktik 20 Std. (gestrichelte Linie oben). Im Übrigen entspricht diese Graphik der Abbildung 3 für die reine Fachphysik. Das von der Physikdidaktik verantwortete Schulpraktikum mit 6 LP (entsprechend einer Wochenarbeitszeit von 9 Std.) ist hier exemplarisch im 4. Semester angesetzt worden. Die Überschreitung der maximalen Wochenarbeitszeit in diesem Semester ist nur möglich, wenn sie entsprechend Tabelle 2 mit allen übrigen Fächern abgestimmt wird.

6.3 Synergie mit den Bildungswissenschaften

Ein erhebliches Kontingent der gesamten Lehramtsausbildung (300 LP) ist den Bildungswissenschaften (40 LP) gewidmet – wenn auch wiederum je nach den jeweiligen Ländervorgaben unterschiedlich [Bauer, et al. (2012)]. Wir gehen in dieser Studie von einem Durchschnittswert 40 LP für die bildungswissenschaftlichen Studienleistungen aus (siehe [Abbildung 1](#)). Die KMK hat zum Inhalt dieses Ausbildungssteils relativ breit ausgelegte inhaltliche Vereinbarungen getroffen [KMK (2004b)].

An der Bedeutung des in den Bildungswissenschaften zu vermittelnden „professionsspezifischen“ Wissens für die Praxis der künftigen Lehrkräfte kann keinerlei Zweifel bestehen. Entwicklungspsychologisches und gruppendynamisches Wissen ebenso wie Methoden zur optimalen Vermittlung des fachlichen Grundwissens – gerade in einem unter Schülern besonders unbeliebten Fach wie Physik [Muckenfuß (2007)] – oder auch Strategien für den Umgang mit problematischen Schülergruppen u. A. werden in der heutigen Praxis des Schulalltags immer bedeutsamer. Die Grundlagen hierfür sollen in diesem Teil des LA-Studiums erworben werden.

Allerdings zeigt die Erfahrung, dass unter Studierenden des Lehramts wie auch unter Referendaren oder Lehrkräften im Berufsalltag Kritik an der einschlägigen Ausbildung geübt wird. Die im Studium zu diesen Themenfeldern vermittelten Kenntnisse werden oft als unzureichend angesehen [Björkman et al. (2013)] oder nicht hinreichend zielgenau wahrgenommen. Eine kürzlich erschienene Delphi Studie namhafter Bildungswissenschaftler [Kunina-Habenicht et al. (2012)] zu dieser Problematik fasst die Kritik kurz zusammen, so u.a.: „... in Bezug auf die aktuellen Studienangebote (wird, die Verf.) vielfach kritisiert, dass die normativen Vorgaben (der KMK, die Verf.) nicht im ... Curriculum der Universitäten abgebildet sind. ... Darüber hinaus wird den bildungswissenschaftlichen Anteilen des Studiums häufig auch eine geringe Qualität der Lehrveranstaltungen, mangelnde Systematik und nicht selten Beliebigkeit ... der vermittelten Studieninhalte zugeschrieben ... die hohe Wahlfreiheit in den bildungswissenschaftlichen Studienanteilen (wird, die Verf.) kritisiert, die dazu führt, ... dass (die Studierenden, die Verf.) dazu tendieren, den Stundenplan und nicht den kumulativen Kompetenzerwerb zu optimieren.“

Diesen hier angesprochenen, gravierenden Problemen für die gesamte Lehramtsausbildung versuchen die Autoren der genannten Studie zu begegnen. Sie identifizieren eine Liste als wichtig erachteter Themen (Abb. 2 der genannten Arbeit). Diese werden den folgenden Inhaltsbereichen zugerechnet (in Klammern jeweils die Anzahl der ausgewählten Themen, insgesamt 104):

- Unterricht (34)
- Lehrerberuf (11)
- Lernprozesse (11)
- Diagnostik und Evaluation (10)
- Bildungssystem und Schulorganisation (9)
- Entwicklungsprozesse (9)
- Heterogenität und soziale Konflikte (7)
- Sozialisationsprozesse (7)
- Bildungstheorie (6)

Kunina-Habenicht, et al. (2012) sehen in einer „Einigung auf einen reduzierten, inhaltlich jedoch immer noch sehr breiten Kanon an zentralen bildungswissenschaftlichen Themen ein wichtiges Zeichen gegen vielfach kritisierte Beliebigkeit ...“ der bildungswissenschaftlichen Studienanteile. Nach ihrer Ansicht lassen sich im Rahmen von 7 LP jeweils 10 Themen behandeln. Von den oben genannten 104 als besonders wichtig angesehenen Themen werden also während eines gymnasialen Lehramtsstudiums nur etwa 40 bis 45 im Rahmen der verfügbaren $40 - 10 = 30$ LP vermittel-

bar sein (die abgezogenen 10 LP sind für betreute Schulpraktika vorgesehen). Auch hier also wird wiederum die Notwendigkeit einer sinnvollen Beschränkung auf ein leistbares Curriculum deutlich. Wie im fachlichen und fachdidaktischen Teil des LA-Studiums wird auch hier die Auswahl der ‚richtigen‘ und für das jeweilige Profil der ausbildenden Hochschule sinnvollsten Inhalte der Lehramtsausbildung zu treffen sein, teilweise auf lokaler Ebene.

Wir möchten an dieser Stelle dringend an die verantwortlichen Hochschullehrer appellieren, diese Auswahl – aber auch die tatsächliche Vermittlung der Inhalte – in einer engen interdisziplinären Abstimmung zwischen Fachdidaktiken, Bildungswissenschaften und insbesondere auch der Schulpraxis vorzunehmen, um so die den Studierenden zur Verfügung stehende Zeit möglichst effektiv nutzbar zu machen. Nur so können auch unnötige Dopplungen vermieden und Synergien erschlossen werden. Auch die Fachwissenschaften sollten in den notwendigen kontinuierlichen, interdisziplinären Dialog eingebunden werden.

Zwischen den Verantwortlichen für die fachwissenschaftliche und die fachdidaktische Ausbildung findet an vielen Universitäten bereits eine erfreuliche Zusammenarbeit statt. Es gilt diese zu pflegen und womöglich weiter zu verstärken. Insbesondere die Schnittstelle Fachdidaktik/Bildungswissenschaften ist auszubauen. Die Erfahrung zeigt, dass gerade an dieser Stelle noch erhebliches Potential für neue Vermittlungsformen erschlossen werden kann, um Professionalität im Lehrerberuf effizient weiter zu entwickeln.

Ob die vielerorts entstandenen oder noch entstehenden Zentren für Lehrerausbildung oder „Professional Schools of Education (PSE)“ dafür der richtige Weg sind, muss die Praxis zeigen. Wir weisen aber darauf hin, dass es fatal wäre, wenn solche Lösungen dazu führten, dass sich Fachdidaktik und Fachwissenschaft voneinander entfernten. Auch besteht die Gefahr, dass die Fachwissenschaft ihre Verantwortung für die Lehramtsausbildung zu stark an diese Zentren delegiert, und dass Lehramtsstudierende den emotionalen Bezug zu ihren Fachbereichen/Fachinstituten verlieren.

6.4 Praxisbezug in der Lehramtsausbildung

Eine besondere Rolle während der Lehramtsausbildung kommt der Schulpraxis zu. Hierzu gibt es aktuell zahlreiche Reformaktivitäten in mehreren Bundesländern. Insbesondere geht es dabei um die Einführung des sog. *Praxissemesters* [Offergeld and Walke (2013)]. Allerdings, so der renommierte Bildungswissenschaftler Terhart im Vorwort zu Offergeld, et al. (2013), steht „... die *Einhelligkeit, mit der man – je unterschiedlich – dem Ruf nach ‚Mehr Praxis‘ folgt, .. in bemerkenswertem Gegensatz zu dem Grad der wissenschaftlichen Fundiertheit dieser Reformoption. Die insgesamt recht schmale Forschung zu den bisherigen Praxiselementen zeigt, dass sie wohl eher isoliert im Studienablauf stehen und dass es keineswegs durchgängig breite, stabile und positive Effekte gibt. ... Im Regelbetrieb der großen lehrerbildenden Universitätsstandorte ist dies eher nicht der Fall. Das Praxissemester als neues Praxisformat stellt Universitäten und die beteiligten Institutionen der Zweiten Phase sowie die Schulen vor beinahe unlösbare Probleme*“ [siehe auch Weyland (2012)].

Aus fachwissenschaftlicher Sicht muss vor allem darauf hingewiesen werden, dass die Herausnahme eines ganzen Semesters aus der laufenden universitären Lehramtsausbildung auf keinen Fall zu weiteren Einschnitten in das ohnedies schon extrem knappe Studienkontingent der Fachwissenschaften führen darf. In jedem Fall wird ein ganzes fehlendes Fachsemester erhebliche Probleme aufwerfen, nicht nur organisatorische, sondern auch bezüglich des notwendigen Umfangs und der Qualität des Fächerstudiums einschließlich deren Didaktiken.

Als äußerst problematisch sehen wir darüber hinaus die zu beobachtenden Tendenzen an, neue Lehrinhalte wie etwa *Inklusion* und *Sprachförderung* teilweise aus dem LP-Kontingent der Fachwissenschaften zu bedienen: Wie am Beginn dieser Studie dokumentiert, sind die für jedes Fach, insbesondere für das Fach Physik vorgesehenen LP bereits jetzt so knapp bemessen, dass jede weitere Reduktion die Qualität der Lehramtsausbildung deutlich verschlechtern wird.

Zudem ist das Praxissemester in der Regel erst in der Masterphase des Studiums vorgesehen. Mit einem so späten Praxissemester verspielt man aber wesentliche Chancen solcher schulpraktischen Erfahrungen: Hier ist besonders die motivierende Wirkung der Interaktion von Studierenden mit Schülerinnen und Schülern hervorzuheben, die für die Ausübung dieses Lehrerberufs unabdingbar ist. Im laufenden Studium ermöglichen solche Praxisphasen wie z. B. die Schul- oder Unterrichtspraktika den angehenden Lehrern einen ganz neuen Blickwinkel auf die zu erwerbenden fachlichen und fachdidaktischen Kenntnisse, die dann mit verstärkter Aufmerksamkeit aufgenommen werden. Umgekehrt ist auch eine mögliche Korrektur der Berufswahl nur in einem frühen Stadium des Studiums sinnvoll, sollten Studierende während solcher Praktika erkennen, dass sie diesem Beruf möglicherweise nicht gewachsen sein werden.

Wir sprechen uns daher ausdrücklich für eine Reihe – zeitlich eher kurzer – Unterrichtspraktika schon während der Bachelorphase aus. Sie sollten fachdidaktisch begleitet werden und dann stattfinden, wenn die Studienmodule der dafür notwendigen experimentellen Fachausbildung schon absolviert, und zumindest elementare fachdidaktische Kenntnisse erworben wurden. In diesem Zusammenhang sind Ausbildungselemente für Lehramtsstudierende besonders zu begrüßen, die in sogenannten Lehr-/Lernlaboren stattfinden. Studierende betreuen in der Regel im Team kleine Gruppen von Schülern und Schülerinnen bis hin zu ganzen Schulklassen, entwickeln Module, evaluieren diese und erleben auf diese Weise quasi Schulpraxis an der Universität.

In letzter Konsequenz sollte man im Zuge aller Reformbemühungen hin zu mehr Praxisbezug in der Lehramtsausbildung auch die Option der vollständigen Zusammenführung von 1. Phase (universitäre Ausbildung) und 2. Phase (Referendariat) ernsthaft prüfen. Die nur in wenigen anderen Ländern praktizierte deutsche Besonderheit der Zweiphasigkeit [siehe auch [Walke \(2007\)](#)] hat in der Vergangenheit ganz offensichtlich nicht durchweg zu wirklich überzeugenden Ergebnissen geführt. Es gibt aber im internationalen Raum gut etablierte und funktionierende Konzepte zur einphasigen Lehramtsausbildung, von denen wir lernen könnten. So wäre etwa Finnland (*das PISA ‚Musterland‘*) ein hervorragendes Beispiel: dort gibt es, über das gesamte Lehramtsstudium hinweg verteilt, mehrere solcher Praxisphasen, die meist an speziell darauf eingerichteten Ausbildungsschulen unter Betreuung von qualifizierten Mentoren durchgeführt werden, z.T. in der Regie von Universitäten, in jedem Fall aber in enger Rückkopplung mit ihnen. Die Studierenden beenden ihr Universitätsstudium also als voll qualifizierte Lehrer, die bereits auf umfangreiche Praxiserfahrung zurückgreifen können. Ähnlich geht man in anderen europäischen Ländern vor.

Kapitel 7

Schlussbemerkungen

Natürlich können in einer solchen Empfehlung zum Studium des Lehramts Physik nicht alle wichtigen und möglicherweise veränderungswürdigen Aspekte angesprochen werden. Der Schulunterricht im Fach Physik wird, wie bereits eingangs erwähnt, ja ohnehin in einer weiteren Schrift zu thematisieren sein.

Wir wollen diese Anregungen und Gedanken zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung von Physiklehrerinnen und Physiklehrern aber nicht abschließen, ohne zumindest auf zwei ganz zentrale Problemkreise hinzuweisen. Sie betreffen gewissermaßen den Anfang des Studiums und reichen weit über das Abschlussexamen hinaus.

Wie gewinnen wir die besten Köpfe für das Studium des Lehramts?

Immer dringender stellt sich die Frage, wie es gelingen kann, wirklich geeignete Studierende für dieses wichtige Studium zu gewinnen, und umgekehrt auch nicht Geeignete davon abzubringen, aus Verlegenheit Physiklehrer oder -lehrerin werden zu wollen.

Wir brauchen die besten Köpfe unter den jungen Menschen für diese große Lebensaufgabe! Sie müssen fachlich talentiert und interessiert, aber auch menschlich engagiert und sozial kompetent sein. Von ihrem Wirken hängt es nicht nur ganz wesentlich ab, ob unsere Gesellschaft den unverzichtbaren Nachwuchs an naturwissenschaftlichen Talenten und Ingenieuren sichern kann. Gute Physiklehrer sind es auch, welche wesentlich zur Entwicklung von „mündigen“ Bürgern beitragen, die in einer modernen Industriegesellschaft in der Lage sind, ihre Welt und Umwelt ansatzweise zu verstehen, und aktuelle wissenschaftlich-technische und umweltpolitische Entwicklungen mit zu beurteilen und ggf. vernunftgeleitet mitzugestalten.

Was also muss geschehen, um diesen großartigen Beruf für junge Menschen wieder attraktiv zu machen?

Zunächst ist natürlich jeder Schritt zur Verbesserung der Ausbildung im Lehramt ein wichtiger Schritt in die richtige Richtung. Gute Lehrer begeistern talentierte Schüler für dieses Fach und ggf. auch für den Lehrberuf. Ein attraktives, als anspruchsvoll erkanntes Studium, welches auch über das rein Fachliche hinaus eine intellektuelle Herausforderung darstellt, zieht naturgemäß kluge Köpfe an und sichert sich gesellschaftlichen Respekt. In Finnland studieren die besten Schulabgänger ganz selbstverständlich das Lehramt – auf einen Studienplatz kommen dort 10 Bewerber. Das sollte auch für das „Bildungsland Deutschland“ Ansporn und Herausforderung sein!

Verbessert werden müssen vor allem die Arbeitsbedingungen für Lehrer – und damit ist nicht unbedingt die Bezahlung gemeint: Autonomie im Unterricht, überschaubare Klassengrößen, realistische Schulcurricula, die weder Schüler noch Lehrer ständig überfordern, Freiraum für selbständige Gestaltung des Unterrichts. Dies ist ein ganz besonderer Beruf mit außerordentlichen menschlichen und intellektuellen Anforderungen, die in ihrer Breite und Vielseitigkeit denen jedes anderen akademischen Berufs in nichts nachstehen. Unsere Lehrer verdienen höchste Anerkennung und Unterstützung durch Gesellschaft und Politik, die endlich verstehen müssen, wie wichtig gute Lehrer für unsere Zukunft sind und die – jenseits bloßer verbaler Bekundungen – entsprechend handeln sollten.

Wichtig wäre es, die Frühförderung von MINT-Talenten an den Schulen zu stärken. Wir brauchen aber auch eine breitenwirksame MINT-Förderung, vergleichbar etwa der, welche für Sport-Interessierte in unserem Land heute selbstverständlich zu sein scheint.

Intensive Beratung zu Beginn des Studiums sollte selbstverständlich werden. Viele Physik-Interessierte rutschen in das LA-Studium hinein, ohne die Grundfrage wirklich gestellt zu haben: Möchte ich Physiker oder Physiklehrer werden?

Vielleicht sind strikte Auswahlverfahren (wie sie etwa in Finnland selbstverständlich sind) hierzulande unrealistisch. Aber Beratung durch erfahrene Hochschullehrer und Lehrer sollte auf jeden Fall in der Anfangsphase des Studiums studienbegleitend durchgeführt werden – oft zweifeln die Studierenden schon selbst bald daran, dass ihre Entscheidung richtig war, und der letzte Impuls zum Wechsel fehlt – er sollte besser am Anfang des Studiums kommen, als in der Mitte eines frustrierten Lehrerdaseins.

Kontinuierliche, professionelle Weiterentwicklung

Dies ist das zweite wichtige Thema, welchem eine eigene Studie gewidmet werden sollte – mit einer Analyse des eher beschämenden Ist-Zustands und einer Reihe von Anregungen und Perspektiven, was eigentlich zu tun wäre, um Lehrer auch nach Abschluss ihres Studiums kontinuierlich auf der Höhe ihres Wissens und Könnens zu halten.

Der klassische Begriff „Lehrerfortbildung“ wird heute meist als „Continuous professional development“ (CPD) adressiert. Gemeint ist, dass nach Abschluss des Studiums noch keine perfekten Physiklehrer die Universität verlassen – und selbst wenn sie es wären, bedarf das im Studium erworbene Wissen und Können stetiger Ergänzung, Auffrischung und bisweilen wohl auch der Erneuerung und Korrektur vor dem Hintergrund des Schulalltags.

Auch wenn die zweite Phase der Lehramtsausbildung (das Referendariat) versucht, den Übergang in den Schulalltag gezielt zu unterstützen, ist die Situation eines Neulings im Lehramt nicht vergleichbar mit der eines „normalen“ Berufsanfängers.

Ein Physiker, der in einem Unternehmen oder in einem Institut seine berufliche Tätigkeit beginnt, erhält zunächst überschaubare Aufgaben, wird eingearbeitet und die Komplexität seiner Aufgaben nimmt langsam zu. Ein Physiklehrer ist sofort der gesamten Härte des Berufs ausgesetzt, hat sofort die volle Bandbreite der Aufgaben zu bewältigen, die der Beruf mit sich bringt. Auch wird er durch Schüler oft deutlich mehr belastet, als es die erfahrenen Kollegen erleben – es wird erst einmal ausprobiert, wie weit man gehen kann. Hier sind Begleitungen und Ermäßigungen zu empfehlen, nicht nur die Altersermäßigung ist anzustreben, sondern auch eine Ermäßigung zu Beginn der beruflichen Tätigkeit. Dies wird sich auszahlen.

Aber auch für erfahrene Lehrkräfte ist fortwährende Weiterbildung unverzichtbar. Sie muss endlich verpflichtend für alle Lehrkräfte werden. Dazu muss eine breite Palette von Fortbildungsveranstaltungen in entsprechender Qualität angeboten und von den Schulbehörden finanziert werden – und zwar in allen Bereichen des Berufs: im Fach, in der Fachdidaktik und in der Pädagogik/Psychologie.

Während solcher Fortbildungen hätten zudem die sie durchführenden Fachwissenschaftler Gelegenheit, ein Feedback aus der Schule zu bekommen, das automatisch auf die Schulbezogenheit ihrer universitären Lehrveranstaltungen positive Auswirkungen haben könnte.

Übergeordnete Gesichtspunkte

Wir wollen diese Empfehlungen beschließen mit einigen übergeordneten Gesichtspunkten und Motiven, die uns geleitet haben. Sie wurden bereits 2001 in einer „DPG-Denkschrift“ [DPG (2001)] formuliert, und mögen als Grundprinzipien und Motto für die Ausbildung zum Lehramt im Fach Physik, wie auch für den Unterricht des Fachs Physik in der Schule dienen.

Wir zitieren aus der Präambel:

„Die Physik ist grundlegend, fruchtbar und weit umfassend. Die Gesetze der Natur werden in der Physik mit der größtmöglichen methodischen Strenge erforscht. Dabei bedient sich die Physik des Experiments und der Mathematik. Beide sind zeitlos und universell gültig wie die physikalischen Gesetze selbst.“

„Ohne Grundlagenforschung (*und eigenes neugieriges Entdecken; die Verf.*) entsteht kein neues Wissen, und ohne neues Wissen verkümmern Kultur und Zivilisation (*und die eigene Bildung; die Verf.*).“

„Ob neues Wissen zum Segen oder zum Fluch wird, kann die Bevölkerung unseres Landes dann und nur dann steuern, wenn sie eine breite Ausbildung besitzt. Dazu muss in Zukunft in immer stärkeren Maße auch eine breite mathematisch-naturwissenschaftliche Bildung gehören.“

Aus den Thesen:

These 1. „Die Physik ist eine grundlegende Wissenschaft, Teil unserer Kultur und Grundlage der Technik.“

„Die Physik ist darum bemüht, das Geschehen (*und die Phänomene*) in Natur und Technik verständlich zu machen, den zeitlichen Ablauf auf allgemeingültige Gesetze – die Naturgesetze – zurückzuführen, die Wirkung des Zufalls in seiner eigenen Gesetzlichkeit auf den Ablauf des Geschehens zu erklären.“

„Die Naturgesetze lehren uns: Die Welt hat eine innere Ordnung. Diese ist, soweit wir sie bisher erkannt haben, von übergeordneter Gültigkeit, nichts kann sich ihr entziehen. Während alles Materielle in dieser Welt stetigem Wandel unterworfen ist, ist die naturgesetzliche Ordnung nach unserem besten Wissen zeitlos, jenseits des zeitlichen Wandels. Es ist diese Ordnung, die das Beständige in unserer Welt darstellt. Menschlichen Eingriffen ist diese Ordnung vollkommen entzogen, sie ist unantastbar. ... Wir können ihr, an jedem Ort und zu jeder Zeit, unser volles Vertrauen schenken. ... Das ist die Botschaft.“

These 2. „Physik ist unverzichtbar und muss wesentlicher Teil unserer Allgemeinbildung sein.

... Grundkenntnisse von der Natur und Grundeinsichten in das Geschehen in der Natur (*sollen*) in angemessener Form einem weiten Bevölkerungskreis angeboten und vermittelt werden.“ ...

These 3. „Physiker sind eingebunden in Wertvorstellungen und Verpflichtungen.“

Diesen Grundgedanken sind die Lehramtsausbildung an den Hochschulen und der Unterricht an den Schulen verpflichtet. Unsere Empfehlungen versuchen, das verwirklicht zu helfen, *sui generis* und exemplarisch.

Anhänge

Anhang A

Die physikalischen Fachinhalte der LA-Ausbildung im Detail

A.1 „Leitthemen“ aus der Erfahrungswelt – Kontextorientiertes Lernen

Wie bereits dargestellt, sollten die zukünftigen Lehrer ihren schulischen Physikunterricht nicht, jedenfalls nicht vollständig fachsystematisch ordnen, sondern sich bei der Stoffauswahl und -vermittlung an interessanten Fragen bzw. Themen orientieren. Damit sie während ihres Studiums diesbezügliche Erfahrungen sammeln können, empfehlen wir, auch in den LV an der Hochschule zumindest teilweise die fachphysikalischen Inhalte an Leitthemen orientiert zu vermitteln. In der Didaktik benutzt man dafür den Begriff „kontextorientiertes Lernen“.

In den folgenden Tabellen geben wir mögliche Leitthemen exemplarisch an, nach den LV des Curriculums geordnet. Zu den einzelnen Leitthemen werden die jeweils zu vermittelnden physikalischen Inhalte in Auswahl aufgeführt. In einer LV kann jeweils *nur ein Teil* der genannten Leitthemen behandelt werden, und selbstverständlich können die Hochschullehrer für ihre LV auch andere Leitthemen definieren und wählen.

Bei der Auswahl der Leitthemen sollte man die Studierenden ermuntern, Vorschläge und Wünsche zu äußern. Die Lehrform bei der Behandlung der Leitthemen wird sowohl aus Vorlesungen bestehen als auch Gruppenarbeit und Projektseminare (G) einbeziehen. Besonders diese Lehrform fördert das Erlernen neuer Inhalte durch eigene Arbeit.

Leitthemenorientierte Lehre kann teilweise mehr Zeit in Anspruch nehmen als eine reine Vorlesung. Dieses wird den Gesamtumfang des vermittelten Stoffes zwar reduzieren, dafür aber nachhaltiger sein. Auch die im Vorlesungsstil abgehandelten fachsystematischen Themen gemäß Anhang A.2 können nur Teile des jeweiligen physikalischen Gebietes abdecken.

Die Behandlung eines Leitthemas oder eines Kontextes wird je nach Ausführlichkeit unterschiedlich viele Stunden beanspruchen. Daher werden bei den folgenden Beispielen keine Stundenzahlen genannt.

Leitthemen- (oder kontext-) orientierte Lehre eignet sich nicht für alle LV, z. B. nicht für die „Mathematischen Methoden der Physik“. Andere LV sind für sich genommen schon an Themenkomplexen orientiert, z. B. die LV zur „Modernen Physik“.

A.1.1 Mechanik

Physik des Fußballspiels: Wie schießt man eine Bananenflanke, wie „versenkt“ man den Ball von oben ins Tor? (*Newtonsche Gesetze, freier Fall, Bahnberechnung, Energie- und Impuls-satz, Stoß in 3-d, Rotation des Balles, Magnus-Kraft, Strömungen, Randschichten, Widerstand*)

Kann ein Mensch beim freien Fall Schallgeschwindigkeit erreichen?

Warum fliegt ein Auto aus der Kurve? (*Kurven fahren, Fliehkräfte, Reibung, Sensortechnik*)

Ebbe und Flut: Wann, wie oft und wie hoch kommt die Flut? (*Kräfte zwischen Himmelskör-pern, Verformung der Erde durch inhomogene Gravitationskräfte, Vergleich der Einflüsse von Sonne und Mond, Gezeiten-Reibung, gravitativer Einfluss der Erde auf den Mond, vergleichba-re Effekte bei anderen Planeten*)

Warum liegt der Widderpunkt im Sternbild Fische? oder: Warum kippt ein schneller Kreisel nicht um? (*Rotation starrer Körper, Präzession, Himmelsmechanik*)

Wie ist es möglich, dass Flugzeuge, Satelliten, Ballons, Vögel, Drachen und Wolken fliegen, Regentropfen aber herunterfallen? (*unterschiedliche Arten des Auftriebs, der Antriebe, der stabilen Bewegungszustände, Strömungen um Körper, Randschichten, Strömungswiderstand, Kräfte*)

Was passiert, wenn man beim schnellen Fahrradfahren den Lenker um seine Achse dreht? Wie kommt man aber tatsächlich um eine Ecke, bzw. warum ‚legt‘ man sich in die Kurve? (*Physik des Kreisels*)

Warum soll eine Gruppe von Menschen nicht im Gleichschritt eine Brücke überqueren? (*erzwungene Schwingungen, Resonanz*)

Kann man eine Stradivari am Klang erkennen? (*Eigenschwingungen von Instrumenten, Superposition, Wellentypen, Reflexion, Materialeigenschaften, Schallgeschwindigkeit, Schall-dämpfung*)

Wie identifiziert man Herzklappenfehler? (*Dopplereffekt bei Schall, Wellenausbreitung, Blut-strömung*)

Brandungswellen, Tsunamis und Monsterwellen (*unterschiedliche nichtlineare Varianten von Wasserwellen, Schwerewellen, Interferenzen, Bugwellen*)

Wie gut können physikalische Ereignisse vorhergesagt werden? Was ist Kausalität? (*empfindli-che Abhängigkeit von Anfangsbedingungen, Chaos, nichtlineare Bewegungsgleichungen, Stabi-lität im Sonnensystem, Zahl der Freiheitsgrade*)

A.1.2 Thermodynamik

Warmwasser und Heizung im Haus durch die Sonne? (*Absorptionsvermögen, thermischer Auftrieb, Speicher, geeignete Fluide, Wärmeisolation, Wirkungsgrad*)

Übersteht ein Windrad starken Sturm? (*Antrieb durch Wind, Strömung hinter dem Windrad, gegenseitige Störung im Windpark, Wirkungsgrad, Rotoren*)

Wie viel Energie liefert die Sonne und wie lässt sie sich nutzen? (*Solar-Konstante, Spektrum, Energie- und Entropiebilanz, indirekte Nutzung durch Biogas, Wind- und Wasserkraft*)

Wie lässt sich Energie speichern? (*mechanisch, elektrisch, magnetisch, chemisch, biologisch*)

Verbrennungsmotoren und Stromgeneratoren: wie lässt sich aus Wärmeenergie mechanische Arbeit gewinnen? (*1. u. 2. Hauptsatz, Kreisprozesse, Wirkungsgrad, Zustandsgrößen, Otto- und Stirlingmotor*)

Warum soll ein Haus gedämmt sein? Warum benutzt man dafür Schaumstoff? (*Wärmeleitung in Gasen und Festkörpern, freie Weglänge, Konvektion, Wärmestrahlung, Größe der Wärmeverluste, was ist ein „Null-Energie-Haus“?*)

Kann ich mich beim absoluten Nullpunkt einfrieren lassen? (*3. Hauptsatz, Methoden der Kühlung, spezifische Wärmen bei tiefen Temperaturen, Superfluidität, Phasenübergänge*)

Kann die Physik das Wetter und Klimatrends vorhersagen? (*Nichtlinearitäten und viele Freiheitsgrade, dennoch lassen sich Gesetzmäßigkeiten finden, Luftströmungen, Hoch- und Tiefdruckgebiete, Wärmekonvektion, Luftfeuchtigkeit, Luftverschmutzung, Meeresströmungen, Kopplung der Ozeane an die Atmosphäre, Bedeutung des Polareises*)

Können wir ein Perpetuum mobile konstruieren? (*Versuch macht klug: erster und zweiter Hauptsatz*).

A.1.3 Elektrodynamik

Wie kommt der Strom vom Kraftwerk in die Steckdose? (*Gleichstrom, Wechselstrom, Spannungstransformation, Energieübertragung, Verluste*)

Wie „erzeugt“ man elektrische Energie? (*Umwandlung aus Wind-, Wasser-, Sonnenstrahlungs-, Wärmeenergie; Induktion; Generatoren; Dynamos*)

Wie und wo „verbraucht“ man elektrische Energie? (*Elektroherd, Heizung, Elektromotoren, Glühlampen, LEDs, elektronische Geräte, Stand-by*)

Wie kann man elektrische Energie speichern? (*Kondensator, Batterie, Umwandlung in chemische Energie*)

Wie kann man mit elektromagnetischen Wellen Energie und Information übertragen? (*Erzeugung und Ausbreitung von Wellen, Polarisierung, Energiedichte und Poyntingvektor, Amplituden- und Phasenmodulation, Digitalübertragung, Fourierzerlegung*)

Hat die Erde außer ihrem Magnetfeld auch ein elektrisches Feld? Woher kommt die Energie der beiden? (*Hydrodynamische Instabilitäten in Atmosphäre und Erdinnerem; Gewitter und Ladungstrennung; Blitz und Donner; Geodynamo*)

Gibt es Polarlichter auch auf der Südhalbkugel? (*Wechselwirkung von Sonnenwind und Erdmagnetfeld, Bewegung geladener Teilchen im Magnetfeld, Fluoreszenzanregung*)

Wie funktioniert ein Mikrowellenofen? (*elektromagnetische Wellen, Entstehung im Magnetron, Eigenmoden des Kastens, material- und frequenzabhängige Absorption*)

Was können EKG und EEG über die Herz- und Gehirntätigkeit aussagen? (*elektrische Leitung in Nervenfasern, Steuerung der Muskeln, Messung kleiner elektrischer oder auch – mit SQUIDS – magnetischer Felder*)

Von welchen unsichtbaren Wellen sind wir umgeben? (*UV, IR, Radiowellen; 3K Hintergrund; moderne Kommunikation: Funk, Fernsehen, Handy*)

Kann man aus einem Faraday-Käfig telefonieren? (*Abschirmung statischer und dynamischer Felder, Blitzschutz, Rolle des Verhältnisses Maschenweite zu Wellenlänge*)

A.1.4 Relativität

Warum hält Reisen jung? (*Zwillings-„Paradoxon“ trotz Symmetrie der Zeitdilatation, Eigenzeit vs. Koordinatenzeit, Minkowski-Diagramme*)

Was steckt hinter der Formel $E = mc^2$? (*Lorentz-Invarianz der Minkowski-Raumzeit, Geschwindigkeitsaddition, Massen- und Impulserhaltung bei Stößen*)

Würde das Navigieren mit GPS ohne die Relativitätstheorie funktionieren? (*Relativität der Zeit in der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie, Schwarzschild-Metrik, allgemein-relativistischer Effekt größer als der der speziellen Relativitätstheorie*)

A.1.5 Optik

Wie gut kann man Sonnenlicht mit Spiegeln oder Linsen in einem Punkt bündeln? (*Reflexion und Brechung geometrisch; Abbildungsgesetze, Linsenfehler, Kaustiken; Wellenaspekte, Beugung*)

Das Geheimnis des Regenbogens sind nicht nur seine Farben! (*Reflexion und Brechung an Kugeln, Eingangskanäle: Farben u. Polarisation, Fresnelsche Formeln, Divergenzen des Streuquerschnitts in Ausgangskanälen*)

Warum ist der Himmel blau, die Sonne am Horizont rot, Wolken weiß oder grau? (*Dipolstrahlung, Rayleighstreuung, Einfach- u. Mehrfachstreuung*)

Was ist die Natur des Lichts? Von der geometrischen Optik über die Wellentheorie bis zur Quantenoptik (*Grenzen der jeweiligen Beschreibung, Analogie zur Quantenmechanik, Photonen und ihr Nachweis, Plancks Strahlungsgesetz, Interferenz einzelner Photonen, Verschränkung, Nichtlokalität*)

Warum kann man Atome nicht im Lichtmikroskop sehen, wohl aber in den besten Elektronenmikroskopen? (*Beugung von Licht, Orts- und Beugungsbild, Grenzen der Auflösung, Fouriertransformation, Abbe-Theorie, Strukturanalyse mit Röntgenstrahlen*)

Physik der Lichtquellen: Von der Kerze bis LED und OLED

A.1.6 Atom- und Quantenphysik

Was ist und wie klein ist ein Quant? Kann man es sehen (Photon), hören (Phonon), fühlen (Elektron) oder riechen (Pheromon)? (*Wirkungsquantum und Energie, Impuls, Drehimpuls; Größenordnungen; elementare Anregungen; Umwandlung in klassische Signale; Messprozess, Verstärkung*)

Weshalb soll ich Ort und Impuls eines Elektrons nicht gleichzeitig messen können? (*Wellenpakete, Fouriertransformation; Nichtvertauschbarkeit von Operatoren; Unschärfen und ihre Produkte*)

Wieso leuchten Wasserstoff (H-alpha im Weltraum), Quecksilber, Polarlichter oder Chlorophyll immer nur in bestimmten Farben? (*Atomspektren, Anregung, Absorption und Fluoreszenz*)

Woher wissen wir, wie die Sonne, Sterne, intergalaktische Gasnebel oder auch die Atmosphären extrasolarer Planeten zusammengesetzt sind? (*Energieniveaus von Atomen und Molekülen, Spektrallinien, Auswahlregeln, Absorption und Emission von Strahlung, Spektroskopie*)

Worin unterscheiden sich Atome, wie viele verschiedene Atome gibt es? (*Aufbau des Periodensystems, Elektronenschalen, Pauli-Prinzip, Hundsche Regeln, Stabilität von Kernen, Zerfall großer Kerne, Kernspaltung, Kernfusion, Energiequelle der Sonne*)

Von Mikrowatt zu Megawatt: beruhen alle Laser auf dem gleichen Prinzip? (*stimulierte Emission, Kohärenz, Resonatoren, optisch aktive Materialien, Halbleiter, Festkörper-, Flüssigkeits-, Gaslaser, freie Elektronen-Laser*)

Was ist ein Spin? Was ein Spinor? (*Mehrkomponentige Wellenfunktionen, Pauli- u. Dirac-Matrizen, Relativitätstheorie und Quantenmechanik*)

Wie studiert man mikroskopische Strukturen und Prozesse? (*Streuexperimente mit Photonen, Elektronen, Neutronen, elastische u. unelastische Streuung, Streuamplitude und Streuquerschnitt*)

Hat der Quantencomputer eine Zukunft? Was unterscheidet ihn vom herkömmlichen Computer?

A.1.7 Statistische Physik

Wie kalt ist das Universum? (*3K Hintergrundstrahlung, Plancksches Strahlungsgesetz, Temperaturen von Gasnebeln u. Sternen*)

Was ist ein Freiheitsgrad und wie kann er „ausfrieren“? (*Translation, Rotation, Schwingungen von Molekülen, Gleichverteilungssatz, Boltzmann-Faktor*)

Warum ist Materie stabil und kollabiert nicht unter dem Einfluss der überall anziehenden Gravitation? (*Pauli-Prinzip, Fermi-Druck von Elektronen und Neutronen, Planeten, weiße Zwerge, Neutronensterne, schwarze Löcher*)

Wie kann es sein, dass nahe dem absoluten Nullpunkt nicht alle Bewegung einfriert, sondern teilweise sogar superfluid oder supraleitend wird? (*Nullpunktbewegung, thermische Wellenlänge, Bose-Einstein-Kondensation, makroskopische Wellenfunktionen, Kohärenz*)

Wie kann trotz des 2. Hauptsatzes Ordnung entstehen? (*Gleichgewicht und Nichtgleichgewicht, Phasenübergänge, Symmetrien, Symmetriebrechung, Landau-Theorie, Skalengesetze*)

A.1.8 Allgemeine Physik

Woher kommt und wohin geht unser Universum?

Sind wir Menschen einmalig, gibt es auch Leben im Weltall außerhalb der Erde?

Wie und wann ist die Erde entstanden und wie das Sonnensystem?

Kein Rentenproblem, aber eine spannende Entwicklung: (*Alterspyramide auch bei den Sternen?*)

Aus welchen elementaren Bausteinen besteht unsere Welt? Wie „sehen“ wir sie?

Was für Kräfte gibt es?

Symmetrien und Erhaltungssätze

Was ist „symmetrischer“: Kreis oder Sechseck? Symmetriegruppen, -brechung

Regelt die Physik auch das Geschehen in biologischen Zellen?

Wie funktionieren nukleare Kraftwerke und was ist ihr Gefahrenpotential?

Wie könnte ein Fusionsreaktor funktionieren?

Wie funktionieren die Datenströme im Internet?

Wie kommt das Internet zu uns ins Haus? Von schnellen Glasfasern und Nano-Lasern

Über physikalische Grenzen von Halbleiter-Bauelementen

A.2 Fachsystematische Inhalte der Lehrveranstaltungen

Die Physik ist als Wissenschaft weitgehend fachsystematisch orientiert. Im vorgegebenen zeitlichen Rahmen lässt sich Physik jedoch nur exemplarisch behandeln, wie oben mehrfach besprochen. Allerdings sollten die ausgewählten Teilgebiete auch einen Eindruck von Physik als ganzer vermitteln. Ferner muss die getroffene Auswahl die grundlegenden Einsichten so vermitteln, dass mit diesem Rüstzeug weitere physikalische Gebiete zu erarbeiten und zu verstehen sind.

Im Folgenden soll beispielhaft gezeigt werden, in welchem Umfang wir ausgewählte Teilgebiete der Physik in fachsystematischer Ordnung im Rahmen der vorgegebenen 90 LP für vermittelbar halten. Dabei haben wir darauf geachtet, den stofflichen Umfang für die Studierenden leistbar zu machen. Deshalb vermerken wir auch die jeweils von uns geschätzten benötigten Lehrstunden. Wir sind uns jedoch nicht sicher, ob alle hier aufgeführten Themen innerhalb des vorgegebenen Zeitrahmens in sinnvoller Tiefe behandelt werden können. Im Zweifel sollte Gründlichkeit wichtiger sein als Vollständigkeit.

Die folgenden Zeitangaben sind Lehrveranstaltungsstunden LV-h zu je 45 Minuten. Sie ergeben sich als Produkt aus der **Zahl der Wochen** pro Semester während der Lehrveranstaltungszeit (= 14) und den **Semesterwochenstunden nach der Übersicht in Tabelle 4**. Es gilt also:

$$\text{LV-h} = 14 \times \text{SWS}$$

A.2.1 Physik P1 bis P4

Tabelle 8: Detailübersicht über Lehrveranstaltungsstunden in den Grundvorlesungen Physik P1-P4
Die Studieninhalte orientieren sich an den von der **KMK (2008)** geforderten, detaillieren und ergänzen sie.

	Lehrveranstaltung/Inhalte	LV-h
P1	Physik 1: Mechanik – Thermodynamik 6 LP, 4 SWS V + 2 SWS Ü	56
P1.1	Mechanik	37
	Kinematik: Linear- und Kreisbewegung	2
	Kräfte (linear, konstant, Zentralkraft; Addition von Kräften)	1
	Newtonsche Gesetze, einfache Bewegungsgleichungen, Reibung	3
	Bewegte Bezugssysteme: Galilei-Transformation, Corioliskraft, Zentrifugalkraft	3
	Arbeit, potentielle Energie, Energiesatz	5
	Impulssatz, Stöße, elastisch u. unelastisch	3
	Schwingungen, gedämpft, erzwungen, Resonanzen	5
	Drehmoment, Drehimpuls, Planetenbewegung	3
	Statik, Kräftegleichgewichte	2
	Rotation starrer Körper, Trägheitsmoment	3
	Gase und Flüssigkeiten, Druck, Bernoulli, zähe Fluide	2
	laminare und turbulente Strömungen, Randschichten	2
	mechanische und akustische Wellen (Grundbegriffe)	3
P1.2	Thermodynamik und Statistik	19
	Gleichgewicht, Zustandsgrößen T, p, U, S, Prozessgröße Wärme Q, 1. Hauptsatz und 2. Hauptsatz, Zeitrichtung	6
	ideales Gas, Zustandsgleichung	1
	spezifische Wärme, Kalorimetrie, 3. Hauptsatz	1
	Kreisprozesse, Wärmekraftmaschinen, Wärmepumpe	4
	Carnot, Joule-Thompson, Wärmeleitung	2
	statistische Verteilungen, Maxwell-Boltzmann, Gleichverteilungssatz, Freiheitsgrade	2
	statistische Deutung von Druck und Temperatur	1
	reale Gase, van der Waals, Phasendiagramm, Verflüssigung	2
P2	Physik 2: Elektrodynamik – Relativität 6 LP, 4 SWS V + 2 SWS Ü	56
P2.1	Elektrodynamik	38
	Ladungen, Coulomb-Kraft, elektrisches Feld, 1. Maxwell-Gleichung	2
	Arbeit im Feld, Potential, Spannung	3
	Dielektrika, Kapazität	2
	Strom und Stromkreise	2
	Magnetfelder, Ampère-Gleichung, Induktivität, magn. Eigenschaften	4
	Induktion, Kraft auf stromdurchflossenen Leiter, Generator, E-Motor, Transformator, Faraday-Gleichung	8
	Maxwell-Gleichungen. (Integralform)	2

	Lehrveranstaltung/Inhalte	LV-h
	elektro-magnetische Schwingungen (L, C, LRC-Kreise)	2
	elektro-magnetische Wellen, Spektrum-Überblick	2
	Hertzscher Dipol, Antennen	2
	ebene Wellen, Polarisierung	2
	Impuls- und Energiedichte	2
	Materie im magnetischen und elektrischen Feld, Brechungsindex	3
	Modulation von Wellen, Pulse, Fourier-Reihen, Phasen- und Gruppengeschwindigkeit	2
P2.2	Relativität	18
	Experimente zur Invarianz der Lichtgeschwindigkeit, Lorentz-Transformation, $E = mc^2$	3
	Vorhersagen u. experimentelle Verifizierung: Zeitdilatation (Myonen), Längenkontraktion, Masse und Energie (Kerne), Zwillingsparadoxon	7
	Lorentz-Invarianz der Elektrodynamik, Transformation elektrischer und magnetischer Felder, Beispiele	3
	Grundideen u. Experimente zur Allgemeinen Relativitätstheorie, träge und schwere Masse, Gravitation u. Geometrie, Lichtablenkung, Rotverschiebung, schwarze Löcher	4
	relativistische Korrekturen beim GPS-System, Uhren im Gravitationssystem	1
P3	Physik 3: Optik – Quantenphysik 6 LP, 4 SWS V + 2 SWS Ü	56
P3.1	Optik	20
	Eigenschaften u. Ausbreitung von Licht, Dispersion	2
	geometrische Optik, optische Abbildung	2
	Polarisation, Totalreflexion, Strahlteiler	2
	Wellencharakter des Lichts: Beugung, Interferenz, Spalt, Doppelspalt, Gitter, Beugung an Kante, Übergang zur geometrischen Optik	8
	Kohärenz u. optische Auflösung	1
	Laser: Prinzip, wesentliche Eigenschaften	2
	optische Instrumente	3
P3.2	Atom- und Quantenphysik	36
	Grundlegende Experimente zur Quantenphysik: schwarzer Strahler, Photoeffekt, Spektren, Comptoneffekt	9
	Rutherford-Experiment und Atommodelle, Erfolge und Probleme	2
	Materiewellen: de Broglie-Hypothese, Elektroneninterferenz	2
	eindimensionale Schrödinger-Gleichung, Wellenfunktion, Tunneleffekt, Kastenpotentiale, harmonischer Oszillator	6
	Quantenzahlen, Eigenfunktionen, Observable, Erwartungswerte, Probleme mit der gleichzeitigen Messung von Observablen, Unschärferelation	6
	Stern-Gerlach-Versuch, magnetische Momente, Richtungsquantelung, Spin und Pauliprinzip	6
	Wasserstoffatom, Zentralpotential, Quantelung des Drehimpulses und Drehimpuls-Eigenfunktionen	5
P4	Physik 4: Einführg. in die Struktur d. Materie 6 LP, SWS: 4 V + 2 Ü	56
	Zusammenfassende Wiederholung von Atom- und Quantenphysik	2
	Radialwellenfunktion, Energiezustände, Orbitale, Spektralserien	5
	Atomspektren, Feinstruktur (rein phänomenologisch), Drehimpuls-Addition, L, S, J, Atombau, Periodensystem	5
	Röntgenstrahlen: Spektren, charakteristische Strahlung, Absorption,	2

	Lehrveranstaltung/Inhalte	LV-h
	Erzeugung, Messung	
	Atome im Magnetfeld, Zeeman-Effekt	2
	Elemente der Molekülphysik: Born-Oppenheimer-Näherung, Potentialbe- griff, Rotation, Schwingung, elektronische Zustände	4
	phänomenologisch: zweiatomige Moleküle und Orbitale, H_2^+	4
	kovalente Bindungen des Kohlenstoffs, Hybridisierung	2
	Einführung in Kristallstruktur, Millersche Indizes, Bragg-Reflexion, Röntgenbeugung als Methode zur Stukturanalyse	5
	Elementare Einföhrung ins Bändermodell, Festkörper, Halbleiter, Nichtleiter	5
	Fundamentale Wechselwirkungen	4
	Struktur der Atomkerne, Tröpfchenmodell	6
	Radioaktivität, exponentieller Zerfall, Lambert-Beer	4
	Quarks und andere Elementarteilchen	4
	Symmetrien, Erhaltungssätze	2

Die hier vorgestellten Inhalte umfassen die kanonischen Fachgebiete der Physik auf elementarem Niveau und umfassen weitgehend auch die von der **KMK (2008)**, S. 41 vorgegebenen Themen. Sie sollten stark experimentell orientiert und möglichst spezifisch auf die Lehramtsausbildung zugeschnitten sein (s. **Kapitel 3**). Die notwendigen theoretischen Grundlagen wird man häufig eher heuristisch und ohne strenge mathematische Ableitung einföhren und auf die nachfolgenden Vorlesungen zur theoretischen Physik verweisen. Die Studierenden erhalten auf diese Weise einen näherungsweise vollständigen Gesamtüberblick über die wichtigsten Fachgebiete der Physik, was für ihren späteren Beruf unverzichtbar ist.

Naturgemäß fehlt diesem Überblick aber eine größere Tiefe. Diese kann exemplarisch im späteren Verlauf des Studiums in ausgewählten Feldern der Modernen Physik erworben werden, wie in Anhang **A.2.5** skizziert.

Sofern bei dieser Auswahl sicher gestellt ist, dass die Festkörperphysik, sowie die Kern- und Elementarteilchenphysik verpflichtend zu einem späteren Zeitpunkt des Studiums behandelt werden, kann man sich für die Inhalte der Physik 3 und 4 auch eine Konzentration auf moderne Atom- und Molekülphysik sowie auf Quantenoptik vorstellen, wie dies in **Tabelle 9** zusammengestellt ist. Alle anderen LV Inhalte bleiben erhalten.

Tabelle 9: Alternative zur Ausgestaltung der Grundvorlesungen P3 und P4, sofern Festkörperphysik sowie Kern- und Elementarteilchenphysik im späteren Studium behandelt werden.

	Lehrveranstaltung/Inhalte	LV-h
P3.2	Atom- und Quantenphysik 1	36
	Grundlegende Experimente zur Quantenphysik: schwarzer Strahler, Photoeffekt, Spektren, Comptoneffekt	9
	Rutherford-Experiment und Atommodelle, Erfolge und Probleme	2
	Materiewellen: de Broglie-Hypothese, Elektroneninterferenz	2
	eindimensionale Schrödinger-Gl., Wellenfunktion, Tunneleffekt, Kastenpotentiale, harmonischer Oszillator	6
	Quantenzahlen, Eigenfunktionen, Observable, Erwartungswerte, Probleme mit der gleichzeitigen Messung von Observablen, Unschärferelation	6
	Wasserstoffatom, Zentralpotential, Quantelung des Drehimpulses und Drehimpuls-Eigenfunktionen	5
	Radialwellenfunktion, Energiezustände, Orbitale, Spektralserien	6
P4	Physik 4: Atom- und Quantenphysik 2 6 LP, 4 SWS V + 2 SWS Ü	56
	Zusammenfassende Wiederholung von Atom- und Quantenphysik 1	2
	Stern-Gerlach-Versuch, Spin, magnetische Momente, Spin und Pauliprinzip	6
	Atomspektren, Feinstruktur, Drehimpuls-Addition, L, S, J, Atombau, Hund'sche Regeln, Periodensystem	7
	Röntgenstrahlen: Spektren, charakteristische Strahlung, Absorption, Erzeugung, Messung	4
	Emission u. Absorption von Licht, Auswahlregeln	3
	Spektroskopie (VIS, UV, IR), Eigenschaften von Spektrallinien	3
	Atome im Magnetfeld, Zeeman-Effekt	2
	Streuprozesse	3
	Rydbergatome	2
	Laserkühlung, magneto-optische Falle, Bose-Einstein-Kondensate	3
	Molekülphysik:	
	H_2^+ und H_2 -Molekül	4
	kovalente Bindungen des Kohlenstoffs, Hybridisierung	4
	Spektroskopie, Spurengase, CO_2 u. H_2O in der Atmosphäre	3
	Sodann eine der folgenden Alternativen, jeweils im Umfang von 10 Std:	10
	a) Elektronenspinresonanz- („EPR“, unglückliche Abkürzungskoinzidenz) und Kernspinresonanz- („NMR“) Spektroskopie.	
	b) ausgewählte grundlegende Experimente zur Natur der QM: Single Photon-Zustände, Interferenz einzelner Photonen, Interferenz von Fullerenen am Doppelspalt, Dekohärenz, Verschränkte Zustände zweier Photonen, EPR-Experiment	
	c) Laserphysik	

A.2.2 Mathematische Methoden der Physik (MM)

Tabelle 10: Vorschlag für Inhalte und Zeiteinteilung für Mathematische Methoden der Physik

	Lehrveranstaltung/Inhalte	LV-h
MM1	Mathematische Methoden der Physik 1 4 LP, 2 SWS V + 3 SWS Ü	28
	reelle und komplexe Zahlen, Folgen, Reihen	3
	Vektoren, Skalar- und Vektorprodukt	6
	Bahnen und Kurven im Raum	1
	skalare und Vektorfelder	2
	krummlinige Koordinaten, Polar- und Kugelkoordinaten	1
	Differenzieren, Integrieren, Taylorentwicklung	4
	wichtige transzendente Funktionen, reell und komplex	3
	gewöhnliche Differentialgleichungen (homogene, inhomogene, 1. und 2. Ordnung, lineare u. nichtlineare)	4
	statistische Verteilungen	4
MM2	Mathematische Methoden der Physik 2 4 LP, 2 SWS V + 3 SWS Ü	28
	Matrizen, Determinanten, Eigenwerte	7
	Funktionen mehrerer Variablen, partielle Ableitungen	3
	Vektoranalysis: Gradient, Divergenz, Rotation; quellenfreie und wirbelfreie Felder, Potential, Vektorpotential	5
	Differentialoperationen in krummlinigen Koordinaten	1
	Kurven-, Volumen- u. Flächenintegrale, Integralsätze	4
	Fourier-Reihen, Fourier-Analyse, Laplace-Transformation	4
	Ausblick auf partielle Differentialgleichungen	4

In den Übungen zu dieser LV sollten auch Grundelemente der Computernutzung, des Programmierens und des Einsatzes graphischer Darstellungen vermittelt werden, siehe Kapitel 3.9. Das kann in einem kurzen Kompaktkurs begonnen, sollte dann aber immer wieder geübt werden, ohne die Mathematik in den Hintergrund zu drängen. Ergänzend und komplementär dazu gibt es entsprechende Computer-Übungen in den Übungen zu den LV Physik P1-P4 sowie in den Praktika. – Übungszettel für nicht betreute Übungsaufgaben sind aus den beschriebenen Gründen der Zeitknappheit für diese LV nicht vorgesehen.

A.2.3 Praktika im fachphysikalischen LA-Studium (GP1 bis GP3 und FP)

Die Praktika greifen exemplarisch Themen auf, die in anderen Lehrveranstaltungen bereits behandelt wurden, und vertiefen sie in Form von „Versuchen“, in denen die Studierenden mit physikalischem Denken, Argumentieren und „Handwerkszeug“ vertraut gemacht werden. Dazu gehören das Planen, Beobachten, Vermessen, Auswerten und Protokollieren von Experimenten, der Einsatz von Computern und das Sprechen über Physik, siehe Kapitel 3.5, 3.9 und 3.12. Im Folgenden werden Themen aufgeführt, die sich für die Praktika eignen, die aber je nach den örtlichen Gegebenheiten auch variiert werden mögen.

Hier bieten sich auch viele Möglichkeiten zu einer effizienzsteigernden, synergetischen Zusammenarbeit mit der Didaktik.

Grundpraktika GP1 – GP3	dreimal 4 LP, 5 SWS P
Allgemein Elektrische Messgeräte und Bauteile (<i>Gleich- und Wechselspannung</i>), Oszillograph (digital/analog), elektrische Schaltungen (zeichnen, verkabeln, testen), Messreihen, Messfehler, mechanische Messinstrumente (<i>Länge, Waage, Zeit, ...</i>); statistische Analyse und graphische Darstellung von Messergebnissen mit dem Rechner; optische Abbildung.	
Mechanik Impuls, Energiesatz, Translation und Rotation (<i>zum Beispiel Rollen auf schiefer Ebene</i>), Schwingungen (<i>physikalisches Pendel</i>), Dämpfung, erzwungene Schwingung und Resonanz, mechanische und akustische Wellen.	
Wärme Temperaturmessung (<i>absolut und mit Eichung, Wärmestrahlung</i>), spezifische Wärme von Festkörpern und Kalorimetrie (möglichst mit Temperaturabhängigkeit; <i>flüssiger Stickstoff</i>), Kreisprozess mit Wirkungsgrad, Wärmebewegung, statistischer Charakter: z.B. Brownsche Bewegung quantitativ, thermisches Rauschen	
Elektrodynamik Induktion, Hertscher Dipol und Eigenschaften elektromagnetischer Wellen (z. B. Mikrowellen), elektrische Schaltkreise (z. B. Hoch-, Tiefpass, Schwingkreis, ...).	
Atomistik und Quantenphysik Elektrische Ladung, Elektrolyse, Millikan-Versuch, Photoeffekt, Franck-Hertz-Versuch, optische Spektroskopie (<i>Prisma und Gitter</i>), Spektren von H und Na, Röntgenspektroskopie, Elektronbeugung (<i>Debye-Scherrer-Methode</i>), eventuell, wenn möglich, Rastermikroskopie.	
Optik/Quantenoptik Interferenz, z.B. Michelson-Interferometer, Orts- und Beugungsbild, Interferenz einzelner Photonen	

Im Fortgeschrittenenpraktikum, das in höheren Semestern zu absolvieren ist, sollen die Studierenden exemplarisch einige sehr wenige Tagesexperimente aus den Forschungsgebieten ihres Fachbereichs auswählen können. Sie werden dabei von Mitarbeitern der jeweiligen Institute betreut. Sie präsentieren dann ihre Erkenntnisse in einem speziellen Seminar. Hier z.B. kann „Medienkompetenz“ (Kapitel 3.10) erworben werden, ebenso wie Fähigkeiten zum „Sprechen über Physik“ (Kapitel 3.12) – ganz im Sinne der KMK Standards im Kompetenzbereich „Kommunikation“ (s. D.3).

Fortgeschrittenenpraktikum FP	6 LP, 9 SWS P
Atomphysik Laserspektroskopie, Molekularstrahlen und Cluster, Magneto-optische Falle (Laser-Kühlung), Test der Bellschen Ungleichung mit verschränkten Photonen	
Kondensierte Materie Röntgenbeugung, Rastertunnelmikroskopie, Debye Temperatur	
Teilchen Kernresonanzspektroskopie, Eigenschaften von Myonen (<i>Lebensdauer, magnetisches Moment u.a.</i>), Experimente mit Neutronen. Bei entsprechendem Angebot der Fakultäten kommen auch in Frage Umweltphysik, Nano-Materialien, Biophysik	

Spezialgebiete, Alternative Formen

Eine interessante Alternative kann aber auch das schon am Ende von Kapitel 4.2.2 erwähnte Forschungspraktikum in einem externen Forschungsinstitut oder in einem forschungsnahen Industrieunternehmen sein.

A.2.4 Theoretische Physik (T1 bis T3) – zwei Alternativen

Die Lehrveranstaltungen zur Theoretischen Physik dienen der physikalischen Bildung der angehenden Lehrer. Sie bieten neue Einsichten, neue Methoden und Formalismen sowie teilweise Wiederholungen aus anderem Blickwinkel einiger schon im Grundkurs „Physik 1-4“ behandelte physikalischer Themen. Eine solche partielle Wiederholungsschleife hat sich im Physikstudium generell sehr bewährt. Vor allem aber sollen die LA-Studierenden in der Theoretischen Physik exemplarisch mit einem in sich geschlossenen, kohärenten, sauber begründeten, widerspruchsfreien, ästhetischen physikalischen Weltbild vertraut gemacht werden und dabei die Stärke der Mathematik als präziser Sprache für die Formulierung von Gesetzmäßigkeiten erfahren.

In der theoretischen wie auch in der experimentellen Physik sollte einheitlich das Internationale Einheitensystem (SI) verwendet werden. Die Gleichungen sollen in der Theorievorlesung genauso aussehen wie in den Grundvorlesungen. Im LA-Studium sollte darauf verzichtet werden, mehrere Maßsysteme einzuführen oder gar damit vertraut zu machen. Das gilt selbstverständlich auch für die Elektrodynamik ebenso wie für Teilchenphysik und Relativität. Ansätze wie „wir setzen $c = \hbar = 1$ “ sollten unbedingt vermieden werden.

Die folgenden Themenkataloge für T1, T2 und T3 sind als Einheit zu sehen. Die vier traditionellen Bereiche *Mechanik*, *Quantenmechanik*, *Elektrodynamik* und *Statistische Physik* werden damit in drei Semestern abgedeckt (manche Universitäten werden nur zwei Semester speziell für LA-Studierende anbieten können). Selbstverständlich ist dieser Vorschlag offen für Änderungen je nach den Präferenzen des betreffenden Lehrenden. Er ist nicht semesterweise zu lesen; vielmehr bildet die Theoretische Physik als Ganze ein Modul. Aus fachphysikalischer Sicht ist die Zuteilung von LV-h zu den einzelnen Themen äußerst knapp bemessen, wir sind deshalb unsicher, ob der Katalog nicht bereits überladen ist. Wenn eines der Themen ausführlicher behandelt werden soll, muss dafür etwas anderes wegfallen.

Weil keine systematische Ausbildung in Theoretischer Physik, sondern eine Bereicherung der physikalischen Bildung durch exemplarische Kenntnisse in einem wichtigen Teil der Physik angestrebt wird, sind für diese Lehrveranstaltungen unterschiedlich ausgewählte Inhalte denkbar. Wir geben deshalb zwei Beispiele dafür.

Tabelle 11: Theoretische Physik 1 und 2 im Bachelor Studium mit Vorschlag zur Zeiteinteilung

	Lehrveranstaltung/Inhalte	LV-h
T	Theoretische Physik 6+4+4 LP, 3+2+2 SWS V, 3+2+2 SWS Ü	98 insg.
T1a	Mechanik und Hydrodynamik	14
	Von der Naturbeobachtung zur mathematischen Beschreibung: physikalische Größen als Skalare, Vektoren, Felder. Deren zeitliche und räumliche Variation: gewöhnliche bzw. partielle Differentialgleichungen.	2
	Die Struktur von Raum und Zeit bei Newton, Kant, Einstein/Minkowski. Flache und gekrümmte Räume, Metrik.	1

	Lehrveranstaltung/Inhalte	LV-h
	Die Unverzichtbarkeit von Bezugssystemen zur Darstellung physikalischer Größen; Beispiele (incl. rotierende und relativistische)	1
	Übergeordnete Prinzipien: Kausalität (Differentialgleichungen) u. globale Optimierung (Variationsprinzip) – zwei Seiten derselben Medaille.	4
	Newton Mechanik und die von Lagrange bzw. Hamilton im Vergleich. Phasenräume.	
	Symmetrien/Invarianzen und Erhaltungssätze (Energie, Impuls, Drehimpuls). Integrierte u. nicht-integrierte Systeme.	2
	Lineare Einfachheit und komplexe Nichtlinearität. Warum auch die klassische Mechanik nur beschränkt vorhersagen kann.	1
	Grundgleichungen der Hydrodynamik: Euler, Navier-Stokes	2
	Elementare Grenzschichttheorie und Erklärung des Fliegens	1
T1b	Quantenmechanik I	28
	Wie verhält sich die klassische Mechanik zur Quantenmechanik: was verbindet und was unterscheidet sie?	2
	Plancks $\hbar$ als kleinste Einheit des Phasenraumvolumens. Verlust des Bahnbegriffs und „Ersatz“ durch Zustand oder Wellenfunktion.	2
	Messgrößen (Zahlen) werden „Observable“ (hermitesche Operatoren). Übersetzung der Hamilton-Funktion in Hamilton-Operator und Schrödinger-Gleichung. Zeitentwicklung als unitärer Operator.	4
	Messprozess: Eigenwerte und Erwartungswerte. Vertauschbarkeit von Operatoren und gleichzeitige Messbarkeit, Nichtvertauschbarkeit und Unschärfeprodukt (gegenseitige Störung).	4
	Symmetrien/Invarianzen in der Quantenwelt: Vertauschbarkeit mit dem Hamilton-Operator.	1
	Spektren von Energie, Impuls, Drehimpuls. Ihre Abhängigkeit von der Natur der Wechselwirkungen und Randbedingungen	5
	Was ist, wie entsteht und welche Eigenschaften hat eine „chemische Bindung“?	6
	Streuexperimente: die Methode zur Aufklärung mikroskopischer Strukturen. Streuamplitude und Streuquerschnitt. Bornsche Näherung.	4
T2	Elektrodynamik und Relativitätstheorie 4 LP, 2 SWS V, 2 SWS Ü	28
	Grundlagen von Elektrizität und Magnetismus, Maxwell-Gln. und Lorentz-Kraft	3
	statische elektrische und magnetische Felder: Potentiale, Integralsätze von Gauß und Stokes, Poisson-Gleichung, Biot-Savart, Randbedingungen, Ruheenergie des Elektrons?	6
	zeitabhängige elektrische und magnetische Felder: Induktion, Lenzsche Regel, Verschiebungsstrom, Vektorpotential, Eichinvarianz (falls die Zeit reicht: Aharanov-Bohm-Effekt)	4
	elektromagnetische Wellen im Vakuum: Wellengleichung, ebene und Kugelwellen, Energietransport, Poynting-Vektor, Dipol-Strahlung, Beugung, Interferenz	5
	elektromagnetische Wellen in Materie [falls Zeit reicht: in Hohlleitern u. Kabeln: homogene Medien], Reflexion u. Brechung an Grenzflächen, Dispersion, Gruppen- und Phasengeschwindigkeit, Absorption	5
	relativistische Mechanik: Inertialsysteme, Lorentz-Transformation, Minkowski-Geometrie, Vierer-Vektoren, relativistische Masse, $E = mc^2$, Doppler-Effekt	5

In den beiden Lehrveranstaltungen T1 und T2 können nur die wichtigsten Ideen und Methoden der Theoretischen Physik behandelt werden. Es fehlen offensichtlich die für alle moderne Physik unverzichtbare Statistische Physik und vertiefende Themen der Quantenmechanik und der Relativitätstheorie. Das soll in einem dritten Teil zu Beginn des Master-Studiums in schmerzlicher Kürze nachgeholt werden. Für die Statistische Physik sollten mindestens 17 LV-h reserviert werden. Für die anderen Bereiche benennen wir mögliche Themen.

Tabelle 12: Theoretische Physik 3 im Master Studium mit Vorschlag zur Zeiteinteilung

	Lehrveranstaltung/Inhalte	LV-h
T3	Vertiefte Theoretische Physik 4 LP, 2 SWS V, 2 SWS Ü	28
	Statistische Physik	17
	Die makroskopischen Gesetze aus vielen Teilchen zusammengesetzter Körper (Fluide, Gase), ihr genialer historischer Klärungsprozess und ihre heutige Begriffsstruktur: thermodynamische Identitäten wie $dU = TdS - pdV + \mu dN$ für verschiedene Potentiale; Zustandsgln.	3
	Zustandsgrößen und Prozessgrößen. Gleichgewicht und Nicht-Gleichgewicht. Energie als Erhaltungsgröße (1. Hauptsatz) und Entropie als in abgeschlossenen Systemen zum Gleichgewicht hin zunehmend (2. Hauptsatz); Energie als Buchhalter, Entropie als Gestalter regieren unsere technische Welt: Maschinen und Kraftwerke, das Heizen von Räumen und die Strahlungsbilanz der Atmosphäre, die Entwicklung des Klimas und den Stoffwechsel von Lebewesen	4
	Wie kommt man von den Gesetzen der mikroskopischen zu denen der makroskopischen Welt? Mikrokanonische, kanonische und großkanonische Verteilungen je nach Systembedingungen; klassische wie quantenmechanische Statistik (Maxwell-Boltzmann, Bose-Einstein, Fermi-Dirac)	5
	Auch Himmelskörper wie Sonne, weiße Zwerge oder Neutronensterne unterliegen der Thermodynamik	2
	Ausblick auf Anwendungen: Materie-Eigenschaften aufgrund des Fermi-charakters der Elektronen, Planck-Strahlung und Wärmebildkameras oder kosmische Hintergrundstrahlung, Supraleitung, Superfluidität und Bose-Einstein-Kondensation bei tiefen Temperaturen	3
	Quantenmechanik II	8
	Eine exemplarische Auswahl aus z. B. folgenden Themen: Zweite Quantisierung, Emission und Absorption von Strahlung. Besetzungsinversion und Laser, spontane u. stimulierte Emission Nichtlokalität der QM: Verschränkung, EPR-Paradoxon, Bellsche Ungleichung, Experimente von Aspect, Zeilinger et al., Schrödingers Katze, Messprozess und Dekohärenz Streuprozesse: Wirkungsquerschnitt, Streuamplitude, Streuphase; Störungstheorie zeitunabhängig, evtl. zeitabhängig (goldene Regel)	
	Moderne Theorien: nur kurz erwähnen und anreißen	3

	Lehrveranstaltung/Inhalte	LV-h
	Exemplarische, kurze Ausblicke etwa zu folgenden Themen: relativistische Elektrodynamik: Magnetfeld als relativistischer Effekt. Transformation und relativistische Invarianz des elektromagnetischen Feldes. Feld relativistischer Teilchen, Strahlung Quanten-Elektrodynamik: Klein-Gordon- u. Dirac-Gleichung, negative Energien, Spin, Antiteilchen, Vakuum-Fluktuationen, Brout-Englert-Higgs-Teilchen. Allgemeine Relativitätstheorie. Einstein-Gleichung, gekrümmte Raum-Zeit, Schwarzschild-Metrik, kosmologische Modelle	

Als Alternative zur klassischen Mechanik kann man sich auch vorstellen, Quantenmechanik als T1 tiefer und breiter anzulegen. Die Inhalte sollten möglichst gut mit denen von Physik P3 und P4 abgestimmt werden – Wiederholung ja, aber nur in begrenztem Umfang. T1 und T2 sind als ein Modul über zwei Semester zu lesen (6 +4 LP). T3 (4 LP, statistische Physik etc.) kann im Wesentlichen wie bei der obigen Alternative bleiben.

Tabelle 13: Alternative 2 zur Theoretischen Physik T1 und T2 im Bachelor Studium

	Lehrveranstaltung/Inhalte	LV-h
T1	Quantenmechanik	35
	Einführung: Quantenmechanik u. moderne Technologien, Welle-Teilchen-Dualismus im Licht moderner Experimente	1
	Motivation der Schrödinger-Gl.: Energie- und Impulsoperator, Wahrscheinlichkeitsamplituden, Unschärfeprinzip	2
	1D Schrödinger-Gl.: Potentialtopf, harmonischer Oszillator, Wellenpakete, Potentialstufe, Tunneleffekt	5
	Formalismus der QM: Operatoren, Dirac-Notation, Eigenwerte, Erwartungswerte, vertauschbare/nicht vertauschbare Operatoren, gleichzeitige Messbarkeit, Messprozess, Korrespondenzprinzip	4
	Drehimpuls-Operatoren: Bahn- und Eigen-Drehimpuls (Spin), Kugelfunktionen, Addition von Drehimpulsen, magnetische Momente	4
	Wasserstoff-Atom: Separation der Variablen, Lösungen der Radialgleichung, Elektronenwolken, Vergleich mit früheren Atommodellen	5
	Atome mit vielen Elektronen: Pauli-Prinzip, Helium, Schalenstruktur, Atom- und Hybridorbitale	4
	Emission und Absorption von Strahlung: Bosonen. Plancksche Strahlungsformel, Besetzungsinversion und Laser, spontane u. stimulierte Emission	5
	Nichtlokalität der QM: Verschränkung, EPR-Paradoxon, Bellsche Ungleichung, Experimente von Aspect, Zeilinger et al., Schrödingers Katze, Messprozesse und Dekohärenz	5
T2	Elektrodynamik und Relativitätstheorie	35
	Grundlagen von Elektrizität und Magnetismus, Maxwell-Gln. und Lorentz-Kraft	3
	statische elektrische und magnetische Felder: Potentiale, Integralsätze von Gauß und Stokes, Poisson-Gleichung, Biot-Savart, Randbedingungen, Ruheenergie des Elektrons?	6
	zeitabhängige elektrische und magnetische Felder: Induktion, Lenzsche Regel, Verschiebungsstrom, Vektorpotential, Eichinvarianz (falls die Zeit reicht: Aharanov-Bohm-Effekt)	5

	Lehrveranstaltung/Inhalte	LV-h
	elektromagnetische Wellen im Vakuum: Wellengl., ebene u. Kugelwellen, Energietransport, Poynting-Vektor, Dipol- Strahlung, Beugung, Interferenz	6
	elektromagnetische Wellen in Materie, Hohlleitern u. Kabeln: homogene Medien, Reflexion u. Brechung an Grenzflächen, Dispersion, Gruppen- und Phasengeschwindigkeit, Absorption	6
	relativistische Mechanik: Inertialsysteme, Lorentz-Transformation, Minkowski-Geometrie, 4-Vektoren, relativistische Masse, Doppler-Effekt	4
	relativistische Elektrodynamik: Magnetfeld als relativistischer Effekt. Transformation und relativistische Invarianz des elektromagnetischen Feldes. Feld relativistischer Teilchen, Strahlung	5

A.2.5 Moderne Physik (MP1 bis MP3) Standardangebot und Alternativen

Die Lehrveranstaltungen „Moderne Physik“ werden von Universität zu Universität und auch von Dozent zu Dozent verschieden sein. Hier kann und sollen die LA-Studierenden auch exemplarisch erleben, dass die Physik eine lebendige Wissenschaft ist, die sich nicht nur weiterentwickelt, sondern in der die Akteure Präferenzen haben und auch verschiedene Meinungen vertreten können. Wir zögern deshalb, zu diesen LV inhaltliche Angaben zu machen. Das Folgende ist als ein möglicher Vorschlag zu verstehen. Angeregt wird, die zeitlich knapp bemessene Vorlesung (V) durch großzügiger veranschlagte Gruppenarbeit (G) zu vertiefen, die als Projektseminar ebenfalls Präsenzveranstaltung an der Hochschule ist und von einem erfahrenen Physiker betreut wird. Sie sollte nach Möglichkeit auch praktische Anteile und eventuell sogar Exkursionen umfassen.

Tabelle 14: Lehrveranstaltungen zur Modernen Physik – Angebot entsprechend lokalen Gegebenheiten

	Lehrveranstaltung/Inhalte	V in LV-h	G in LV-h
MP1	Astronomie – Astrophysik – Kosmologie 6 LP, 2 SWS V + 4 SWS G	28	56
	Aufbau und Struktur des Kosmos; Größenskalen, Entfernungsbestimmungen	2	3
	Koordinatensysteme (sphärische Astronomie): drehbare Sternkarten, Planetariumssoftware	2	6
	Beobachtung: Fernrohre, Teleskope (optisch, IR, Radio, Röntgen, Gamma), Spektroskopie, Interferometrie	2	6
	Mond, Planeten, Raumfahrt; Planetenbewegung, Gezeiten, Grundlagen der Raumfahrttechnik	4	6
	Sonnensystem: Entstehung, Aufbau, Energieerzeugung u. Strahlungstransport, Sonnenaktivität, Bedeutung der Sonne für das Leben auf der Erde	4	10
	Extrasolare Planeten: Entdeckung, Eigenschaften	2	3
	Sterne: Aufbau, Vermessung, Eigenschaften, Entwicklung, Klassifikation, Hertzsprung-Russell-Diagramm, Supernovae	4	6
	Milchstraße u. Galaxien: Aufbau, Beobachtung, Klassifikation, Sternhaufen, interstellare Materie, schwarze Löcher, aktive Kerne, Gravitationslinsen	4	8
	Kosmologie: Standardmodell, Urknall, Expansion, dunkle Materie und dunkle Energie	4	8

Eine gute, vielleicht sogar bessere Alternative könnte sein, die Gruppenarbeit auf wenige Themen zu beschränken, diese dann aber ausführlicher zu behandeln. Zum Beispiel: Sonnensystem 30 LV-h; Entwicklung des Kosmos 26 LV-h; zusammen 56 LV-h.

Tabelle 15: Weitere Lehrveranstaltungen zur Modernen Physik

	Lehrveranstaltung/Inhalte	V in LV-h	G in LV-h
MP2	Kondensierte Materie 5 LP, 2 SWS V + 3 SWS G	28	42
	Bindungen in Festkörpern	2	2
	Kristallstrukturen: Beschreibung, Methoden der Bestimmung von Laue, Bragg	4	4
	Gitterdynamik und thermische Eigenschaften: Phononenspektrum, spezifische Wärme, thermische Ausdehnung, Wärmeleitung	6	6
	Elektronische Eigenschaften von Metallen: freies Elektronengas, schwaches periodisches Potential, effektive Masse; Metalle, Isolatoren, Halbleiter	4	6
	Halbleiter: intrinsische Halbleiter, dotierte Halbleiter, inhomogene Halbleiter, p-n-Übergang, Praktische Übungen mit typischen Halbleiterbauelementen	4	8
	Magnetische Eigenschaften von Festkörpern	4	2
	Supraleitung	4	6
	Weiteres nach Wahl		8
MP3	Kern- und Teilchenphysik 5 LP, 2 SWS V + 3 SWS G	28	42
	Einführung: Atommodell, Proton, Neutron, Eigenschaften der Kerne: Größe, Masse, Aufbau, Isotope, magn. Momente	2	
	Stabilität der Kerne, Bindungsenergien, Tröpfchenmodell	2	2
	Kernzerfälle, Eigenschaften u. Messung von α , β , γ -Strahlung, Neutrinos u. ihr Nachweis		2
	natürliche Zerfallsreihen, Umweltradioaktivität, Maßeinheiten	2	6
	Kernmodelle: Fermigas, Schalenmodell, magische Zahlen	2	2
	Energiegewinnung: Kernspaltung, Spaltreaktoren, Kernfusion	2	6
	Relativistische Kinematik: Energie- u. Impulssatz bei Teilchen	2	4
	Reaktionen; Teilchenbeschleuniger		
	Strukturbestimmung durch Streuexperimente; Kerne, Nukleonen, Quarks; Leptonen u. Hadronen	2	5
	Nachweis von Teilchen, Detektoren, kosmische Strahlung	2	3
	QED, Teilchen u. Antiteilchen, Masse, Ladung, Spin, Symmetrien C, P, T	2	3
	elektroschwache Wechselwirkung, β -Zerfall, Paritätsverletzung, Neutrinos	2	3
	QCD, starke Wechselwirkung, Confinement	2	3
	LHC-Experimente, Higgsfeld und Higgs-Teilchen	2	3

Auch hier könnte man sich bei der Gruppenarbeit alternativ stark auf wenige Teilgebiete konzentrieren und diese dafür viel ausführlicher behandeln. Ein mögliches Beispiel ist: Energiefragen 12 h; QED 8 h; QCD 10 h; LHC-Experimente 12 h (Summe 42 LV-h).

Mögliche weitere Angebote in Moderner Physik

Atome, Moleküle und Optische Physik

Hier ist zu ergänzen, was bei der Alternative **P4** = Struktur der Materie (anstatt Atome, Quantenphysik) an elementaren, aber zentralen Themen weggefallen ist. Dazu käme noch Atome in elektrischen Feldern, atomistische Erklärung von elektrischen und magnetischen Eigenschaften der Materie. Grundlagen der Molekülphysik, Born-Oppenheimer Näherung, Orbitale zweiatomiger Moleküle, kurze Einführung in polyatomare Moleküle (Hinweis auf Symmetriegruppen), Mikrowellen, Infrarot- und Raman-Spektren, Franck-Condon Prinzip für elektronische Übergänge.

Einführung in die Laserphysik und Laserspektroskopie, Optische-Bloch-Gleichungen.

Weitere ausgewählte Kapitel aus der aktuellen Forschung, z.B:

Kurzzeitphysik (Erzeugung kurzer Impulse, Kurzzeitmessung), Laserkühlung (Teilchenfallen, Ultrakalte Gase, Bose-Einstein-Kondensation). Nichtlineare Optik. Atome und Moleküle in starken Laserfeldern, XUV Erzeugung und Attosekundenphysik. Atomare und molekulare Cluster als Übergang zum Festkörper. QED in der Atomphysik (Lamb Shift, g-2 Experimente). Quantenoptik und Photonenstatistik. Verschränkung und Quantencomputer. Stoßphysik. Hochgeladene Ionen.

Weiche Materie, Kolloide

Diese sind Strukturen, deren typische Längenskalen oberhalb der von Atomen und Molekülen liegen, die aber bezogen auf die Längenskalen unseres Alltags immer noch sehr klein sind. Konkret liegen sie zwischen Nanometern (10^{-9} m) und Mikrometern (10^{-6} m). Man nennt sie auch *mesoskopische Materialien*, anzutreffen in der faszinierenden Welt zwischen fest und flüssig.

Stichworte und Beispiele für solche Materialien sind Flüssigkristalle, wie sie etwa in Flüssigkristallbildschirmen (LCDs) verwendet werden; Polymere, Polymerlösungen oder Polymer-schmelzen, wie beispielsweise Honig; Membranen, wie auch in biologischen Zellen; Gele, wie etwa Götterspeise; Elastomere, denen wir als Gummi begegnen; Polyelektrolyte, die z. B. als Absorber-Material in Windeln Verwendung finden; kolloidale Suspensionen, für die Blut, Tinte, magnetische Fluide u. ä. Beispiele sind; Tenside, verwendet beispielsweise in Wasch- und Spülmitteln oder Shampoos, auch Seife, in der Lebensmittelchemie als Emulgatoren; Lipide; zahlreiche funktionale Materialien.

Man studiert an diesen Materialien nichtlineare Materialeigenschaften, auch Phasenübergänge einschließlich kritischer Phänomene. Viele Konzepte der Thermodynamik werden vertieft, es gibt zahlreiche Berührungspunkte zur Biophysik. Und nicht zuletzt: Das Gebiet der mesoskopischen, der weichen Materie ist besonders anwendungsnahe, was die Bedeutung der Physik auch von dieser Seite erhellt und für die Schule besonders interessant macht.

Biophysik

Die Biophysik ist heute eine ausgewiesene, aufregende, weit entwickelte Teildisziplin der Physik. Sie ist anwendungsnahe wie fachübergreifend. In der Schule ist sie eine reizvolle Bereicherung. In ihr sind universelle physikalische Prinzipien ebenso wichtig wie typische (fachspezifi-

sche) Methoden, sowohl experimentell als auch hinsichtlich der Begriffsentwicklung, der Hypothesenbildung und deren gezielter Verifikation oder Falsifikation. Physik macht die Biologie zu einer quantitativen Wissenschaft. Biophysik ist eine Brücke zu den Lebenswissenschaften; sie ermöglicht die quantitative Untersuchung lebender Systeme mit Methoden der Physik. Sie ist interdisziplinär ausgerichtet, besonders hin zur Chemie und zur Biologie wie zur Medizin. Auch Ingenieursdenken ist manchmal hilfreich. Modellbildung und numerische Simulationen spielen eine zentrale Rolle.

Physik und Leben: Welch spannende Frage! Die Biophysik ist inzwischen so breit und vielfältig geworden, dass der Gesichtspunkt des exemplarischen Lernens auch bei ihr eine wichtige Rolle spielt. Die folgend genannten Fragestellungen, Themen oder Gebiete sind also Anregung und Aufforderung zur Auswahl wie zur Ergänzung.

Musterbildung (auch bei Pflanzen und Tieren), Turing-Muster; Selbstorganisation; Reaktionskinetik und -Dynamik; Nichtlineare Dynamik komplexer Systeme; Thermodynamik, Statistische Physik; die Rolle und Bedeutung der Fluktuationen; biologische Systeme als Musterbeispiele für Physik fernab vom Gleichgewicht bzw. im Nichtgleichgewicht; Irreversibilität; Geometrie und Formänderungen; Physik der Zelle; physikalische Eigenschaften der Proteine; biologische Membranen, ihre Phasen(-umwandlungen) und ihre Dynamik; Biophysik der Nervenleitung und Elektrodynamik der Nervenregungen; Bio-Rhythmik und Synchronisation; biologische bzw. Brownsche Motoren bzw. gerichteter Transport; Leben bei kleinen Reynoldszahlen (biologische Hydrodynamik); Physik der Gele; Physik der photobiologischen Prozesse; medizinische Physik; und vieles andere mehr. – Einzugehen ist auch auf typische Methoden wie zum Beispiel auf die Mikroskopie in ihren vielfältigen Formen, Sedimentation usw.

A.2.6 Anwendungen in Physik und Technik (A1, A2)

In der Lehrveranstaltung „Anwendungen in Physik und Technik“ werden aktuelle, auch gesellschaftlich relevante Themen der Physik und Technik mit Physikbezug behandelt. Das ist sinnvoll, weil der schulische Physikunterricht nicht zuletzt auch auf physikbasierte technische Verfahren und Entwicklungen einzugehen hat. Die Studierenden sollen dabei (möglichst selbst gewählte) Leitthemen in Gruppenarbeit untersuchen, zwar mit Anleitung, aber vorwiegend in eigener Initiative. Mehrere Gruppen beschäftigen sich mit je einem Thema und präsentieren in gemeinsamen Sitzungen die Ergebnisse. Um dabei auf physikalische Grundkenntnisse zurückgreifen zu können, sollte dieser Teil nicht vor dem 7. Semester beginnen.

Für die LV „Anwendungen in Physik und Technik“ sind insgesamt 10 LP zu erwerben. Sie stellt also einen sehr wesentlichen Teil des LA-Physikstudiums dar. Es ist zweckmäßig, diese LV auf zwei Semester à 5 LP aufzuteilen. Jede dieser beiden Teil-LV besteht aus einem Vorlesungsteil von 3 SWS, entsprechend 42 Std, sowie einer leitthemenorientierten Gruppenarbeit, die ebenfalls 3 SWS umfasst. Dazu kommen je 1,5 Std EWS-i. Die Gruppenarbeitszeit soll auch den Fortschrittsberichten dienen. Hausaufgaben werden nur insofern gestellt, als sie der Vorbereitung der Gruppenarbeit dienen.

Inhaltlich bedarf diese LV der vorherigen Abklärung, welche Anwendungen eventuell bereits in früheren LV behandelt worden sind.

Es werden im Folgenden zwar Inhalte und Themen genannt, doch wird auf Zuordnung des zeitlichen Bedarfs (LV-h) verzichtet, da man die genannten und weitere Themen jeweils verschieden

ausführlich bearbeiten kann. Es empfiehlt sich aber, dass die jeweils Lehrenden vor Beginn der LV selbst eine solche näherungsweise Einteilung vornehmen.

	Lehrveranstaltung/Inhalte	V in LV-h	G in LV-h
A1	Anwendungen 1 5 LP, 3 SWS V + 3 SWS G	42	42
	Physik rund um das Auto: Moderne Bauelemente, Sensoren, Katalysatoren, Motoren, Widerstandsbeiwerte Physik im Haushalt: Mikrowelle, Kühlschrank Funk und Fernsehen: Wellenbereiche, Bild- und Tonqualität, Fernbedienung, Displayeigenschaften Handy und Mobilfunknetze, Glasfasernetze zur Datenübertragung Energieversorgung: Kraftwerkstypen und ihre Wirkungsgrade; Kraft-Wärme-Kopplung; Nukleare Entsorgung; Umgang mit Radioaktivität		
A2	Anwendungen 2 5 LP, 3 SWS V + 3 SWS G	42	42
	Aktuelles Wetter: Hoch und Tiefdruckgebiete, deren Druckverteilungen, Luftbewegung auf sich drehender Erde, Luftfeuchtigkeit und ihr Einfluss, Vorhersagen, grundsätzliche und praktische Beschränkungen, kleine und große Tornados, Bewegungen, Energiegehalt Physik von Gewittern Klima: typische Verläufe, Modellierung, Kopplung Atmosphäre und Ozeane, Rolle des Polar-Eises, Sonneneinstrahlung, Luftverschmutzung und deren Wirkung, Entropie-Bilanzen Erneuerbare Energien: Physik des Windrades; Physik von Wasserkraftwerken; Solarenergienutzung, Energiespeicherung, Netze zur Energieübertragung Medizintechnik: Röntgenapparaturen, CT, Ultraschallgeräte, EEG und EKG, MRT, PET, Hörkorrekturen Elektro-Loks: Antriebe, Steuerung		

Anhang B

Beschreibung der Studienelemente der Fachdidaktik Physik

In Kapitel 6.1 wurden Lehrmodule für das Lehramtsstudium (Gymnasium/ Sek. II) kurz vorgestellt. Nachfolgend werden hier die dort erwähnten Studienelemente detaillierter beschrieben.

B.1 Schülervorstellungen und Lernprozesse im Physikunterricht

Kreditpunkte	2 LP
Eingangsvoraussetzungen	Fachwissen in den schulrelevanten Teilgebieten der Physik
Inhalt	• Schülervorstellungen und typische Verständnishürden in ausgewählten Themengebieten des Physikunterrichts, insbesondere – Mechanik – geometrische Optik – Elektrizitätslehre, – Quantenphysik • Testverfahren und Instrumente für die Diagnose von Schülervorstellungen • Ursachen von Schülervorstellungen • Bedeutung von Schülervorstellungen für Lernprozesse • Conceptual Change • Berücksichtigung von Schülervorstellungen bei der – Entwicklung von Curricula – Planung von Physikunterricht – Kommunikation mit Schülern im Unterricht Mögliche Erweiterungen • Schülervorstellungen über wissenschafts- und erkenntnistheoretische Aspekte der Physik • zentrale Befunde und Erhebungsmethoden • (falls das Studienelement „Natur der Naturwissenschaften – Wissenschafts- und Erkenntnistheorie zur Physik“ nicht im Curriculum ausgewiesen ist)
Lernziele / Qualifikationsziele	Die Studierenden sollen • Schülervorstellungen beschreiben können • Schülervorstellungen diagnostizieren können, z.B. auf Basis von Unterrichtstranskripten oder Ergebnissen diagnostischer Tests • die Hintergründe des Entstehens von Schülervorstellungen erläutern können • das eigene konzeptuelle Verständnis physikalischer Grundbegriffe vor dem Hintergrund von Schülervorstellungen reflektieren können • unterschiedliche Konzeptionen für die Berücksichtigung von Schülervorstellungen bei der Unterrichtsgestaltung an Beispielen erläutern können
Modulzuordnung (Schwerpunkt)	Modul 1
Vernetzung	intern: • SE Planung und Analyse von Physikunterricht (Modul 2b)

	extern: • Module der Experimentalphysik (insbes. P1 Mechanik) bezüglich des fachlichen Verständnisses physikalischer Begriffe • Module der Bildungswissenschaften bezüglich lerntheoretischer Grundlagen
Literatur zum SE	• Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.) (2008): Schülervorstellungen in der Physik. Köln: Aulis. • Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.) (2011). Physikdidaktik kompakt. Köln: Aulis (Kap. 4 bis 7).

B.2 Motivation und Interesse an Physik

Kreditpunkte	1 LP
Eingangsvoraussetzungen	Vorwissen zur Lernpsychologie wäre hilfreich, eine Abstimmung mit den Bildungswissenschaften ist wünschenswert
Inhalte	• Theoretische Grundlagen zu Interesse und Motivation (z.B. Interessentheorie von Krapp, Selbstbestimmungstheorie) • Ergebnisse fachdidaktischer Interessenforschung (Unterschied Sachinteresse und Fachinteresse, Interessenabfall, Interessentypen, Interessenunterschiede zwischen Jungen und Mädchen) • Ansätze zur Förderung von Interesse und Motivation im Physikunterricht (interessefördernde Kontexte, Folgerungen aus der Selbstbestimmungstheorie) • Differenzierung im Physikunterricht Mögliche Erweiterung: • Physikunterricht aus der Genderperspektive • Möglichkeiten der Erhebung von Interesse und Motivation
Lernziele / Qualifikationsziele	Die Studierenden sollen • die Begriffe „Interesse“ und „Motivation“ lerntheoretisch grob einordnen können • fachdidaktische Beiträge zur Interessenforschung benennen können • Ansatzpunkten zur interessenorientierten Unterrichtsgestaltung benennen und auf physikalische Themengebiete übertragen können • Unterrichtsmethodische Möglichkeiten zur Differenzierung skizzieren können Mögliche Erweiterung: • Physikunterricht aus der Genderperspektive beurteilen können • die Genderperspektive bei der Planung von Unterrichtssituationen berücksichtigen können • Möglichkeiten zur Diagnose von Interessen und Motivation benennen können
Modulzuordnung (Schwerpunkt)	Modul 1
Vernetzung	intern: • SE Konzeptionen für den Physikunterricht (Modul 1) • SE Planung und Analyse von Physikunterricht (Modul 2b) extern: • Module der Bildungswissenschaften in den Grundlagen (Lerntheorie, Differenzierung, Gender) • Module der Fachdidaktik anderer MINT-Fächer in den Erweiterungen (Gender, Differenzierung)
Literatur	• Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.). (2011). <i>Physikdidaktik kompakt</i>. Köln: Aulis, S. 99-105. • Rabe, T. (2006). Motivation, Interesse und Selbstkonzept im Physikunterricht. In: H. Mikelskis (Hrsg.): <i>Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II</i>. Berlin: Cornelsen Skriptor, S. 253-269.

	• Wodzinski, R. (2006). Mädchen im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.): <i>Physikdidaktik: Theorie und Praxis</i>. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 559-580. • Wodzinski, R., Wodzinski, T. & Hepp, R. (Hrsg.). (2007). Themenheft „Differenzierung“ (Heft 99/100). <i>Naturwissenschaften im Unterricht Physik</i>, 18. Seelze: Friedrich. • Muckenfuß, H. (1995). <i>Lernen im sinnstiftenden Kontext</i>. Berlin: Cornelsen, S. 42-86. • Häußler, P. & Hofmann, L. (1995). Physikunterricht – an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert. <i>Unterrichtswissenschaft</i> 23(2), S. 107-126. • Herzog, W. (1996). Motivation und naturwissenschaftliche Bildung. <i>Neue Sammlung</i> 36, S. 61-91. • Merzyn, G. (2008). <i>Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter?</i> Hohengehren: Schneider-Verlag.
--	--

B.3 Bildungsstandards und physikbezogene Kompetenzen

Kreditpunkte	2 LP
Eingangsvoraussetzungen	Keine
Inhalte	Theoretische Fundierung: • Begriffsklärung: Kompetenz in Abgrenzung zu Wissen, Naturwissenschaftliche Grundbildung, Lernziel • Nationale Bildungsstandards Physik (NBS): • Historie: TIMSS, PISA, Kompetenzmodelle, NBS in den USA und Kanada, EPA (Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik) • Intention und Konsequenzen: Wechsel zur Outputsteuerung, Maßnahmen zur Qualitätssicherung im Bildungswesen (interne/externe Evaluation, standardisierte Tests) • Bundeslandspezifische Umsetzung der NBS in (Kern-)Lehrplänen • Kompetenzentwicklung und -diagnostik am praktischen Beispiel: • Diagnose von Kompetenzanforderungen und Kompetenzen an unterrichtspraktischen Beispielen (Aufgaben, Videosequenzen von Unterricht bzw. Unterrichtssimulation) – in Abstimmung mit dem Modul 2b (SE Aufgabenkultur) • Konzeption von Lernumgebungen zur gezielten Kompetenzentwicklung durch z.B. Aufgabenstellungen, Experimentieranleitungen, Lernmaterialien und –methoden • Arbeit mit Kompetenzrastern, Anforderungsbereichen und entsprechenden Aufgaben für die vier Kompetenzbereiche Mögliche Erweiterungen • Aktuelle fachdidaktische Forschungsergebnisse zur Förderung und Diagnostik von Kompetenzen - in Abstimmung mit Modul 3 (SE „Forschungsbasierte physikdidaktische Vertiefung“)
Lernziele / Qualifikationsziele	Die Studierenden sollen • Kompetenzbegriff, Historie, nationale Bildungsstandards sowie deren bundeslandspezifische Umsetzung kennen • Maßnahmen der Qualitätssicherung im Bildungswesen kennen • Kompetenzanforderungen und Kompetenzen diagnostizieren können • kompetenzorientierte Lehr-Lernangebote theoriebasiert planen, gestalten und reflektieren können
Modulzuordnung (Schwerpunkt)	Modul 1
Vernetzung	intern: • SE Aufgabenkultur – Lern- und Leistungsaufgaben im Physikunterricht (Modul 2b) • SE Planung und Analyse von Physikunterricht (Modul 2b) • SE Forschungsbasierte physikdidaktische Vertiefung“ (Modul 3)
Literatur	• Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2004). <i>Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss</i>. München: Luchterhand. • Bundeslandspezifischer (Kern-)Lehrplan für Physik, Gymnasium, Sek I.

	• Duit, R. & Schecker, H. (Hrsg.). (2007). Themenheft „Standards“ (Heft 97). <i>Naturwissenschaften im Unterricht Physik</i>, 18. Seelze: Friedrich. • Wiesner, H. & Schwarze, H. (Hrsg.). (2007). Themenheft „Standards“. <i>Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule</i>, 56(6). • Leisen, J. (Hrsg.). (2011). Themenheft „Kompetenzorientiert unterrichten“ (Heft 123/124). <i>Naturwissenschaften im Unterricht Physik</i>, 22. Seelze: Friedrich.. • Sach, M. & Wodzinski, R. (Hrsg.). (2010). Themenheft „Kompetenzbereich Kommunikation“ (Heft 116). <i>Naturwissenschaften im Unterricht Physik</i>, 21. Seelze: Friedrich. • Höttecke, D. & Wodzinski, R. (Hrsg.). (2013). Themenheft „Kompetenzbereich Bewerten“ (Heft 134). <i>Naturwissenschaften im Unterricht Physik</i>, 23. Seelze: Friedrich. • Klieme et al. (2003): <i>Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards – Eine Expertise</i>. Bonn: BMBF. http://www.bmbf.de/pub/zur_entwicklung_nationaler_bildungsstandards.pdf [Stand 27.09.2013]. • Hopf, M. (Hrsg.). (2013). <i>Bildungsstandards – 9 Jahre später. Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule</i>, 62(5). Köln: Aulis.
--	---

B.4 Konzeptionen für den Physikunterricht

Kreditpunkte	1 LP
Eingangsvoraussetzungen	Fachwissen in schulrelevanten Teilgebieten der Physik
Inhalte	- Zieldimensionen des Physikunterrichts - Merkmale guten Physikunterrichts - Physikbezogene Unterrichtskonzeptionen: Exemplarischer, genetischer, entdeckender, darbietender Unterricht und ihr praktischer Einsatz im Physikunterricht, forschendes Lernen - Ziele und Merkmale des kontextorientierten und fächerverbindenden Physikunterrichts
Lernziele / Qualifikationsziele	Die Studierenden sollen - Zieldimensionen des Physikunterrichts kennen und eigene Vorstellungen reflektieren können - Merkmale guten Physikunterrichts kennen und eigenen Vorstellungen dazu gegenüber stellen können - wesentliche Merkmale der o.g. Konzepte des Physikunterrichts (inkl. Entstehung und Entwicklung) kennen und Zieldimensionen zuordnen können
Modulzuordnung (Schwerpunkt)	Modul 1
Vernetzung	intern: - SE Planung und Analyse von Physikunterricht (Modul 2b) extern: - Module der Bildungswissenschaften und anderer Fachdidaktiken bezüglich bildungstheoretischer Grundlagen
Literatur	- Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.). (2011). <i>Physikdidaktik kompakt</i>. Köln: Aulis, S. 78-87. - Kircher, E. (2006). Unterrichtskonzepte des Physikunterrichts. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.): <i>Physikdidaktik: Theorie und Praxis</i>. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 155-163. - Kircher, E. (2006). Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.): <i>Physikdidaktik: Theorie und Praxis</i>. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 101-134. - Bell, T. (2010) Forschendes Lernen. PIKO-Brief Nr. 11 http://www.ipn.uni-kiel.de/projekte/piko/pikobriefe032010.pdf [Stand 27.09.2013]. - Labudde, P., Heitzmann, A., Heiniger, P. & Widmer, I. (2005). Dimensionen und Facetten des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts: ein Modell. <i>Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften</i>, 11, S. 103-105 (ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/2005/7.Labudde_etal._103-115.pdf [Stand 26.09.2013]). - Müller, R. (2005). Kontextorientierung. In: H. Mikelskis (Hrsg.): <i>Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II</i>. Berlin: Cornelsen Skriptor, S. 102-119. - Muckenfuß, H. (1995): <i>Lernen im sinnstiftenden Kontext</i>. Berlin: Cornelsen.

	• Müller, R. (2006): <i>Physik in interessanten Kontexten</i>. Kiel: IPN. (https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/ifdn-physik/physik-in-interessanten-kontexten-rmueller.pdf [Stand 27.09.2013]) • Duit, R. & Wodzinski, C. T. (Hrsg.). (2010). Merkmale „guten“ Physikunterrichts. PIKO-Brief Nr. 11 http://www.ipn.uni-kiel.de/projekte/piko/pikobriefe032010.pdf. [Stand 27.09.2013].
--	--

B.5 Unterrichtsbezogenes Experimentieren

Kreditpunkte	3 LP
Eingangsvoraussetzungen	• Grundvorlesung • Physikalisches Anfängerpraktikum
Inhalte	• Kenntnis typischer Schulexperimentiergeräte und weiterer geeigneter Materialien (Gerätekunde) • Sicherheitsrichtlinien • Realisierung von Experimenten (Konzeption und Aufbau) • Varianten des Einsatzes von Experimenten im Unterricht • Didaktische Funktion des Experiments Mögliche Erweiterungen: • Funktion des Experiments für den Erkenntnisprozess • Gestaltung des Unterrichtsablaufs mit Experimenten
Lernziele / Qualifikationsziele	Die Studierenden sollen • Experimente unter didaktischen Gesichtspunkten planen, durchführen, auswerten und präsentieren können. • sachverständig mit Experimentiermaterial um unter Berücksichtigung der Sicherheitsrichtlinien umgehen können • unterschiedlichen Realisierungsmöglichkeiten (Schülerexperiment, Demonstrationsexperiment, Einbezug neuer Medien, Freihandexperimente, Experimente mit Alltagsgegenständen, historische Experimente, Experimente mit technischen Geräten) kennen Mögliche Erweiterungen: • die Bedeutung des Experiments im Erkenntnisprozess kennen • den Einsatz von Experimenten in unterschiedlichen Phasen des Unterrichts unterscheiden und gestalten können
Modulzuordnung (Schwerpunkt)	Modul 2a
Vernetzung	intern: • SE Natur der Naturwissenschaften – Wissenschafts- und Erkenntnistheorie zur Physik (Modul 3) • SE Planung und Analyse von Physikunterricht (Modul 2b)
Literatur	• Wilke, H.-J. et al. (Hrsg.). (1999). <i>Physikalische Schulexperimente</i>, 3 Bände. Berlin: Volk und Wissen. • Born, G., Harreis, H. & Schwarze, H. (Hrsg.) (Buchreihe). <i>Unterricht Physik: Experimente – Medien – Modelle</i>. Köln: Aulis. • Kircher, E., Girwidz, R., Häußler, P. (Hrsg.). (2006). <i>Physikdidaktik: Theorie und Praxis</i>. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 230-248. • KMK (Hrsg.) (2013). <i>Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht – RiSU (GUV-SI 8070)</i>. • Willer, J. & Volkmer, M (Hrsg.) (2004). Themenheft „Sicherheit“ (Heft 80/81). <i>Naturwissenschaften im Unterricht Physik</i>, 15. Seelze: Friedrich.

B.6 Medien im Physikunterricht

Kreditpunkte	1,5 LP
Eingangsvoraussetzungen	Grundkenntnisse der Computernutzung (Programme starten und installieren, Internetbrowser bedienen und Suchmaschinen nutzen können)
Inhalte	• Formen der Wissensrepräsentation und mediendidaktische Kriterien für die effektive Nutzung von Bild-, Text-, Video- und Tondokumenten im Physikunterricht • Grundkonzept von Medien als Mittler für ein Informationsangebot (auch zielgerechte Nutzung klassischer Medien) • Besondere Merkmale von Multimedia aus lerntheoretischer Sicht (Multicodierung, Multimodalität, Interaktivität) • Nutzung von Medien im PU für Illustrationen, Animationen, Simulationen und Modellbildung • Multimediaprogramme zur Schulphysik (exemplarisch) • Computerunterstützte Messwerterfassung, Auswertung und Aufbereitung von Daten, Erweiterung auch auf den Einsatz von Smartphones und Tablets • Probleme und Grenzen beim Einsatz von Multimedia (cognitive load, lost in hyperspace) Mögliche Erweiterungen • Web 2.0 – Programme, Techniken und Möglichkeiten • E-Learning (Möglichkeiten des computergestützten Lernens über das Internet) • Möglichkeiten der Zusammenstellung von Lernmaterialien auf neuen Medien (z. B. auf einer Lernplattform wie Moodle, in einem E-Portfolio oder über One-Note mit interaktivem Whiteboard)
Lernziele / Qualifikationsziele	Die Studierenden sollen • Bild-, Text-, Film- und Tonmedien, Simulationen und Modellbildungssoftware Inhaltsspezifisch angemessen nutzen können • Möglichkeiten, aber auch Anforderungen an die Lernenden bei der Mediennutzung kennen • Einsatzszenarien für E-Learning und Multimedia kennen und anbieten können • Computergesteuerte Messwerterfassung und Auswertesysteme kennen, bedienen und im Physikunterricht sinnvoll einsetzen können
Modulzuordnung (Schwerpunkt)	Modul 2a
Vernetzung	intern: • SE Physik erklären – Sprache und Repräsentationsformen im Physikunterricht (Modul 2a) • SE Unterrichtsbezogenes Experimentieren (Modul 2a) • SE Planung und Analyse von Physikunterricht (Modul 2b) extern: • Module der Bildungswissenschaften oder anderer Fachdidaktiken
Literatur	• Kircher, R. Girwidz, P. Häußler (Hrsg.) (2014). <i>Physikdidaktik</i>. Berlin: Springer – speziell die Kapitel 5, 11, 28..

	• Mayer, R. E. (2009). Multimedia Learning. New York, NY: Cambridge University Press. Chapter 14 Principles of Multimedia Design (pp. 265-280) • Girwidz, R. (2004). Lerntheoretische Konzepte für Multimediaanwendungen zur Physik. PhyDid 1/3 (2004) S.9-19. http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/view/21/21 (30.0.2013) • PhET Interactive Simulations – For Teachers (2008). http://phet.colorado.edu/en/for-teachers/activity-guide. (30.9.2013). • Animationen & Simulationen (2013). Themenheft - Unterricht Physik 137. Seelze: Friedrich.
--	--

B.7 Physik erklären – Sprache und Repräsentationsformen im Physikunterricht

Kreditpunkte	1,5 CP
Eingangsvoraussetzungen	Fachwissen in den schulrelevanten Teilgebieten der Physik
Inhalt	- Eigenschaften von Fach- und Alltagssprache in der Physik - Repräsentationsformen (z.B. reale Bilder, Bildanalogien, logische Bilder) physikalischer Inhalte - Physikalische Beispiele und Analogien - Elemente und Struktur adressatengemäßer und sachgerechter Erklärungen - Methodische Einbindung von Erklärungssequenzen in den Physikunterricht - Konzepte von Textverständlichkeit (Produktion und Analyse physikalischer Sachtexte) - Praxisphasen mit Erklärungen physikalischer Phänomene sowie gegenseitiger Reflexion
Lernziele / Qualifikationsziele	Die Studierenden sollen - Fach- und Alltagssprache, physikalische Repräsentationsformen sowie Analogien und Beispiele kontextabhängig einsetzen und variieren können - Elemente und Strukturen adressatengemäßer und sachgerechter Erklärungen kennen - physikalische Sachtexte unter dem besonderen Aspekt von Textverständlichkeit überarbeiten können - adressatengemäße und sachgerechter Erklärungen physikalischer Sachverhalte in unterrichtsnahen Situationen gestalten und umsetzen können (z.B. direkte Instruktion und Lehrer-Schüler-Gespräch)
Modulzuordnung (Schwerpunkt)	Modul 2a
Vernetzung	intern: - SE Schülervorstellungen und Lernprozesse im Physikunterricht (Modul 1) - SE Motivation und Interesse an Physik (Modul 1) - SE Medien im Physikunterricht (Modul 2a) extern: - Module der Physik
Literatur	- Wagner, A. & Wörn, C. (2011): Erklären lernen – Mathematik verstehen. Seelze: Klett. (Grundlegendes Einführungskapitel 1, S. 10-30). - Duit, R., Hepp, R. & Rincke, K. (Hrsg.) (2013). Themenheft "Guter Frontalunterricht". Naturwissenschaften im Unterricht Physik 24 (135/136). - Leisen, J. (Hrsg.) (2005). Themenheft "Sprache". Naturwissenschaften im Unterricht Physik 16 (87). - Kulgemeyer, C. (2001). Physik erklären als Rollenspiel. Adressatengemäßes Erklären fördern und diagnostizieren. Naturwissenschaften im Unterricht Physik 22(123/124). S. 70-74. - Kulgemeyer, C. & Staraschek, E. (2014). Analyse der Verständlichkeit naturwissenschaftlicher Texte. In: Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H.: Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Heidelberg: Springer.

B.8 Aufgabenkultur: Lern- und Leistungsaufgaben im Physikunterricht

Kreditpunkte	2 ECTS
Eingangsvoraussetzungen	Kerninhalte des Moduls 1
Inhalte	Grundlagen - Übersicht über lernpsychologische und fachdidaktische Grundlagen (z.B. Cognitive Load, Problemlösen) sowie über empirische Forschungsergebnisse zur Wirkung von Aufgaben (z.B. Testverfahren, Erfassung des konzeptuellen Verständnis) Aufgabenentwicklung und -beurteilung - Diagnose und Förderung von Leistung und Kompetenz (Test- und Lernaufgaben) - Anpassung an die Zielgruppe (z.B. Binnendifferenzierung) - Einordnung in Lernprozesse Aufgabenkonstruktion und Antwortformate - Kontextorientierte Aufgaben(Aufgabenschwierigkeit, Motivation) - Aufgabeneinsatz - Fehler als Diagnose- und Entwicklungsmöglichkeit - Lernaufgaben/Beispielaufgaben/Testaufgaben Mögliche Erweiterungen: - Fachdidaktische Forschungsergebnisse zum Thema Aufgabenkultur
Lernziele / Qualifikationsziele	Die Studierenden sollen - die Bedeutung von Aufgaben für Lernprozesse im Physikunterricht unter Verwendung lernpsychologischer und physikdidaktischer Erkenntnisse begründen können - Aufgaben kriterienorientiert beurteilen können - Aufgaben kompetenz- und zielgruppenorientiert entwickeln können - Aufgaben passend in den Unterricht einbinden können.
Modulzuordnung (Schwerpunkt)	Modul 2b
Vernetzung	intern: - SE Bildungsstandards und physikbezogene Kompetenzen (Modul 1) - SE Konzeptionen für den Physikunterricht (Modul 1) - SE Motivation und Interesse an Physik (Modul 1) - SE Forschungsbasierte physikdidaktische Vertiefung (Modul 3) extern - Module der Bildungswissenschaften zur Lernpsychologie
Literatur	- BLK (Hrsg.). (1998). Gutachten zur Vorbereitung des Programms ‚Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts‘ (Heft 60). – Bonn: Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK). Verfügbar unter: http://www.blk-bonn.de/papers/heft60.pdf [Stand: 06/2013] - Duit, R. (Hrsg.) (2002). Themenheft „Aufgaben“. (Heft Nr.67). <i>Naturwissenschaft im Unterricht Physik</i> 13, Seelze: Friedrich - Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 1 (13). - Fischer, H. E. & Draxler, D. (2007). Konstruktion und Bewertung von

	Physikaufgaben. In E. Kircher & W. B. Schneider (Hrsg.), Physikdidaktik, Springer, 698-655. • Kuhn, J., Müller, A. & Müller, W. (Hrsg.) (2011). Themenheft „Authentische Aufgaben“ (Heft Nr. 121). <i>Naturwissenschaft im Unterricht Physik</i> 22, Seelze: Friedrich • Leisen, J. (2006). Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. <i>Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht</i>, (59) 5, 260-266. Neuss: Klaus Seeberger • Pientka, H. (Hrsg.) (2002). Themenheft „Aufgaben“. <i>Praxis der Naturwissenschaften Physik</i>, (49) 4. Köln:Aulis
--	---

B.9 Planung und Analyse von Physikunterricht

Kreditpunkte	4 LP
Eingangsvoraussetzungen	Kerninhalte der Module 1 und 2a, insbesondere • SE Konzeptionen für den Physikunterricht, • SE Unterrichtsbezogenes Experimentieren, sowie Erfahrungen aus allgemeinen Schulpraktika fachwissenschaftliche Grundlagen
Inhalte	• Verfahren zur Diagnose von Lernausgangslagen • Didaktische und methodische Analysen im Rahmen von Unterrichtsplanungen (u.a. Sachstrukturanalyse, Lernvoraussetzungen) • Planungsmodelle (z.B. Berliner Modell, didaktische Rekonstruktion) • Oberflächen- und Tiefenstrukturen von Physikunterricht (z.B. Artikulationsschemata, Unterrichtsskripte, Basismodelle von Oser) • Methoden und Methodenwerkzeuge im Physikunterricht. • Ziele und Funktionen von Unterrichtsmethoden. • Passung von Ziel, Inhalt und Methoden • Planung von Unterrichtssequenzen mit begründeter Methodenauswahl. • Reflexion über Unterrichtsmethoden anhand von Mitschnitten aus dem PU. • Standardsituationen und Handlungsoptionen im Physikunterricht. Mögliche Erweiterungen • Außerschulische Lernorte • Bilingualer Physikunterricht • Fächerübergreifender Unterricht und Projektunterricht • Erprobung der geplanten Sequenzen im Unterricht., Videoanalyse der Unterrichtssequenzen.
Lernziele / Qualifikationsziele	Die Studierenden sollen • Verfahren zur Diagnose von Lernausgangssituationen kennen • zwischen didaktischen und methodischen Analyseverfahren unterscheiden können. • Kenntnis eines umfangreichen Methodenspektrums. • Unterrichtsmethoden begründet und zielbezogen auswählen können • exemplarische Unterrichtssequenzen planen können. • über Erfahrungen mit ausgewählten Unterrichtsmethoden reflektieren mit dem Ziel, Weiterentwicklungspotenziale ausfindig zu machen. • Standardsituationen als paradigmatische Situationen im Unterricht erkennen und verschiedener Optionen für das Handeln in diesen Situationen benennen können
Modulzuordnung (Schwerpunkt)	Modul 2b
Vernetzung (intern/extern)	intern: • alle SE extern: • Module der Bildungswissenschaften zu den Bereichen „Unterrichten“ und

	„Beurteilen“
Literatur	• Kircher, E., Girwidz, R., Häußler, P. (Hrsg.) (2010). Physikdidaktik – Theorie und Praxis. Berlin: Springer, Kapitel 2-4 und 7. • Studienseminar Koblenz: Lerngegenstand und Lehr-Lern-Prozess (Didaktische Analyse und Methodische Planung) http://www.studienseminar-koblenz.de [Stand 27.09.2013]. • Wodzinski, C. T. (2010). Lerndiagnose und Leistungsbeurteilung. PIKO-Brief Nr. 12 http://www.ipn.uni-kiel.de/projekte/piko/pikobriefe032010.pdf [Stand 27.09.2013]. • Duit, R. (2010). Didaktische Rekonstruktion. PIKO-Brief Nr. 3 http://www.ipn.uni-kiel.de/projekte/piko/pikobriefe032010.pdf [Stand 27.09.2013]. • Leisen, J. (Hrsg.). (2003). Themenheft „Methoden-Werkzeuge“ (Heft 75/76). Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 14. Seelze: Friedrich. • Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.). (2011). Physikdidaktik kompakt. Köln: Aulis, Kapitel 11. • Mikelskis-Seifert, S. & Rabe, T. (Hrsg.). (2007). Physik-Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II. Berlin: Cornelsen Scriptor. • Studienseminar Koblenz: Standardsituationen und Handwerkskasten für Lehrer, http://www.studienseminar-koblenz.de/bildungswissenschaften/standardsituationen.htm [Stand: 13.05.2013]. • Fischler, H. (2006). Videoaufnahmen von fremdem und eigenem Unterricht. In: H. Fischler (Hrsg.): Themenheft „Unterricht überdenken, Unterricht entwickeln“ (Heft 92). Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 17. Seelze: Friedrich, S. 19-21. • Welzel M. & Stadler H. (2005): Nimm doch mal die Kamera!: Zur Nutzung von Videos in der Lehrerbildung - Beispiele und Empfehlungen aus den Naturwissenschaften. Münster: Waxmann.

B.10 Natur der Naturwissenschaften – Wissenschafts- und Erkenntnistheorie zur Physik

Kreditpunkte	2 LP
Eingangsvoraussetzungen	- Fachwissen in den schulrelevanten Teilgebieten der Physik - Grundlagen aus den Modulen 1, 2a und 2b
Inhalte	- Kerninhalte: - Aspektcharakter der Physik - Trias von Subjekt, Methode und Objekt - Grundzüge ausgewählter erkenntnistheoretischer Positionen (insbes. Konstruktivismus, Realismus, Empirismus, Rationalismus, Pragmatismus) - Brücken zwischen lebensweltlichen und naturwissenschaftlichen Zugängen - ausgewählte Beispiele aus der Histogenese physikalischer Begriffe und Konzepte - Schülervorstellungen über Nature of Science: zentrale Befunde und Erhebungsmethoden - Ziele von Physikunterricht (im Bereich NOS) - Unterrichtsmethoden zur Förderung von Wissenschaftsverständnis
Lernziele / Qualifikationsziele	Die Studierenden sollen - Erkenntnisgewinnung in der Physik multiperspektivisch diskutieren können - Stärken und Grenzen physikalischer Methoden und Erkenntnisse an Beispielen veranschaulichen - Verwendung der Begriffe „Theorie“, „Modell“, „Hypothese“, „Gesetz“ an Beispielen diskutieren und abgrenzen - Rolle von Theorie und Experiment im physikalischen Erkenntnisprozess an ausgewählten Beispielen veranschaulichen - eine historisch-genetische Unterrichtseinheit skizzieren - an Beispielen konkretisieren, auf welche Weise der Physikunterricht zur Entwicklung von Wissenschaftsverständnis beitragen kann - die eigene erkenntnistheoretische Position formulieren und reflektieren können
Modulzuordnung (Schwerpunkt)	Modul 3
Vernetzung (intern/extern)	intern: - SE Schülervorstellungen und Lernprozesse im Physikunterricht (Modul 1) - SE Bildungsstandards und physikbezogene Kompetenzen (Modul 1) - SE Konzeptionen für den Physikunterricht (Modul 1) - SE Unterrichtsbezogenes Experimentieren (Modul 2a) extern: - Module der Fachwissenschaften und der Bildungswissenschaften zur Wissenschafts- und Erkenntnistheorie

Literatur	• Hößle, C., Höttecke, D. & Kircher, E. (Hrsg.). (2004). Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften. Hohengehren: Schneider 2004. • McComas, W.F. (1998). The nature of science in science education: rationales and strategies. Dordrecht, Boston: Kluwer Academic Publishers. • Köller, O., Baumert, J. & Neubrand, J. (2000). Epistemologische Überzeugungen und Fachverständnis im Mathematik- und Physikunterricht. In: J. Baumert et al. (Hrsg.): TIMSS — Mathematisch-naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Sekundarstufe II. Opladen: Leske & Budrich, S. 229-270. • Lederman, N., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. & Schwartz, R. (2002): Views of Nature of Science Questionnaire: Toward valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. Journal of Research in Science Teaching 39, S. 497 – 521. • Priemer, B. (2006). Deutschsprachige Verfahren der Erfassung von epistemologischen Überzeugungen. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 12, S. 159-175. • Höttecke, D. (2001). Die Vorstellungen von Schülern zur Natur der Naturwissenschaften. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 7, S. 7-24.
------------------	--

B.11 Forschungsbasierte physikdidaktische Vertiefung

Kreditpunkte	4 LP
Eingangsvoraussetzungen	Modul 1, 2a und 2b
Inhalte	Je nach Standort können die Schwerpunkte unterschiedlich gesetzt werden. Schwerpunkt Entwicklung: - Analyse, Entwicklung, Erprobung und Evaluation von Lehr- und Lernprozessen im Physikunterricht - Weiterentwicklung von Lehr-Lernumgebungen in fachlicher, didaktischer und methodischer Hinsicht (auch in Kooperation mit der Fachwissenschaft und/oder anderen Fachdidaktiken) Schwerpunkt Forschung: - Methoden wissenschaftlichen Arbeitens in der Fachdidaktik (an ausgewählten anwendungsbezogenen Beispielen) - Entwicklung und Bearbeitung physikdidaktischer Forschungsfragen
Lernziele / Qualifikationsziele	Die Studierenden sollen - den aktuellen Forschungsstand zu einem Thema aufarbeiten können - eigene physikdidaktische Forschungsfragen entwickeln können - physikdidaktische Forschungsfragen und Ergebnisse theoretisch einordnen können - wissenschaftliche Untersuchungen planen und durchführen können
Modulzuordnung (Schwerpunkt)	Modul 3
Vernetzung (intern /extern)	intern: - alle SE extern: - mit allen Studienanteilen Fach- und Bildungswissenschaften möglich
Literatur	- Bortz, J. & Döring, N. (2006). Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. 4. Auflage. Heidelberg: Springer. - Kromrey, H. (2009). Empirische Sozialforschung. 12. Auflage. Stuttgart: UTB für Wissenschaft. - Mayer, H. O. (2013). Interview und schriftliche Befragung. Methoden empirischer Sozialforschung. 6. Auflage. München: Oldenbourg. - Flick, U. (2005). Qualitative Sozialforschung: Eine Einführung. Reinbek: Rowohlt Taschenbuch-Verlag. - Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H. (Hrsg.). (2014). Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin: Springer.

Anhang C

Lernergebnisse eines Lehramtsstudiums in Physik

Das Formulieren von Studienzielen, also die Nennung der Kompetenzen, die Absolventen eines Lehramtsstudiums am Ende ihres Studiums besitzen sollten, spielt eine zentrale Rolle bei der Konzeption von Studiengängen. Durch die Nennung von Lernergebnissen werden die Ziele des Studiengangs als Ganzes formuliert und gleichzeitig das Kompetenzspektrum der Absolventen charakterisiert, das sie bei Ihrem Berufseinstieg mitbringen. Die Lernergebnisse erlauben den Vergleich der Ziele von unterschiedlichen Studiengängen (z.B. Physik-Fachstudium und Physik Lehramtsstudium) und machen potentiellen Arbeitgebern die Kenntnisse und Fähigkeiten von Absolventen transparent. Im Falle des Lehramtsstudiums ist die Einstellung von Berufsanfängern nicht durch Angebot und Nachfrage nach bestimmten Kompetenzen bestimmt, so dass den Hochschulen eine besondere Verantwortung bei der Zielsetzung des Lehramtsstudiums zukommt.

Die einzelnen Kompetenzen werden schrittweise in den Modulen eines Studiums aufgebaut. Studienbegleitend wird die Kompetenzentwicklung der Studierenden durch Prüfungen überprüft und letztlich mit dem Abschlusszeugnis bescheinigt. Sehr gute Studierende sollten die Ziele umfangreich erreicht haben. Werden die Ziele nicht vollständig erreicht, können Abstriche bei den erreichten Kompetenzen durch eine entsprechende Note zum Ausdruck gebracht werden.

Im Folgenden sind Kenntnisse und Fähigkeiten von Absolventen eines Lehramtsstudiums Physik beispielhaft zusammengestellt, um den Hochschulen Anregungen für die Formulierung ihrer Ziele zu liefern.

- Sie haben ein solides physikalisches Fachwissen erworben, das nicht nur die in der entsprechenden Schulstufe zu lehrenden Inhalte abdeckt, sondern thematisch weiter gefasst ist.
- Sie sind mit der fachlichen Systematik vertraut und können physikalische Effekte richtig einordnen.
- Sie können einen analytischen Zugang zu physikalischen Effekten ausgehend von Alltagsphänomenen und Schülervorwissen im Unterricht umsetzen.
- Innerhalb eines angemessenen Schwierigkeitsgrads können sie physikalische Effekte mit dem geeigneten mathematischen Formalismus quantitativ beschreiben.
- Sie sind in der Lage, Experimente für den Unterricht zu konzipieren, aufzubauen, durchzuführen und die Ergebnisse richtig zu interpretieren.
- Sie haben Einblick in die Konzepte und Methoden der theoretischen Physik und ihrer Rolle innerhalb der Physik.
- Sie haben übergreifende Konzepte, die verschiedenen Teilgebieten der Physik gemeinsam sind, erkannt und können diese bei der Unterrichtsgestaltung besonders berücksichtigen.
- Sie sind mit Anwendungen der Physik in Technik und naturwissenschaftlicher Forschung vertraut und können dieses Wissen nutzen, um Schüler für das Fach zu interessieren.
- Sie können physikalische Themen für den Unterricht aufarbeiten und diese vor dem Hintergrund von Schülererfahrungen, technischen Anwendungen und Vorwissen aus den Medien im Unterricht vermitteln.
- Sie sind in der Lage, Unterricht schülergerecht, begeisternd und fachlich fundiert zu gestalten.
- Sie sind in der Lage, Ziele und Inhalte des Physikunterrichts begründet auszuwählen.

-
- Sie können unterrichtspraktische Entscheidungen auf der Grundlage soliden und strukturierten Wissens über fachliche und fachdidaktische Theorien und Strukturierungsansätze treffen.
 - Sie sind in der Lage, exemplarische Lernumgebungen für selbstgesteuertes fachliches Lernen zu planen und zu gestalten.
 - Sie können eigene und fremde Unterrichtstätigkeit kritisch analysieren und reflektieren.
 - Sie haben fundierte Kenntnisse über Schülervorstellungen, typische Verständnishürden und Fehler in den verschiedenen Themengebieten des Physikunterrichts sowie über entsprechende unterrichtliche Maßnahmen.
 - Sie kennen und nutzen Ergebnisse fachdidaktischer und lernpsychologischer Forschung über das Lernen im Fach Physik.
 - Sie kennen Möglichkeiten der Differenzierung im Physikunterricht.
 - Sie kennen unterschiedliche Verfahren der Diagnose und Rückmeldung von Lernfortschritten bezogen auf die verschiedenen Kompetenzbereiche des Physikunterrichts.
 - Sie haben exemplarisch praktische Erfahrungen bei der Durchführung von selbst konzipiertem Unterricht gesammelt.
 - Sie haben einen Überblick über die Physik als Ganzes und ihre Verbindung zu benachbarten Disziplinen.
 - Sie haben einen Überblick über die modernen Entwicklungen der Physik des 20. Jahrhunderts und sind in der Lage sich anhand von Sekundärliteratur in ausgewählte Themen einzuarbeiten und diese für den Unterricht nutzbar zu machen.
 - Sie sind auf die Ausbildung von durchschnittlich begabten und motivierten Schülern genauso vorbereitet wie auf die Förderung von naturwissenschaftlich besonders Begabten.
 - Sie können das im Studium erworbene fachliche und didaktische Wissen ständig eigenverantwortlich ergänzen und vertiefen und sind mit entsprechenden Lernstrategien vertraut (lebenslanges Lernen).
 - Sie verfügen über Schlüsselqualifikationen wie z.B. Lern- und Arbeitstechniken, Team- und Kommunikationsfähigkeit, Fähigkeit zur Literaturrecherche, etc.
 - Sie sind sich ihrer wichtigen Aufgabe gegenüber der Gesellschaft bewusst und handeln verantwortungsvoll.

Anhang D

Auszüge aus Dokumenten der KMK und aus weiteren wichtigen Quellen

D.1 „Sachstand in der Lehrerbildung“ (KMK)

Auszug aus dem Dokument „Sachstand in der Lehrerbildung“. Die nachfolgend gelisteten Daten wurden aus [KMK (2013)] entnommen. Die aktuelle, kürzlich überarbeitete Fassung findet man unter [KMK (2014)].

Für die 16 Bundesländer werden die Anteile der zwei Fächer, der Fachdidaktiken und der Bildungswissenschaften in Leistungspunkten (LP) für das gesamte Studium angegeben. Hinzu kommen unterschiedliche Anforderungen an Praktika, die in Tagen oder Wochen angegeben werden, nur in einigen Fällen als LP. Die Tabelle gibt einen Überblick.

Land	Fächer	Fachdidaktiken	Bildungs- Wissenschaften	Schulpraktika
Baden-Württemberg	188 + 12 Ethik u. Philos.	20	18 + 6 + Psy- chologie	2 Wochen Orientie- rungspraktikum 16 LP Praxissem.
Bayern	184	20	35	mehrere
Berlin	175	62	32 + 6	Mehrere
Brandenburg	209	> 36	45	mehrere
Bremen	144	18 + Praxisbegleitung	36	36 LP
Hamburg	170	22	48	38 LP
Hessen	120	60	60	mehrere
Mecklenburg- Vorpommern	210	30	30	15 Wochen
Niedersachsen	>190, davon > 40 Didaktik + Prakt.		> 45	18 Wochen
Nordrhein- Westfalen	200	30	41	8 Wochen + 5 Mon Praxis
Rheinland- Pfalz	182	32	42	14 LP
Saarland	180 + 22	50	48	mehrere

Land	Fächer	Fachdidaktiken	Bildungs- Wissenschaften	Schulpraktika
	AA			
Sachsen	> 160	> 30	> 35	25 LP
Sachsen- Anhalt	150	30	35	mehrere Praxissemester
Schleswig- Holstein	190	25	30	25 LP
Thüringen	200	> 20	30	–
Mittelwert	176,5	32,8	38,9	–

Die Summe der Mittelwerte beträgt 248 Leistungspunkte (LP). Die Differenz zu 300 LP wird abgedeckt durch Abschlussarbeiten und die Praktika, die man wohl der Didaktik und der Bildungswissenschaft zurechnen sollte, weil dort die Betreuungsarbeit stattfindet. Also scheint ein Plan gut begründet, bei dem man den beiden Fächern je 90 LP zuordnet, den Fachdidaktiken je 30 LP, der Bildungswissenschaft 40 LP und den Abschlussarbeiten 20 LP. Unser in dieser Studie entwickelter „mittlerer“, in diesem Sinne „repräsentativer“ Musterstudienplan verwendet diese Zahlen. Er ist als durchdachtes, begründetes, für machbar gehaltenes Beispiel zu verstehen, das die Universitäten und Hochschullehrer bei ihrer Aufgabe zur Curriculums-Gestaltung unterstützen soll.

D.2 „Monitor Lehrerbildung“ von 2012

Auszug aus dem „Monitor Lehrerbildung“, einem Projekt der Bertelsmann-Stiftung, des CHE-Centrums für Hochschulentwicklung, der Deutschen Telekom Stiftung und des Stifterverbands für die Deutsche Wissenschaft, basierend auf einer Befragung der Länder und Hochschulen im Frühjahr/Sommer 2012 [CHE (2013)].

Die Spalten geben wieder: Hochschule, soweit sie Gymnasiallehrer ausbilden und an der Befragung teilgenommen haben; Staatsexamensmöglichkeit; Bachelor- und Master-Studiengänge; die beiden Fächer, wobei stets Fach und Fachdidaktik zusammen genommen werden; Bildungswissenschaften; Praktika; Abschlussarbeiten. Wenn in einer Spalte zwei Zahlen stehen, geben sie die Werte für Bachelor (Ba) und Master (Ma) getrennt an.

Hochschule	Staats-exam.	Ba/ Ma	1. Fach + Didaktik	2. Fach + Didaktik	Bildungs- wiss. Ba + Ma	Schul- Praktika Ba + Ma	Abschl.- arbeiten Ba + Ma
Baden Württemberg							
Uni Freiburg	x		keine Angaben				
Uni Stuttgart	x		90	90	18	16	40
Uni Tübingen	x		114	114	18	16	20
Uni Heidelberg	x		104	104	18	16	40
Uni Ulm	x		104	104	18	16	40
Uni Konstanz	x		104	104	18	16	40
KIT Karlsruhe	x		104	104	36	16	40
Bayern							
Uni Erlangen-Nürnberg	x		105	105	35	10	10
Uni Eichstätt-Ingolstadt		x	101	101	28	15	10
Uni Bamberg	x	x	keine Angaben				
Uni Augsburg	x		107	107	35	6	10
Uni Passau	x		104	104	35	11	10
Uni Würzburg	x		102	102	35	6	10

Hochschule	Staats- exam.	Ba/ Ma	1. Fach + Didaktik	2. Fach + Didaktik	Bildungs- wiss. Ba + Ma	Schul- Praktika Ba + Ma	Abschl.- arbeiten Ba + Ma
TU München		x	102	103	24 + 18	12 + 6	10 + 30
Uni Bayreuth	x	x	keine Angaben				
Uni Regensburg	x		102	102	35	6	10
Berlin							
FU Berlin		x	88 + 38	68 + 23	7 + 24	7 + 22	10 + 15
HU Berlin		x	87 + 27	67 + 23	7 + 24	9 + 22	10 + 15
Brandenburg							
Uni Potsdam		x	89 + 25	70 + 25	15 + 30	0 + 20	6 + 20
Bremen							
Uni Bremen		x	51 + 24	51 + 24	42 + 18	k.A.	12 + 21
Hamburg							
Universität Hamburg	Hat nicht an der Befragung teilgenommen						
Hessen							
Uni Frankfurt	x		95	95	50	28	30
Uni Marburg	x		90	90	60	20	30
Uni Kassel	x		94	94	52	20	k.A
Uni Gießen	x		90	90	60	k.A.	k.A
TU Darmstadt	x		90	90	60	k.A.	k.A
Mecklenburg-Vorpommern							
Uni Greifswald	x		120	120	30	15	15
Uni Rostock	x		keine Angaben				

Hochschule	Staats- exam.	Ba/ Ma	1. Fach + Didaktik	2. Fach + Didaktik	Bildungs- wiss. Ba + Ma	Schul- Praktika Ba + Ma	Abschl.- arbeiten Ba + Ma
Niedersachsen							
Uni Oldenburg		x	95	95	45	15 + 12	15 + 27
Uni Hannover		x	90 + 20	50 + 45	14 + 30	10 + 7	10 + 25
Uni Göttingen		x	69 + 25	69 + 25	6 36	14 + 8	12 + 26
Uni Braun- schweig		x	90 + 15	45 + 45	0 + 27	12 + 9	15 + 24
Nordrhein-Westfalen							
Uni Wuppertal		x	75 + 25	75 + 25	14 + 36	12 + 25	10 + 15
Uni Bonn		x	66 + 30	66 30	12 + 14	12 + 25	12 + 15
Uni Dortmund		x	68 + 32	68 + 32	30 + 11	10 + 25	8 + 20
Uni Duisburg- Essen		x	68 + 29	68 + 29	18 + 17	12 + 25	8 + 20
Uni Siegen		x	69 + 30	69 + 30	22 + 15	6 + 25	8 + 20
Uni Münster		x	75 + 25	75 + 25	7 + 21	13 + 25	10 + 18
RWTH Aachen		x	74 + 28	74 + 28	22 + 27	10 + 25	10 + 18
Uni Bochum		x	71 + 29	71 + 29	9 + 20	10 + 25	10 + 25
Uni Paderborn		x	72 + 27	72 + 27	12 + 23	6 + 25	12 + 18
Uni Köln		x	40 + 15	40 + 15	42 + 22	k.A. + 25	12 + 15
Rheinland-Pfalz							
Uni Koblenz- Landau		x	65 + 42	65 + 42	30 + 12	10 + 4	10 + 20
Uni Trier		x	65 + 42	65 + 42	30 + 12	10 + 4	10 + 20
Uni Kaiserslaut.		x	65 + 23	65 + 23	30 + 24	10 + 4	10 + 16

Hochschule	Staats-exam.	Ba/Ma	1. Fach + Didaktik	2. Fach + Didaktik	Bildungs-wiss. Ba + Ma	Schul-Praktika Ba + Ma	Abschl.-arbeiten Ba + Ma
Saarland							
Uni Saarbrücken	x		99	99	39	41	22
Sachsen							
TU Dresden		x	68 + 40	68 + 40	37 + 20	k.A.	7 + 15
Uni Leipzig	x		90	90	45	25	30
Sachsen-Anhalt							
Uni Halle-Wittenberg	x		95	90	35	20	25
Uni Magdeburg		x	keine Angaben				
Thüringen							
Uni Jena	x		95	95	20	30	60
Mittelwerte							
Unis mit Staatsexamen	21		100	100	36	18	27
Unis mit gestufter Studienstruktur		24	100	95	41	27	29

Die Mittelwerte sind auf die nächste ganze Zahl auf- oder abgerundet. Universitäten, die keine Angaben gemacht haben, wurden nicht mitgezählt. Bei Universitäten mit gestufter Studienstruktur wurden jeweils die LP für Bachelor- und Masterphase zusammen genommen.

D.3 Bildungsstandards der KMK

Im Jahr 2004 hat die KMK *Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss* – fachspezifisch für alle Schulfächer beschlossen, so auch für die Physik [KMK (2004a)], woraus wir nachfolgend zitieren.

In diesem Dokument werden nach einem kurzen einleitenden Kapitel zum Bildungswert der Naturwissenschaften im Allgemeinen und der Physik im Besonderen die sogenannten Kompetenzbereiche eingeführt.

Beginn des Zitats:

2. Kompetenzbereiche des Faches Physik

Mit dem Erwerb des Mittleren Schulabschlusses verfügen die Schüler über naturwissenschaftliche Kompetenzen im Allgemeinen sowie physikalische Kompetenzen im Besonderen. Kompetenzen sind nach Weinert „*die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können*“.

Die in vier Kompetenzbereichen festgelegten Standards beschreiben die notwendige physikalische Grundbildung. Die im Kompetenzbereich Fachwissen vorgenommene vertikale Vernetzung durch die übergeordneten vier Basiskonzepte Materie, Wechselwirkung, System und Energie soll den Schülern kumulatives Lernen erleichtern. Zugleich wird auf Basis des Fachwissens der Kompetenzerwerb in den Bereichen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewerten ermöglicht und das Fachwissen in gesellschaftlichen und alltagsrelevanten Kontexten angewandt. Darüber hinaus bieten die Kompetenzen Anknüpfungspunkte für fachübergreifendes und fächerverbindendes Arbeiten.

Kompetenzbereiche im Fach Physik	
Fachwissen	Physikalische Phänomene, Begriffe, Prinzipien, Fakten, Gesetzmäßigkeiten kennen und Basiskonzepten zuordnen
Erkenntnisgewinnung	Experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle nutzen
Kommunikation	Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen
Bewertung	Physikalische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten

Schüler mit einem Mittleren Schulabschluss müssen im Fach Physik Kompetenzen erworben haben, die neben den Fachinhalten auch die Handlungsdimension berücksichtigen:

- Die drei Naturwissenschaften bilden die inhaltliche Dimension durch Basiskonzepte ab. Sie begünstigen kumulatives, kontextbezogenes Lernen. Sie systematisieren und strukturieren Inhalte so, dass der Erwerb eines grundlegenden, vernetzten Wissens erleichtert wird. Die inhaltliche Dimension umfasst übergreifende, inhaltlich begründete Prinzipien und Erkenntnis leitende Ideen, mit denen Phänomene physikalisch beschrieben und geordnet werden.
- Die Handlungsdimension bezieht sich auf grundlegende Elemente der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, also auf experimentelles und theoretisches Arbeiten, auf Kommunikation und auf die Anwendung und Bewertung physikalischer Sachverhalte in fachlichen und gesellschaftlichen Kontexten.

Diese beiden Dimensionen physikalischen Arbeitens ermöglichen es den Schülern, vielfältige Kompetenzen zu erwerben, die ihnen helfen, die natürliche und kulturelle Welt zu verstehen und zu erklären. Die Inhaltsdimension wird überwiegend im Kompetenzbereich Fachwissen dargestellt, die Handlungsdimension in den Kompetenzbereichen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung. Inhalts- und handlungsbezogene Kompetenzen können nur gemeinsam und in Kontexten erworben werden. Sie beschreiben Ergebnisse des Lernens, geben aber keine Unterrichtsmethoden oder -strategien vor.

2.1. Fachwissen

Physikalische Phänomene, Begriffe, Prinzipien, Fakten, Gesetzmäßigkeiten kennen und Basiskonzepten zuordnen Physikalisches Fachwissen, wie es durch die vier Basiskonzepte charakterisiert wird, beinhaltet Wissen über Phänomene, Begriffe, Bilder, Modelle und deren Gültigkeitsbereiche sowie über funktionale Zusammenhänge und Strukturen. Als strukturierter Wissensbestand bildet das Fachwissen die Basis zur Bearbeitung physikalischer Probleme und Aufgaben.

Das Verständnis von Zusammenhängen, Konzepten und Modellen sowie deren Nutzung zur weiteren Erkenntnisgewinnung und zur Diskussion bzw. zur Lösung offener, kontextbezogener Aufgabenstellungen ist Teil einer anspruchsvollen Problembearbeitung. Im Folgenden werden die vier Basiskonzepte näher ausgeführt und Beispiele für mögliche Konkretisierungen angegeben.

1. Materie Körper können verschiedene Aggregatzustände annehmen. Diese können sich durch äußere Einwirkungen ändern. Körper bestehen aus Teilchen. Materie ist strukturiert.	Beispiele Form und Volumen von Körpern Teilchenmodell, Brownsche Bewegung Atom, Moleküle, Kristalle.
2. Wechselwirkungen Wenn Körper aufeinander einwirken, kann eine Verformung oder eine Änderung der Bewegungszustände der Körper auftreten. Körper können durch Felder aufeinander einwirken. Strahlung kann mit Materie wechselwirken, dabei können sich Strahlung und Materie verändern.	Beispiele Kraftwirkungen, Trägheitsgesetz, Wechselwirkungsgesetz, Impuls Kräfte zwischen Ladungen, Schwerkraft, Kräfte zwischen Magneten Reflexion, Brechung, Totalreflexion, Farben, Treibhauseffekt, globale Erwärmung, ionisierende Strahlung
3. System Stabile Zustände sind Systeme im Gleichgewicht. Gestörte Gleichgewichte können Ströme und Schwingungen hervorrufen. Ströme benötigen einen Antrieb (Ursache) und können durch Widerstände in ihrer Stärke beein-	Beispiele Kräftegleichgewicht, Druckgleichgewicht, thermisches Gleichgewicht Druck-, Temperatur- bzw. Potentialunterschiede und die verursachten Strömungen Elektrischer Stromkreis, thermische Ströme

flusst werden.	
4. Energie Nutzbare Energie kann aus erschöpfbaren und regenerativen Quellen gewonnen werden. Für den Transport und bei der Nutzung von Energie kann ein Wechsel der Energieform bzw. des Energieträgers stattfinden. Dabei kann nur ein Teil der eingesetzten Energie genutzt werden. Die Gesamtheit der Energien bleibt konstant. Bei Körpern unterschiedlicher Temperatur findet ein Energiefluss von alleine nur von höherer zu niedrigerer Temperatur statt.	Beispiele fossile Brennstoffe, Wind- und Sonnenenergie, Kernenergie Generator, Motor, Transformator, Wirkungsgrad, Entropie, Abwärme, Energieentwertung Pumpspeicherwerk, Akkumulator, Wärmepumpe (Kühlschrank) Wärmeleitung, Strahlung

...

Ende des Zitats.

Es folgen weitere 23 Seiten mit der Beschreibung der weiteren Kompetenzbereiche, Detailspezifikationen und Aufgabenbeispiele – aber keine konkreten fachinhaltlichen Vorgaben – diese werden in den Rahmenlehrplänen der Länder spezifiziert.

D.4 Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung

Auszug aus KMK (2008):

14. Physik

Das Lehramtsstudium im Fach Physik bedarf neben der Fachsystematik einer Orientierung an übergreifenden, schulrelevanten Themen. Dies erfordert explizite lehramtsspezifische Anteile der Fachausbildung. Beispiele größerer Themenbereiche können z. B. sein: Aggregatzustände – Stoffe – Atome, Gravitation – Kosmos – Teilchen, Elektrizität – Maschinen – Elektronik. Physikdidaktik ist ein ausgewiesener Bestandteil des Studiums.

14.1. Fachspezifisches Kompetenzprofil

Die Studienabsolventen verfügen über die grundlegenden Fähigkeiten für gezielte und nach wissenschaftlichen Erkenntnissen gestaltete Vermittlungs-, Lern- und Bildungsprozesse im Fach Physik. Sie

- verfügen über anschlussfähiges physikalisches Fachwissen, das es ihnen ermöglicht, Unterrichtskonzepte und -medien fachlich zu gestalten, inhaltlich zu bewerten, neuere physikalische Forschung in Übersichtsdarstellungen zu verfolgen und neue Themen in den Unterricht einzubringen,
- sind vertraut mit den Arbeits- und Erkenntnismethoden der Physik und verfügen über Kenntnisse und Fertigkeiten im Experimentieren und im Handhaben von (schultypischen) Geräten,
- kennen die Ideengeschichte ausgewählter physikalischer Theorien und Begriffe sowie den Prozess der Gewinnung physikalischer Erkenntnisse (Wissen über Physik) und können die gesellschaftliche Bedeutung der Physik begründen,
- verfügen über anschlussfähiges fachdidaktisches Wissen, insbes. solide Kenntnisse fachdidaktischer Konzeptionen, der Ergebnisse physikbezogener Lehr-Lern-Forschung, typischer Lernschwierigkeiten und Schülervorstellungen in den Themengebieten des Physikunterrichts, sowie von Möglichkeiten, Schüler für das Lernen von Physik zu motivieren,
- verfügen über erste reflektierte Erfahrungen im Planen und Gestalten strukturierter Lehrgänge (Unterrichtseinheiten) sowie im Durchführen von Unterrichtsstunden.

14.2 Studieninhalte

Studium für LÄ der Sek I	erweitert im Studium für LA an Gym/Sek II
Experimentalphysik	
• Mechanik • Thermodynamik • Elektrodynamik, Optik • Atom- und Quantenphysik • Überblickswissen: Festkörper-, Kern- und Elementarteilchenphysik, Kosmologie	• Größerer Vertiefungsgrad der für Sek I genannten Inhaltsbereiche, dazu: • Festkörper-, Kern- und Elementarteilchenphysik, Kosmologie
Physikalische Praktika	
• Experimentalphysikalisches Grund-	• Größerer Vertiefungsgrad der für Sek I

Studium für LÄ der Sek I	erweitert im Studium für LA an Gym/Sek II
praktikum Schulorientiertes Experimentieren (Demonstrations-, Schüler-, Freihandexperimente)	genannten Inhaltsbereiche, dazu: - Weitere schulstufenbezogene Experimente beim „Schulorientierten Experimentieren“ - Fortgeschrittenenpraktikum
Mathematik für Physik	
- Vektor und Matrizenrechnung - Funktionen - Elemente der Differential- und Integralrechnung - Einblick in Differentialgleichungen - Statistik (Grundwissen)	Größerer Vertiefungsgrad der für Sek I genannten Inhaltsbereiche, dazu: - Vektoranalysis - Partielle Differentialgleichungen - Hilberträume - Nichtlineare Dynamik
Angewandte Physik	
- Übersicht über schulrelevante Gebiete - Physik und Sport - Klima und Wetter - Regel- und Prozesstechnik, Sensorik	Größerer Vertiefungsgrad der für Sek I genannten Inhaltsbereiche, dazu: Studium eines Gebiets der angewandten Physik
Physikdidaktik	
- Fachdidaktische Positionen und Konzeptionen - Motivation und Interesse - Lernprozesse - Diagnose von Lernschwierigkeiten - Planung und Analyse von Physikunterricht - Aufgaben, Experimente und Medien - Fachdidaktische Forschung	
Vertiefungen in ausgewählten Themengebieten zu den genannten Inhaltsbereichen	

D.5 Auszug aus der KFP-Empfehlung zu mathematischen Vorkursen

Die Konferenz der Fachbereiche Physik hat am 7. November 2011 eine „Empfehlung zum Umgang mit den Mathematikkenntnissen von Studienanfängern der Physik“ gegeben [KFP (2011)]. Sie unterscheidet zwischen mathematischen Inhalten, die in der Schule erworben sein sollten, und solchen, die erst im Studium zu vermitteln sind. Im Folgenden stellen wir die Inhalte zusammen, die bei Studienbeginn vorausgesetzt werden können, sollen und müssen, weil sie in (fast) allen Bundesländern zum Schulstoff gehören. Alles weitere (etwa Folgen und Reihen, komplexe Zahlen, Matrizen, Differentialgleichungen u.a.) muss im Studium gelehrt und gelernt werden. Es wird empfohlen, die detaillierte Liste der KFP-Empfehlungen gerade auch im Hinblick auf diejenigen Mathematik-Inhalte anzusehen, die am Studienbeginn NICHT vorausgesetzt werden können.

Bei Studienbeginn vorausgesetzte Mathematische Kenntnisse und Fähigkeiten lt. Empfehlung der KFP

Elementare Fertigkeiten aus der Mittelstufe:

Berechnung von Flächen- und Volumeninhalten geometrischer Formen,
Umstellen von Gleichungen, Bruchrechnung, Zahlbegriff, reelle und rationale Zahlen,
Einheitenbehaftete Größen, Umrechnungen

Vektoren:

Skalare und Vektoren, Komponentendarstellung, Kartesische Koordinaten, Rechenregeln für Vektoren, Winkel zwischen Vektoren, Gerade im Raum, Ebene im Raum, Lineare Unabhängigkeit, Skalarprodukt (Inneres Produkt), Vektorprodukt (Äußeres oder Kreuz-Produkt)

Lineare Gleichungssysteme:

Lösung einfacher linearer Gleichungssysteme, Lösungsalgorithmen (z.B. Gauß-Algorithmus),
Schnitte von Ebenen von Ebenen, Allgemeine Lösung in 3 Dimensionen

Elementare Funktionen:

Funktionsbegriff, (graphische) Darstellung einer Funktion, Polynome, Rationale Funktionen, Binomischer Satz, Trigonometrische Funktionen, Exponentialfunktion, Rechenregeln für Exponentialfunktion, Logarithmus, Rechenregeln für Logarithmus, Begriffe: monoton, stetig, umkehrbar, Parameter in Funktionen, Bestimmung aus bekannten Funktionswerten, Kurvenscharen für sin-Funktion, e-Funktion, Polynome, Verkettungen von Funktionen

Differentialrechnung:

Bedeutung: Steigung, Änderungsrate, Differenzenquotient, Nutzung des Begriffs "Grenzwert" an diesem Beispiel, Ableitungen elementarer Funktionen: Polynome, sin, cos, exp, $1/x$, Höhere Ableitungen, Produkt-, Quotienten-, Kettenregel

Integralrechnung:

Bestimmtes Integral, Interpretation als Fläche unter einer Kurve und als Kumulieren einer Größe, Integral als Summe (von infinitesimalen Größen), Nutzung des Begriffs "Grenzwert" an diesem Beispiel, Unbestimmtes Integral, Stammfunktion, Integrale elementarer Funktionen, Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung, Linearität der Integration, Unendliche Integrationsgrenzen

Statistik:

Zufallsgröße, Ergebnis, Ergebnismenge, Ereignis, Laplacesche Wahrscheinlichkeit, Zufallsexperiment, Binomialverteilung, Normalverteilung

Vorkurs:

Zum sicheren Erwerb dieses Mathematikstoffes sollten die Fachbereiche einen **Vorkurs** anbieten. Die Studierenden können den Stoff hier wiederholen oder erstmals (nach-)lernen. Alle weiteren für die Physik wichtigen Mathematikkenntnisse können in den beiden LV „Mathematische Methoden der Physik“ gelernt werden.

Anhang E Quellenverzeichnis

Akkreditierungsrat (2008); '*Tätigkeitsbericht 2007, Drucksache AR 20/2008*': Bonn.
http://www.akkreditierungsrat.de/fileadmin/Seiteninhalte/AR/Veroeffentlichungen/Taetigkeitsberichte/AR_Taetigkeitsbericht_2007.pdf

Bauer, J., U. Diercks, L. Rösler, J. Möller und M. Prenzel; '*Lehramtsstudium in Deutschland: Wie groß ist die strukturelle Vielfalt?*', Unterrichtswissenschaft **40** (2012) 101-20

Baumert, J., Rainer Lehmann, M. Lehrke, B. Schmitz, M. Clausen, I. Hosenfeld, O. Köller und J. Neubrand (1997); '*TIMSS, Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde*', 243 Seiten; Leske + Budrich: Opladen

Björkman, J., A. Henning, K. Patzwaldt, H. Musold, A. Upmeyer-zu-Belzen und R. Tiemann (2013); '*Zur MINT-Lehrerausbildung an der HU zu Berlin*', MNU Zeitschrift **66**, 430-5

CHE (2013); '*Monitor Lehrerbildung*'; Bertelsmann Stiftung, CHE Gemeinnütziges Centrum für Hochschulentwicklung, Deutsche Telekom Stiftung, Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. : Gütersloh. www.monitor-lehrerbildung.de

Dodge, B. (2007); '*WebQuest.Org*'. <http://webquest.org/>

DPG (2001); '*DPG Denkschrift*'; Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V.: Bad Honnef, 3. erweiterte Auflage. www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/index.html

GFD (2004); '*Kerncurriculum Fachdidaktik – Orientierungsrahmen für alle Fachdidaktiken*'; Gesellschaft für Fachdidaktik (GFD).
http://www.gdcp.eu/images/pdf/GDCP_GFD_KCFachdidaktik.pdf

Großmann, S., G. Berg, W. Demtröder, M. Euler, D. Fick, A. Haase, B. Kretschmer, R. Lehn, A. Müller, P. Richter, G. Sauer, H. Schecker, W. Schneider, E. Sumfleth, E. Umbach, K. Urban, M. Vollmer, M. Welzel, M. Wilkens und W. Zimmermann (2006); '*Thesen für ein modernes Lehramtsstudium im Fach Physik*'; Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. (DPG): Bad Honnef, Studien. http://www.dpg-physik.de/static/info/lehramtsstudie_2006.pdf

Hopf, M., H. Schecker und H. Wiesner (Hrsg.) 2013; '*Physikdidaktik kompakt*'; Aulis Verlag Deubner

IQB (2013); *'Kompetenzstufenmodelle zu den Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss'*, 62 Seiten. http://www.iqb.hu-berlin.de/bista/ksm/KSM_Physik.pdf

KFP (2011); *'Empfehlung der Konferenz der Fachbereiche Physik zum Umgang mit den Mathematikkenntnissen von Studienanfängern der Physik'*; Konferenz der Fachbereiche Physik: Berlin. <http://www.kfp-physik.de/dokument/KFP-Empfehlung-Mathematikkenntnisse.pdf>

KMK (1997); *'Rahmenvereinbarungen für die Ausbildung und Prüfung für ein Lehramt der Sekundarstufe II (allgemein bildende Fächer) oder für das Gymnasium (Lehramtstyp 4), Beschluss der KMK vom 28.2.1997 i. d. F. vom 7.3.2013.'*; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1997/1997_02_28-RV_Lehramtstyp-4.pdf

KMK (2003); *'Ländergemeinsame Strukturvorgaben für die Akkreditierung von Bachelor- und Masterstudiengängen (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 10.10.2003 i.d.F. vom 04.02.2010)'*, 17 Seiten; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2003/2003_10_10-Laendergemeinsame-Strukturvorgaben.pdf

KMK (2004a); *'Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss'*; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf

KMK (2004b); *'Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004)'*; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 13 Seiten. http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung.pdf

KMK (2008); *'Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 16.05.2013)'*, 67 Seiten; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16_Fachprofile-Lehrerbildung.pdf

KMK (2010); *'Ländergemeinsame Strukturvorgaben für die Akkreditierung von Bachelor- und Masterstudiengängen (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 10.10.2003 i.d.F. vom*

04.02.2010)', 5 Seiten; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.

http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16_Fachprofile-Lehrerbildung.pdf

KMK (2011); *'Ländergemeinsame Strukturvorgaben für die Akkreditierung von Bachelor- und Masterstudiengängen vom 04.02.2010, Auslegungshinweise (Handreichung des Hochschulausschusses der Kultusministerkonferenz vom 25.03.2011)'*, 6 Seiten; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.

http://www.akkreditierungsrat.de/fileadmin/Seiteninhalte/KMK/Vorgaben/KMK_Auslegungshinweise_Laendergemeinsame_Strukturvorgaben.pdf

KMK (2012); *'Medienbildung in der Schule (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 8. März 2012)'*; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, Beschlüsse der Kultusministerkonferenz.

http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2012/2012_03_08_Medienbildung.pdf

KMK (2013); *'Sachstand in der Lehrerbildung (Stand: 26.11.2013)'*, 135 Seiten; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland

KMK (2014); *'Sachstand in der Lehrerbildung (Stand: 17.2.2014)'*, 168 Seiten; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.

[http://www.kmk.org/fileadmin/pdf/Bildung/AllgBildung/2014-02-17-Sachstand in der Lehrerbildung-Endfassung-ueberprueft-mit Anlagen.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/pdf/Bildung/AllgBildung/2014-02-17-Sachstand_in_der_Lehrerbildung-Endfassung-ueberprueft-mit_Anlagen.pdf)

Korneck, F., J. Lamprecht, R. Wodzinski und H. Schecker (2010); *'Quereinsteiger in das Lehramt Physik – Lage und Perspektiven der Physiklehrausbildung in Deutschland'*; Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. (DPG): Bad Honnef, Studien. http://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien/quereinsteiger_2010.pdf

Kunina-Habenicht, O., H. Lohse-Bossenz, M. Kunter, T. Dicke, D. Forster, J. Gossling, F. Schulze-Stocker, A. Schmeck, J. Baumert, D. Leutner und E. Terhart (2012); *'Welche Bildungswissenschaftlichen Inhalte sind wichtig in der Lehrerbildung. Ergebnisse einer Delphi-Studie'*, Z. Erziehungswis 15, 649-82. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11618-012-0324-6>

Lersch, R. (2010); *'Wie unterrichtet man Kompetenzen?'*; Hessisches Kultusministerium, Institut für Qualitätsentwicklung: Wiesbaden.

http://qualitaetsentwicklung.lsa.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HKM_15/IQ_Internet/med/182/18260a31-466d-7b21-f012-f31e2389e481,22222222-2222-2222-2222-222222222222

Merkel, A. (2013); '*Grußwort der Bundeskanzlerin zum 1. Nationalen MINT Gipfel*'; Nationales MINT Forum: Berlin. www.nationalesmintforum.de/erster_nationaler_mint_gipfel.html

Muckenfuß, H. (2007); '*Physik im Fach Naturwissenschaften*'; WE-Heraeus-Arbeitstreffen: Bad Honnef, Präsentation. http://staff.mbi-berlin.de/hertel/de/DPG-AG_open/mat-diverse/NW_Honnef_Muckenfuss.pdf

Offergeld, E. und J. Walke (2013); '*Die Reform der Praxisphasen in der Ersten Phase der Lehrerbildung*'; Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft: Essen, Positionen, 66. http://www.stifterverband.info/publikationen_und_podcasts/positionen_dokumentationen/reform_praxisphasen_lehrerbildung/reform_praxisphasen_lehrerbildung.pdf

PISA2000 (2001); '*Programme for International Student Assessment (PISA2000)*'; Leske + Budrich: Opladen, 243 Seiten. <https://www.mpib-berlin.mpg.de/Pisa/index.html>

Walke, J. (2007); '*Die Zweite Phase der Lehrerbildung. Ein Überblick über Stand, Problemlagen und Reformtendenzen*'; Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft/Mercator-Stiftung: Essen, Schriftenreihe zur Lehrerbildung **III**, 70 Seiten. http://www.stifterverband.info/wissenschaft_und_hochschule/lehre/lehrerbildung/die_zweite_phase_der_lehrerbildung.pdf

Weyland, U. (2012); '*Expertise zu den Praxisphasen in der Lehrerbildung in den Bundesländern*'; Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung (LI): Hamburg, 66 Seiten. <http://li.hamburg.de/contentblob/3305538/data/pdf-studie-praxisphasen-in-der-lehrerbildung.pdf>

Wikipedia (2013); '*WebQuest*'. <http://en.wikipedia.org/wiki/WebQuest>

Winter, E., G. Berg, B. Filtzinger, I. Hertel, F. Neußer, K. Reiss, P. Rösner und A. Schnöring (2013); '*Zehn Thesen und Forderungen zur MINT-Lehramtsausbildung*'; Nationales MINT Forum: Berlin, Empfehlungen. www.nationalesmintforum.de/fileadmin/user_upload/gerke/NMF/Empfehlungspapier_final_Webversion.pdf

Studie

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG), deren Tradition bis in das Jahr 1845 zurückreicht, ist die älteste überregionale und mit über 62.000 Mitgliedern auch größte physikalische Fachgesellschaft der Welt. Sie versteht sich als offenes Forum der Physikerinnen und Physiker und verfolgt als gemeinnütziger Verein keine wirtschaftlichen Interessen. Abiturienten und Lehrer sind in der DPG ebenso vertreten wie Studierende, Patentanwälte, Industrieforscher, Professoren und Nobelpreisträger. Weltberühmte Wissenschaftler waren zudem Präsidenten der DPG – so Max Planck und Albert Einstein.

Mit Tagungen und Workshops fördert die DPG den Gedankenaustausch innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft, physikalische Spitzenleistungen würdigt sie mit Preisen von internationaler Reputation wie der Max-Planck-Medaille für Theoretische Physik. Darüber hinaus engagiert sich die DPG auch in der politischen Diskussion. Themen wie Bildung, Forschung, Klimaschutz und Energiepolitik sind ihr dabei besonders wichtig. Sie unterstützt Schülerwettbewerbe wie „Jugend forscht“ und zeichnet – für herausragende Physikleistungen im Abitur – bundesweit Schülerinnen und Schüler aus.

Sitz der DPG-Geschäftsstelle ist das rheinische Bad Honnef. Hier liegt auch das „Physikzentrum“: Tagungsstätte der DPG und Treffpunkt für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus aller Welt. Seit ihrer Vereinigung mit der Physikalischen Gesellschaft der DDR im Jahre 1990 unterhält die DPG noch ein weiteres Forum: das Berliner Magnus-Haus. Regelmäßig finden dort wissenschaftliche Gesprächsrunden und öffentliche Vorträge statt.

Die DPG macht Physik öffentlich: Mit populärwissenschaftlichen Publikationen und öffentlichen Veranstaltungen beteiligt sie sich – zusammen mit anderen Wissenschaftsorganisationen und gemeinsam mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung – aktiv am Dialog zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit. Denn der DPG ist eines Herzenssache: allen Neugierigen ein Fenster zur Physik zu öffnen.

ISBN: 978-3-9811161-3-7

Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.
Geschäftsstelle
Hauptstr. 5
53604 Bad Honnef
Telefon: 0 22 24 / 92 32 - 0
Fax: 0 22 24 / 92 32 - 50
E-Mail: dpg@dpg-physik.de
Internet: www.dpg-physik.de
www.weltderphysik.de