

Studie

Deutsche Physikalische Gesellschaft



Die im Januar 2016 veröffentlichte Studie wurde im August 2018 um Hinweise zur Einordnung der Werte in den Kontingenzstundentafeln der Länder ergänzt. Bitte beachten Sie die Erläuterungen vor Beginn des Hauptteils und zu Beginn von Anhang A.

Physik in der Schule

Hauptteil

Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V.

Januar 2016



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

Physik in der Schule

Hauptteil

Autorengruppe der DPG

Die Studie besteht aus vier Teilen

Zusammenfassung	14 Seiten	} gedruckt in einem Band
Hauptteil	145 Seiten	
Anlage Basiskonzepte	54 Seiten	
Anhänge	239 Seiten	

Diese vier Dokumente können von der Internetseite der DPG

<https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien.html> heruntergeladen werden. Sie sind für die Lektüre am Bildschirm untereinander verlinkt, wenn sie in einem gemeinsamen Ordner abgelegt werden.

Erstfassung: Januar 2016

Redaktionelle Erläuterungen: August 2018

Aufgrund der in den Vorbemerkungen zu [Anhang A](#) erläuterten Schwierigkeiten bei der Interpretation der offiziell zugänglichen Studententafeln wurde in [Kap. 2](#) des Hauptteils auf Minimalwerte anstatt auf Durchschnittswerte Bezug genommen (s. [S. 22](#)). Konsequenterweise wurden auf den [Seiten 22 bis 25](#) und [30](#) Hinweise zu rechnerisch besonders niedrigen Physikstundenzahlen in einem Bundesland entfernt, da diese schulspezifisch deutlich überschritten werden können. Die Randnotiz auf [S. 23](#) wurde entsprechend relativiert und aktualisiert. Außerdem wurden einige Tippfehler beseitigt.

Impressum

Koordinatoren

Ingolf Hertel	Berlin
Siegfried Großmann	Marburg

Weitere Mitglieder der Autorengruppe

Gunnar Berg	Halle
Franz Eisele	Heidelberg
Roger Erb (bis 14.8.2015)	Frankfurt
Helmut Fischler	Berlin
Steffen Harke	Berlin
Rudolf Lehn	Bad Saulgau
René Matzdorf	Kassel
Jennifer Pfennig	Berlin
Peter Reineker	Ulm
Peter Richter (†19.5.2015)	Bremen
Dieter Röß	Hößbach
Lutz-Helmut Schön	Berlin & Wien
Michael Sinzinger	Regensburg
Thomas Trefzger	Würzburg
Rita Wodzinski	Kassel

ISBN: 978-3-9811161-8-2

Herausgeber

Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. (DPG)

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

<http://dpg-physik.de/index.html>

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

<http://dpg-physik.de/dpg/magnus/index.html>

Vorwort

„Die Physik stellt eine wesentliche Grundlage für das Verstehen natürlicher Phänomene und für die Erklärung und Beurteilung technischer Systeme und Entwicklungen dar.“ So formulieren es die **KMK (2004)-Bildungsstandards**, welche gegenwärtig die Grundlage aller Rahmenlehrpläne für den mittleren Schulabschluss in den allgemeinbildenden Schulen unserer 16 Bundesländer bilden. „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.“ Dies schrieben wir **2014** in der **DPG-Studie *Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik***, welche der hier vorgelegten Studie voranging. Jene Studie befasste sich damit, wie unsere künftigen Physiklehrerinnen und Physiklehrer heute optimal auf die Notwendigkeiten und Herausforderungen ihrer verantwortungsvollen, aber auch sehr schwierigen Aufgabe vorbereitet werden sollten, und wie die Hochschulausbildung dafür möglichst effizient gestaltet werden kann.

Im folgerichtigen nächsten Schritt wendet sich die hier vorgelegte Studie direkt dem Physikunterricht an unseren allgemeinbildenden Schulen zu. Was ist das Ziel dieses wichtigen, aber offenbar unter Schülerinnen und Schülern ungeliebten Schulfachs Physik? Was sind die aktuellen Bedingungen und Probleme des Unterrichts? Wie kann das Fach für die Jugendlichen attraktiv gestaltet, wie kann ein neuer Zugang, eine überzeugende Struktur für die Inhalte geschaffen werden? Wie können über die gesamte Schulzeit hinweg die „roten Fäden“ erkennbar werden, welche die Inhalte verbinden? Wie kann die Bedeutung der fachlichen Inhalte und der im Unterricht zu erwerbenden Fähigkeiten für das persönliche Leben jedes einzelnen heranwachsenden Staatsbürgers deutlich gemacht werden? Welche Erkenntnisse und Ratschläge können wir aus aktueller fachwissenschaftlicher und fachdidaktischer Sicht den Physiklehrerinnen und Physiklehrern an die Hand geben?

Und natürlich geht es implizit auch in dieser Studie – wie schon in der vorangehenden – darum, wie talentierte und motivierte junge Menschen

für diesen verantwortungs- und anspruchsvollen, interessanten Mangelberuf *Physiklehrer* gewonnen werden können: die dafür erforderlichen Kompetenzen reichen von soliden Fachkenntnissen über fachdidaktische Fähigkeiten bis hin zu pädagogischen Qualitäten. Gerade im naturwissenschaftlich-technischen Bereich konkurriert der Lehrerberuf im Wettbewerb um begabte und fähige Nachwuchskräfte mit einer Fülle von auch finanziell hoch attraktiven Berufskarrieren in Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung.

Diese Studie wendet sich primär an drei Adressatengruppen, nämlich an die Bildungspolitik, an die zuständigen Schulverwaltungen der 16 Bundesländer und an die wichtigsten Akteure vor Ort: an die Physiklehrerinnen und Physiklehrer. Im Zentrum der hier vorgetragenen Überlegungen, Ratschläge und Forderungen steht der Aufruf, *Physik in der Schule neu zu denken*. Die Studie macht deshalb sehr konkrete Vorschläge zur Gestaltung des Physikunterrichts und für die Inhalte von Lehrplänen, die jedoch viel Freiheit für die Umsetzung und Konkretisierung im Unterricht lassen – denn es sind die Lehrer und Lehrerinnen, auf deren Kompetenz, Engagement und Freude an ihrem Tun es vor allem ankommt, wenn wir einen modernen und nachhaltigen Physikunterricht erwarten, an dem auch die Schülerinnen und Schüler gerne teilnehmen.

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG) wünscht sich, dass diese Empfehlungen in allen 16 Bundesländern auf fruchtbaren Nährboden fallen und in absehbarer Zukunft auch zu einer Harmonisierung der derzeit noch sehr unterschiedlichen Physiklehrpläne führen mögen. Dies wäre zugleich ein Beitrag zur immer wieder geforderten Mobilität der Menschen in diesem Lande, speziell derer mit schulpflichtigen Kindern. Dazu brauchen wir vor allem eine neue Kultur der Transparenz beim Erstellen und Ändern von Rahmenlehrplänen in *allen* Bundesländern: wie die Jugend in unserem, auf Naturwissenschaft und Technik so angewiesenen Lande im Fach Physik ausgebildet wird, darf nicht hinter verschlossenen Türen in ausgewählten Expertengremien verhandelt, sondern muss auf nachvollziehbare Weise in einer breiten Fachöffentlichkeit ausdiskutiert werden. Die DPG als die Fachgesellschaft für Physik mit ihren über 60 000 Mitgliedern ist bereit, daran engagiert und aktiv mitzuwirken.

Mit der hier vorgelegten Studie wollen wir einen ersten Beitrag zu diesem wichtigen Prozess leisten.

Wir danken sehr herzlich allen, die zum Gelingen dieser Studie beigetragen haben. Unser ganz besonderer Dank gilt der Wilhelm und Else Heraeus Stiftung, die dieses Vorhaben finanziell großzügig unterstützt hat.

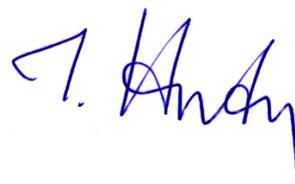
Heidelberg, Marburg und Berlin, im Januar 2016



Johanna Stachel
(Vizepräsidentin der DPG)



Siegfried Großmann



und Ingolf Hertel

(Koordinatoren der Autorengruppe)

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
1 Physik und Bildung	7
1.1 Physik und Allgemeinbildung	8
1.2 Physikunterricht ist unverzichtbar	9
1.3 Bildung, Bildungsstandards und Kompetenzen	11
1.4 Technik und Physik in der Schule	13
1.5 Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht	14
1.5.1 Grundsätzliche Überlegungen	14
1.5.2 Das Überlapp-Modell der GDNÄ	15
1.6 Schlussfolgerungen	17
2 Physikunterricht heute	19
2.1 Nationale Bildungsstandards	19
2.2 Stundentafeln im Ländervergleich	21
2.2.1 Stundentafeln bis zum mittleren Schulabschluss	22
2.2.2 Stundentafeln für die Sekundarstufe II	23
2.2.3 Fazit aus den Stundentafeln	24
2.3 Lehrpläne der Bundesländer im Vergleich	26
2.3.1 Übersicht	26
2.3.2 Länderspezifische Aspekte der Lehrpläne	31
2.3.3 Quellen	32
2.4 Internationaler Vergleich	33
2.4.1 PISA	33
2.4.2 USA	34
2.4.3 Finnland	35
2.4.4 Schweiz	35
2.4.5 Schweden	36
2.4.6 Australien	36
2.5 Physikunterricht heute: Probleme und Chancen	36
2.5.1 Was sind die Probleme?	36
2.5.2 Handlungsfelder und Chancen	37
2.5.3 Attraktivität des Lehrerberufs und Arbeitsbedingungen	39
2.5.4 Lehrerfortbildung	41
2.6 Zusammenfassung und Folgerungen	45
2.7 Erfordernisse für einen nachhaltigen Physikunterricht	47
3 Physik in der Schule neu denken	49
3.1 Die fachspezifischen Inhalte im Überblick	50
3.1.1 Die aktuelle Situation	50
3.1.2 Einige Grundgedanken zur Gestaltung von Lehrplänen	55

3.1.3	„Unverzichtbare“ Inhalte des Schulfachs Physik? . . .	56
3.2	Basiskonzepte – Methoden – Kontexte	58
3.2.1	Basiskonzepte (B)	60
3.2.2	Methoden (M)	61
3.2.3	Kommunikation und Bewertung	62
3.2.4	Kontexte (K)	63
3.3	Inhaltliche Konkretisierung der vier Basiskonzepte	64
B-M	Basiskonzept <i>Materie</i>	65
B-K	Basiskonzept <i>Kräfte und Wechselwirkungen</i>	68
B-E	Basiskonzept <i>Energie</i>	72
B-S	Basiskonzept <i>Schwingungen und Wellen</i>	74
3.4	Zur Entwicklung von Lehrplänen	77
3.4.1	Der Gestaltungsrahmen	77
3.4.2	Zur Gewichtung der Schwerpunkte	79
3.4.3	Zur zeitlichen Abfolge der Module	81
3.4.4	Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe (Sek II)	84
3.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	85
4	Physik für morgen – Schule von heute	87
4.1	Physik in Kontexten	89
4.2	Natur der Naturwissenschaften – Nature of Science	90
4.3	Interesse am und im Physikunterricht	92
4.4	Mädchen im Physikunterricht	95
4.5	Besondere Aspekte des Physikunterrichts	97
4.5.1	Aufgabenkultur	97
4.5.2	Unterschiede zwischen Alltags- und Fachsprache, Anspruchsniveau	98
4.5.3	Stofffülle, Themenauswahl und inhaltliche Gliederung	99
4.5.4	Das „Unterrichtsdrehbuch“	100
4.5.5	Lernen, Wissen und Verstehen	101
4.6	Experimentieren im Physikunterricht	102
4.7	Zur Rolle der Mathematik im Physikunterricht	104
4.8	Computer und Nutzung digitaler Medien	108
4.8.1	Digitale Medien und Schulunterricht	108
4.8.2	Computersteuerung von Experimenten	113
4.8.3	Simulationen und Animationen	113
4.9	Begabtenförderung	116
4.10	Empfehlungen für den Physikunterricht	120
	Schlussbemerkungen	123
	Anhänge	127
	Verweis auf Online-Dokumente	127
	Akronyme und Glossar	127
	Quellenverzeichnis	139

Einführung

Es besteht ein breiter gesellschaftlicher Konsens, dass Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (die sog. MINT-Fächer) für die Prosperität unserer hoch technisierten Gesellschaft in einem rohstoffarmen Land von entscheidender Bedeutung sind, und dass diese Fächer in den allgemeinbildenden Schulen in angemessener Breite und Tiefe gelehrt und gelernt werden sollen. Physik ist dabei ein anerkannt zentraler Bestandteil. Doch schon bei der Frage, wie weit diese Fächer zur „Bildung“ eines mündigen Staatsbürgers in unserem Lande gehören, findet man nach wie vor gemischte Äußerungen der einschlägigen Autoritäten. So tauchen MINT-Themen in dem berühmt-berüchtigten Buch von SCHWANITZ (2002) („Bildung: Alles, was man wissen muss“), wenn überhaupt, allenfalls randständig auf. Und immer wieder muss man auch heute noch erleben, dass maßgebliche Persönlichkeiten aus Kultur und öffentlichem Leben mit Aussagen wie „in Mathematik und Physik war ich in der Schule immer schlecht“ kokettieren.

Dazu passt es durchaus, dass das Schulfach Physik (bei allem Respekt, den ihm die Schüler zollen) zu den unbeliebtesten Fächern in der Schule überhaupt gehört. Dass dieser höchst bedauerliche Befund mit dem von der deutschen Wirtschaft massiv beklagten Mangel an naturwissenschaftlich-technischen Fachkräften und entsprechendem Nachwuchs (zumindest) korreliert, scheint plausibel. Denn es ist nicht zuletzt die Physik, welche wichtige Grundlagen für die übrigen Naturwissenschaften und für die Technik bereitstellt. Das Schulfach Physik soll den heranwachsenden Staatsbürgern Wissen und Fähigkeiten vermitteln, die für ein wissenschaftsbasiertes Verständnis und die Teilhabe an den Entwicklungen einer modernen Industriegesellschaft unverzichtbar sind.

Woran liegt es also, dass Physik als so schwierig und wenig schülernah empfunden wird, wie kann diese Wahrnehmung im positiven Sinne verändert

Die MINT-Fächer sind für die Prosperität unserer hoch technisierten Gesellschaft in einem rohstoffarmen Land von entscheidender Bedeutung. Sie müssen daher in den allgemeinbildenden Schulen in angemessener Breite und Tiefe gelehrt und gelernt werden. Physik ist dabei ein anerkannt zentraler Bestandteil.

Leider gehört Physik zu den unbeliebtesten Schulfächern überhaupt. Die hier vorgelegte Studie will einen Beitrag dazu leisten, dass sich das ändert.

Bemerkung zum Sprachmodus (gilt für die gesamte Studie): Im Text dieser Studie versuchen wir möglichst geschlechtsneutral zu formulieren, wo immer dies ohne sprachliche Stolpersteine möglich ist. Wir werden also häufig von Studierenden und Lehrkräften usw. sprechen. Allerdings werden wir im Sinne einer guten, kompakten Lesbarkeit nicht auf das generische Maskulinum verzichten. *Gemeint sind aber stets weibliche wie auch männliche Personen*, wenn wir von Schülern, Lehrern, Lesern, Lehrermangel, Lehrerfortbildung usw. sprechen.

2014 hat die DPG detaillierte Vorschläge für eine zeitgemäße Lehramtsausbildung im Fach Physik gemacht. Mit der jetzt vorgelegten Studie will sie einen Anstoß dafür geben, *Physik in der Schule neu zu denken*.

Die Studie richtet sich 1. an die Bildungspolitik ganz allgemein, 2. an die für die Erstellung von Rahmenlehrplänen Verantwortlichen und 3. an die in der Schule aktiven Physiklehrerinnen und -lehrer.

werden, und insbesondere, wie kann die Gestaltung des Physikunterrichts dazu beitragen? „Auf die Lehrer kommt es an“, sagt dazu der inzwischen auch hierzulande berühmt gewordene australische Erziehungswissenschaftler HATTIE (2012). Die Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG) hat schon 2006 die Modalitäten für die Ausbildung zum Lehramt in den Blick genommen, und in einer aktuellen Studie (DPG-AUTORENTEAM, 2014) detaillierte Vorschläge für eine zeitgemäße Lehramtsausbildung im Fach Physik gemacht. Der konsequente nächste Schritt muss es nun sein, die Situation des Physikunterrichts an unseren Schulen selbst zu untersuchen und konkrete Verbesserungsvorschläge zu machen. Mit der hier vorgelegten Studie will die DPG einen Anstoß dafür geben, *Physik in der Schule neu zu denken*.

Die Studie stellt ein innovatives Konzept für einen zeitgemäßen, nachhaltigen Physikunterricht in den allgemeinbildenden Schulen vor – mit dem Schwerpunkt Sekundarstufe I und II (Sek I und Sek II). Sie wendet sich primär an drei Adressatenkreise: Zunächst ist natürlich die Bildungspolitik ganz allgemein angesprochen, die durch angemessene Rahmenbedingungen, Sach- und Personalausstattungen überhaupt erst die Grundlage für einen guten Physikunterricht schaffen muss. Zum Zweiten soll all jenen, die in Ministerien, Schulämtern und Beratergruppen für die Entwicklung und Ausgestaltung von Lehrplänen im Fach Physik verantwortlich sind, ein Leitfaden vorgestellt werden, der aus fachphysikalischer und fachdidaktischer Sicht eine kohärente, attraktive, moderne Vermittlung des Fachs Physik ermöglicht. Schließlich sollen für die aktiv in den allgemeinbildenden Schulen Physik Unterrichtenden praktikable Wege für die immer wieder geforderte, exemplarische Auswahl von Fachinhalten aus einer überwältigenden Stofffülle aufgezeigt werden. Zugleich werden praktische Hinweise für die Nutzung moderner Unterrichtskonzepte und Strategien zur Überwindung von Problemen speziell im Physikunterricht vorgestellt. Konkrete Anstöße für den erhofften und gewollten Veränderungsprozess werden wohl von der Basis kommen müssen („auf die Lehrer kommt es an“). Es ist aber zu hoffen, dass die notwendige Neugestaltung und Harmonisierung der Lehrpläne auch „von oben“ (Bildungsverwaltungen, KMK) koordiniert und verbindlich geregelt wird.

Hintergrund dieser Studie sind die Bildungsstandards der KMK aus dem Jahr 2004, die (letztlich als Antwort auf das schlechte Abschneiden deutscher Schülerinnen und Schüler bei den internationalen PISA2000 Tests) seither Grundlage für die Lehrplangestaltung an allen allgemeinbildenden Schulen in den 16 deutschen Bundesländern sind. Auch für das Fach Physik (wie für alle Naturwissenschaften) wurden dabei Standards beschlossen. Ein wesentliches, sehr begrüßenswertes Element dieser Standards ist die Wendung weg vom bloßen Faktenlernen hin zur Vermittlung von Kompetenzen beim Umgang mit diesem Fachwissen, bei seinem Erwerb, seiner Kommunikation und bei der Bewertung physikalischer Sachverhalte in fachlichen und gesellschaftlichen Kontexten.

Worauf die KMK aber im Jahr 2004 verzichtete, war eine Verständigung auf die zu behandelnden fachinhaltlichen Schwerpunkte: Vermittlung von

Kompetenzen, ohne sich auf eine verbindliche, gemeinsame Grundlage für die zu vermittelnden Fachinhalte festzulegen! – Inzwischen haben praktisch alle 16 Bundesländer in Deutschland die Bildungsstandards der **KMK** auf ihre jeweils spezifische Weise umgesetzt, und die Lehrkräfte des Fachs Physik beklagen bundesweit eine nicht zu bewältigende Überfrachtung der Lehrpläne mit Inhalten.

Die hier vorgelegte Studie greift diese Probleme auf und stellt Lösungsansätze und Konzepte für die künftige Gestaltung von Physiklehrplänen und Physikunterricht in unseren Schulen vor, basierend auf einer detaillierten Analyse der aktuellen Situation. Bei unserer Arbeit haben wir, die von der **DPG** eingesetzte Autorengruppe, uns stark inspirieren lassen von den „Next generation science standards“ (**NGSS, 2013**), die sich in den USA gerade in der Einführungs- bzw. Erprobungsphase befinden. Auch wenn sich dieses amerikanische Konzept nicht im Detail auf die deutsche Bildungswirklichkeit abbilden lässt, so bietet es doch eine Fülle von überzeugenden Anregungen, welche wir für erprobenswert halten. Wir haben versucht, sie sinnvoll an unsere Gegebenheiten anzupassen, sie geeignet zu ergänzen oder zu modifizieren.

Vorbildlich an der Entwicklung der **NGSS (2013)** ist auch das höchst transparente Verfahren, in dem diese in den USA entwickelt wurden: geführt von einer öffentlich bekannten und hoch renommierten Gruppe weltweit anerkannter Experten (unter ihnen mehrere Nobelpreisträger) und unter Beteiligung eines breiten, sachverständigen Publikums, das in mehreren Zyklen zur Kommentierung des jeweils erreichten Planungsstandes eingeladen wurde. Für die Bundesrepublik Deutschland können wir uns ein ähnlich transparentes, länderübergreifendes Verfahren nur wünschen.

Der Hauptteil der Studie ist in vier Kapitel gegliedert: **Kapitel 1** widmet sich dem Bildungsauftrag der Physik in der Schule. In **Kapitel 2** wird die aktuelle Situation der Physik in der Schule in unseren 16 Bundesländern untersucht. Das zentrale **Kapitel 3** entwickelt sodann Vorschläge für eine Neugestaltung der Lehrpläne mit dem Ziel, einen als kohärent wahrnehmbaren, attraktiven Physikunterricht zu ermöglichen. **Kapitel 4** schließlich stellt eine Reihe von Handlungsoptionen und Ratschlägen für den praktischen Gebrauch im heutigen Physikunterricht zusammen, die insgesamt dazu beitragen können, nachhaltigen – und hoffentlich auch beliebten – Physikunterricht an unseren Schulen zu vermitteln.

Ergänzend präsentiert die **Anlage Basiskonzepte** einen umfassenden Vorschlag für eine neu strukturierte Auswahl von fachlichen Inhalten. Dies soll als Vorstufe für einen konkreten Rahmenlehrplan Physik in **Sek I** und **Sek II** verstanden werden, und wird im Detail noch zu erproben und ggf. zu modifizieren sein.

Eine umfangreiche Dokumentation der benutzten und erarbeiteten Materialien, so auch eine Übersicht über die aktuellen Lehrpläne Physik der 16 Bundesländer, ist **separat in den Anhängen** zusammengestellt.

Am Ende jedes Teils der Studie findet man eine Zusammenstellung und Erklärung der verwendeten Akronyme sowie ein Glossar für einige spezifische, öfter benutzte Fachbegriffe. Ein umfassendes Quellenverzeichnis

Die Studie greift die Probleme übergroße Stofffülle, fehlende länderübergreifende Übereinkunft zu den fachlichen Inhalten der Lehrpläne und Unbeliebtheit des Fachs Physik auf und macht Vorschläge zu deren Überwindung.

Die Studie „Physik in der Schule“ besteht insgesamt aus vier Teilen:
1. Hauptteil,
2. dazu gehörige Zusammenfassung,
3. Anlage Basiskonzepte und
4. Anhänge mit vielen Detailinformationen.

gibt detaillierte Auskunft über die benutzte Literatur und die verwendeten Internetseiten.

Jedes der nun folgenden vier Kapitel schließt mit den jeweils wichtigsten Schlussfolgerungen und Forderungen, die sich aus den Analysen und Überlegungen ergeben. Sie sind insgesamt in die [Zusammenfassung](#) eingeflossen.

Hier stellen wir vorab die zentralen Kernaussagen der Studie noch einmal kurz zusammen:

Die Studentafeln Physik müssen sich an den [Best Practice](#) Beispielen orientieren.

Die Lehrinhalte müssen drastisch reduziert werden.

Die Begriffe „exemplarisches Lehren und Lernen“ müssen konkretisiert werden.

Physikunterricht muss die großen Zusammenhänge des Faches deutlich machen.

Die Basiskonzepte werden neu interpretiert. So dienen sie der konsequenten Gliederung des gesamten Lehrstoffes und unterstützen [kumulatives Lernen](#).

- Wir fordern für die Studentafeln Physik Orientierung an einem [Best Practice](#) Beispiel (etwa am Freistaat Sachsen) mit mindestens 10 Wochenstunden Physik kumuliert über die ganze [Sek I](#) und einem verpflichtenden Grundkurs Physik in der [Sek II](#) von insgesamt mindestens 4 Wochenstunden.
- Trotzdem müssen wir – angesichts der gewaltigen Stofffülle, der großen Heterogenität der Lernenden und der weit über die reine Wissensvermittlung hinausgehenden Anforderungen an den Physikunterricht – Abschied von der Idee nehmen, dass Physik in der Schule in ihrer fachkanonischen Gänze vermittelt werden könnte – und sei es auf einem noch so elementaren Niveau. Die Lehrpläne müssen dramatisch reduziert werden. Wesentliche Aspekte der Physik sind beispielhaft zu vermitteln.
- Bei den Bemühungen um die notwendigen Beschränkungen in den Lehrplänen reicht es aber nicht aus, auf das Prinzip des „exemplarischen Lehrens und Lernens“ zu verweisen. Dies muss (zumindest beispielhaft) konkretisiert werden. Wir, die [DPG](#), die Fach-Physiker und -Didaktiker dürfen Lehrplangestalter und Lehrer bei dieser enorm schwierigen Aufgabe nicht allein lassen.
- Es gilt, die großen Zusammenhänge des physikalischen Tuns und Wissens aufzuzeigen. Physik muss über die ganze Schulzeit hinweg von einigen wenigen „roten Fäden“ durchwirkt sein. Die von der [KMK \(2004\)](#) dafür einmal angedachten Basiskonzepte müssen überdacht, ergänzt und mit neuem Inhalt gefüllt werden.
- Die Anregung der Studie, *Physik in der Schule neu zu denken*, wird durch ein kohärentes Orientierungsschema für künftige Lehrpläne konkretisiert, das [kumulatives Lernen](#) besonders unterstützt. Es soll sich in drei „Dimensionen“ entfalten: (*B*) *Basiskonzepte*, (*M*) *Methoden* und (*K*) *schülernahe und gesellschaftsrelevante Kontexte*. Die hier konsequent benutzten vier Basiskonzepte werden als Weiterentwicklung der entsprechenden Begriffe aus den [KMK \(2004\)](#)-Bildungsstandards verstanden. Sie entsprechen vier physikalischen Kernideen:

B-M	Materie
B-K	Kräfte und Wechselwirkungen
B-E	Energie
B-S	Schwingungen und Wellen

- Es ist nicht Aufgabe der Schulphysik, speziell auf das Studium des Fachs Physik vorzubereiten. Physik in der Schule soll vielmehr ein Grundverständnis der wichtigsten physikalischen Begriffe und Konzepte vermitteln und Kompetenzen für den Umgang damit aufbauen, u.a. als Basis für
 - die Studierfähigkeit insgesamt und insbesondere auch für das Studium von Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (der sogenannten **MINT** Fächer),
 - eine rationale, moderne Sicht auf unsere Welt und Aufgeschlossenheit für Naturwissenschaft und Technik,
 - gesellschaftliche Partizipation in unserer darauf basierenden, heutigen Industriegesellschaft („mündiger Staatsbürger“).
- Physik soll als faszinierendes und spannendes Forschungsfeld dargestellt werden, mit viel Relevanz für das Verständnis von Alltagsproblemen, für die Probleme der Umwelt und als Grundlage der Technik. Die Schulphysik vermittelt dazu die wichtigsten physikalischen Begriffe und illustriert beispielhaft die Bedeutung der Physik im Alltag. In diesen Rahmen gehören auch moderne Inhalte in den Physikunterricht – von der **Sek I** an (!). Sie dürfen in der **Sek I** nicht länger mit dem Verweis auf die Oberstufe weitgehend umgangen werden.
- So wichtig die Vermittlung von Kompetenzen in der Schulphysik ist: Sie können nicht losgelöst von fachlichen Inhalten vermittelt oder abgeprüft werden. Fachinhalte sind die Basis für die Ausbildung von Kompetenzen!

Physik in der Schule soll ein Grundverständnis der wichtigsten physikalischen Begriffe und Konzepte vermitteln

Physik muss als faszinierendes, modernes und spannendes Forschungsfeld vermittelt werden, das von zentraler Bedeutung für das Verständnis und die Lösung der Probleme des Alltags, der Umwelt und der Technik ist.

Überblick

Im 21sten Jahrhundert gehören Naturwissenschaften und insbesondere Physik unzweifelhaft zur Allgemeinbildung und sind im Unterricht aller allgemeinbildenden Schulen unverzichtbar. Diese Einsicht bildet die Basis für die gesamte, hier vorgelegte Studie. In Abschn. 1.1 soll daher zunächst geklärt werden, wie wir den Begriff Allgemeinbildung verstehen wollen, während in Abschn. 1.2 die spezifische Rolle des Schulfachs Physik für das unterrichtete Individuum einerseits und für die Gesellschaft als Ganze andererseits angesprochen wird. In Abschn. 1.3 erläutern wir kurz den Begriff „Bildungsstandards“ und skizzieren in Umrissen die grundsätzlichen Herausforderungen, vor denen ein moderner Physikunterricht heute steht. In Abschn. 1.4 analysieren wir die Beziehung zwischen Physik und Technik und in Abschn. 1.5 werden die Chancen und Gefahren eines fachübergreifenden Unterrichts in den Naturwissenschaften diskutiert. Schließlich fassen wir in 10 Punkten das Diskutierte zusammen (Abschn. 1.6).

„Physik bildet“. Mit diesem Bekenntnis beginnt Kapitel 1 der DPG-Studie *Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik* (DPG-AUTORENTEAM, 2014). Dieses Grundbekenntnis ist Rechtfertigung und Zielsetzung auch für den Physikunterricht in unseren allgemeinbildenden Schulen. Bildungswert und Bildungscharakter der Physik sind in der Denkschrift der DPG (2001) überzeugend dargestellt worden, insbesondere in den Thesen 2 und 3 sowie im Kapitel 6 *Physik in Lehre und Ausbildung*. Dieses Grundbekenntnis „Physik bildet“ soll und muss auch für die hier vorgelegte Studie *Physik in der Schule* Leitlinie und Rahmen sein.

Bevor wir hierauf unsere Analysen und Empfehlungen zur Physik in der Schule gründen, seien noch einmal die wichtigsten Gedanken aus Kapitel 1 der Lehramtsstudie (DPG-AUTORENTEAM, 2014) zusammengestellt:

„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

“Physik ist eine lebendige Wissenschaft. Sie erkennt, beschreibt und überprüft immer wieder einheitliche Gesetzmäßigkeiten im Aufbau und in den Abläufen der Naturphänomene und der materiellen Welt“ (DPG-AUTORENTEAM, 2014).

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 Bildung 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 $E = h \cdot f$. Zugleich aber vermittelt sie ein Gespür für die Gefahren, die manche Früchte des Baums dieser Erkenntnisse in sich bergen. [..]“

„Physikunterricht soll diesen lebendigen Geist der Aufklärung durch eigenes Tun vermitteln, [..] Physikunterricht ist keine Anhäufung von trockenem (trägem) Faktenwissen, ist nicht allein auf Inhalte fixiert. Er soll Neugier wecken, Wissensdurst und Tatendrang 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‘. [..]“

„Schon immer hatte guter Physikunterricht zum Ziel, dass Schüler¹ im Ergebnis des Lernprozesses nicht bloß Fachkenntnisse rezipiert haben, sondern diese auch verstehen und vor allem anwenden und beurteilen können.“

1.1 Physik und Allgemeinbildung

Physikunterricht muss sich primär an den individuellen Bedürfnissen der Schüler orientieren. Da er wesentliche Voraussetzungen für die Entwicklung eines Weltbildes schafft und auch technische, ökonomische sowie umweltpolitische Themen anspricht, leistet er einen essentiellen Beitrag zur Selbstbestimmung und zur gesellschaftlichen Teilhabe der Lernenden.

Das Thema Physik und Bildung bzw. Allgemeinbildung hat viele Vordenker. Einer der wichtigsten – wenn auch nicht unumstrittenen – ist Martin WAGENSCHNEIDER. Sein erstmals 1962 erschienenes Buch ist nach wie vor lesenswert und hat uns inspiriert (als posthume Neuauflage 1995 verfügbar; eine umfassende Bibliographie findet man unter WAGENSCHNEIDER, 2009). Wir verweisen ferner auf MUCKENFUSS (1995), ZENNER (2010) sowie dort zitierte Quellen.

Schulisches Lernen für die stetige Entwicklung einer allgemeinen Bildung soll vor allem an den Bedürfnissen der Schülerinnen und Schüler orientiert sein. Zugleich ist es auch den kulturellen, gesellschaftlichen, politischen und ökonomischen Erfordernissen der Gesellschaft verpflichtet. Physikunterricht ist ein zentrales Element für beides. Er rechtfertigt sich durch seinen Beitrag zur fundamentalen Aufgabe der Schule in einer hochkomplexen, modernen Gesellschaft, die von Naturwissenschaft und Technik wesentlich geprägt ist. Der schulische Physikunterricht beruht also auf einem von der Gesellschaft getragenen Konsens über die Allgemeinbildung.

Ziel der allgemeinbildenden Schule in unserer freiheitlich und demokratisch verfassten Gesellschaft ist es, jedem Bürger sowohl die Kenntnisse

¹generisches Maskulinum, siehe Bemerkung zum Sprachmodus S. 1

als auch Haltungen und Kompetenzen zu vermitteln, die notwendig sind, ein selbstbestimmtes und erfülltes Leben in dieser Gemeinschaft zu führen. Außerdem muss jeder befähigt sein, staatlich und gesellschaftlich bedeutsame Sachverhalte zu verstehen und auf einem gewissen Niveau mitbeurteilen und den wesentlichen Argumenten folgen zu können, um die in einer Demokratie verbürgten Rechte der Mitbestimmung auf einer rationalen Basis wahrnehmen zu können. Kompetenzen in den Naturwissenschaften, insbesondere in der Grundlagenwissenschaft Physik, ermöglichen und helfen den lernenden Jugendlichen, dieses Niveau zu erreichen.

Wir betonen, dass es hier um Allgemeinbildung im Sinne einer Bildung für jeden geht und nicht primär um die Vorbereitung der beruflichen Bildung – auch wenn diese Allgemeinbildung wesentlich zur späteren Ausbildung in sehr vielen Berufsfeldern beitragen wird.

So gerechtfertigt aus Sicht einzelner Wirtschafts- und Berufszweige oder der Hochschulen der Wunsch erscheinen mag, von den Schulabgängern bereits gewisse Grundlagen beruflicher Bildung erwarten zu können, so sehr muss sich die allgemeinbildende Schule im Interesse ihres Bildungsauftrags dagegen verwahren, einzelne, berufstypische Spezialinhalte in ihren Kanon aufzunehmen, da es hier keine allgemein akzeptierten Kriterien gibt, die es erlauben, dem einen für eine Berufsgruppe wichtigen Inhalt dem einer anderen Berufsgruppe vorzuziehen.

„Naturwissenschaftliche Bildung ermöglicht dem Individuum eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung über technische Entwicklung und naturwissenschaftliche Forschung und ist deshalb wesentlicher Bestandteil von Allgemeinbildung.“
(KMK, 2004, S. 6)

1.2 Physikunterricht ist unverzichtbar

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Kennzeichen von Allgemeinbildung lassen sich zwei Blöcke konkreter Legitimationsargumente für den Physikunterricht identifizieren (BLEICHROTH *et al.*, 1999), die sich in den Bildungswissenschaften und speziell in der Didaktik der Physik als hilfreich für alle Diskussionen in diesem Zusammenhang erwiesen haben:

- (a) Bedürfnisargumente und (b) Bedarfsargumente

Wir beschreiben die beiden Gruppen von Argumenten wie folgt:

- (a) Argumente für die Bedürfnisse junger Menschen (auch *Orientierungswissen*, nach MUCKENFUSS, 1995) betonen das Recht der Jugendlichen auf Orientierungshilfe bei der Vorbereitung auf ihr späteres Berufsleben ebenso wie auf Unterstützung beim Zurechtfinden in der fast unübersehbaren Vielfalt von möglichen Sichtweisen auf die Welt.

Schüler entwickeln ihre Interessen und Fähigkeiten weiter und erwerben durch eine physikalische Grundbildung zugleich Hilfen für Entscheidungen, bei denen solche Kompetenzen nützlich sind. Sie gewinnen also durch die physikalische Grundbildung höhere individuelle Chancen für ihre berufliche Lebensplanung.

Zugleich erwerben die Schüler ein Verständnis ihrer Stellung in der ihnen begegnenden und erlebten Welt: In der Fülle von während der kulturellen Entwicklung entstandenen, verschiedenen Sichtweisen auf die Welt und ihren vielfältigen wissenschaftlichen und künstlerischen

Allgemeinbildung durch Physikunterricht befriedigt zweierlei Arten von Ansprüchen: (a) das individuelle Bedürfnis der Schüler nach Orientierung in einer komplexen Welt, auch in Hinblick auf die spätere Berufswahl, und (b) den gesellschaftlichen Bedarf

an möglichst vielen naturwissenschaftlich und technisch verständigen und aufgeschlossenen Bürgern.

Ausformungen haben die Schüler einen Anspruch auf eine Unterstützung bei der Bestimmung ihres eigenen Standorts in der Gesellschaft. Die Physik bietet in der Vielfalt der Wissenschaften ein Paradigma für die exakten Naturwissenschaften mit ganz spezifischen Eigenschaften beim Aufbau und bei der Sicherung ihres Erkenntnisstands.

- (b) Bedarfsargumente (auch *Verfügungswissen*, nach MUCKENFUSS, 1995) beziehen sich auf das gesellschaftliche Interesse, dass möglichst viele Menschen die Sachverhalte ihrer naturwissenschaftlich-technischen Umwelt verstehen, bereit sind, sich an der Fortentwicklung des Erkenntnisstands zu beteiligen und Zugang zu entsprechenden Berufen finden können. In bildungspolitischen Zielsetzungen wird darauf hingewiesen, dass für eine aktive Beteiligung an Entscheidungsprozessen in der Gesellschaft vielfach naturwissenschaftliche Kenntnisse notwendig sind.

Unsere Gesellschaft benötigt fachlich ausgebildete Naturwissenschaftler und Techniker, um den durch stetige Forschung und Entwicklung in Naturwissenschaften und Technik erreichten Lebensstandard zu erhalten, weiterzuentwickeln und sich gegenüber der Konkurrenz anderer Gesellschaften oder Gesellschaftsformen zu behaupten. Politische Bedarfsargumente zielen auf die Kompetenzen, die für eine Teilhabe des Individuums an gesellschaftlichen Prozessen notwendig sind und deren Verständnis ein gewisses Maß an naturwissenschaftlichen Kenntnissen erfordert.

In einer „zusammenfassenden Bewertung“ haben BLEICHROTH *et al.* (1999) die gewichtigsten Argumente für einen Physikunterricht in der Schule zusammengetragen. Sie schreiben:

Ohne Zugang zur Physik würden Menschen konkrete Erfahrungsmöglichkeiten vorenthalten, sie würden von bestimmten Kommunikationsanlässen ausgeschlossen und im Zugang zu zahlreichen Berufsfeldern eingeschränkt.

Gesamtgesellschaftlich gesehen ist physikalisch-technisches Wissen eine wichtige Voraussetzung für die Innovationsfähigkeit unserer Volkswirtschaft.

1. *„Physik ist eine paradigmatische Grundlagenwissenschaft, und zwar hinsichtlich ihrer Arbeitsweisen wie hinsichtlich ihrer Ergebnisse. Einen Zugang zu ihr nicht anzubieten, würde bedeuten, [den Schülern] menschliche Erfahrungs- und Entfaltungsmöglichkeiten vorzuenthalten.“*
2. *Auch würden dadurch für das Leben entscheidende Bereiche aus der Kommunikationsgemeinschaft ausgeschlossen.*
3. *Die Mehrheit der Menschen hätte [ohne Physik in der Schule] keine Chance, Bereiche rational zu kontrollieren, die tief in ihr Leben eingreifen.*
4. *Weiterhin würde der Zugang zu Berufen mit naturwissenschaftlichen Komponenten eingeschränkt. [... Dies würde] viele Talente aus diesem Bereich fernhalten und die Basis für die Unterstützung des für die wirtschaftliche Entwicklung notwendigen Bereichs der physikalischen Forschung und Entwicklung in breiten Schichten der Bevölkerung schwächen.*
5. *Solange es konkurrierende Unternehmen und Nationalwirtschaften gibt, wird physikalisch-technische Innovationsfähigkeit für wirtschaftlichen Wohlstand entscheidend sein. Was im Physikunterricht behandelt wird, kann nicht nur durch seinen unmittelbaren Nutzen gerechtfertigt*

werden. Man muss es auch als Basis sehen, auf der späteres Weiterlernen möglich ist bzw. sehr erleichtert wird.“

1.3 Bildung, Bildungsstandards und Kompetenzen

In der aktuellen Diskussion über Bildungsziele und Bildungsinhalte spielt der Kompetenzbegriff eine zentrale Rolle. Sowohl in den Bildungsstandards der **KMK (2004)** als auch (darauf aufbauend) in den Lehrplänen der Bundesländer wird der Erwerb von Kompetenzen als wesentliches Ziel des Unterrichts bezeichnet. Die gesellschaftliche Bildungsdiskussion hat zur Entwicklung von deutschlandweiten Bildungsstandards geführt. In ihnen kondensieren sich die Vorstellungen über Inhalte und Selbstverständnis von Bildung heute. Da sie für den Physikunterricht rahmengebend sind, werden sie in Kap. 2.1 ausführlich behandelt.

Hier sei bereits darauf hingewiesen, dass unter „Kompetenzen“ neben Fachwissen zugleich die jeweils fachspezifischen Methoden verstanden werden, dieses zu erwerben (Erkenntnisgewinnung), es adressatengerecht und sachbezogen zu kommunizieren und zur Bewertung physikalisch-technischer und gesellschaftlicher Entscheidungen einzusetzen. Dies entspricht dem Stand der internationalen Diskussion. So werden in den *Next Generation Science Standards NGSS (2013)* der USA „Methoden“² als erste von drei Dimensionen des naturwissenschaftlichen Unterrichts genannt. Auf die **NGSS** kommen wir in Kap. 2.4 zurück und behandeln sie in **Anhang E.2** zum Vergleich mit den deutschen Ansätzen etwas ausführlicher.

Wir weisen hier ausdrücklich darauf hin, dass die voranstehend entfalten Überlegungen zur Bildung über das Kompetenzverständnis hinausgehen. Während der Begriff Kompetenz in den amtlichen und bildungswissenschaftlichen Verlautbarungen häufig die Handlungsfähigkeit aufgrund erworbenen Wissens und Könnens oder von Einsichten und Anwendungsfähigkeit als Ziel pädagogischer Maßnahmen betrachtet, also eher von einem funktionalistischen Grundverständnis getragen wird, orientiert sich Bildung im historisch gewachsenen Verständnis nicht nur an den Erfordernissen der Gesellschaft, sondern fördert die Selbstbestimmtheit des heranwachsenden Individuums. Bildung findet statt, wenn die Heranwachsenden Situationen erleben, in denen ihre Sicht auf die (Um-)Welt zur Bestätigung führt oder zum Erweitern herausgefordert wird.

Die hohen Ansprüche an den Bildungswert des Schulfachs Physik, die wir in den vorangehenden Abschnitten deutlich gemacht haben, sollten sich natürlich in den Bildungsstandards sowohl bezüglich der fachlichen Inhalte als auch bei einer Konkretisierung der Kompetenzerwartungen niederschlagen. Dies bedeutet auch, dass der Unterricht bereits in der **Sek I** nicht bei der Physik des 18ten und 19ten Jahrhunderts Halt machen darf: nur ein kleiner Teil aller Schüler wird sich in der **Sek II** überhaupt noch ernsthaft mit Physik beschäftigen (**HEISE et al., 2014**). Wenn wir es ernst meinen mit dem Anspruch der Physik, im 21sten Jahrhundert ein unverzichtbarer Teil der

Bildung im hier verstandenen Sinne geht über den Kompetenzbegriff hinaus. Während Bildung eine Voraussetzung für die sich entwickelnde Weltansicht und Selbstbestimmung des heranwachsenden Individuums ist, bedingen Kompetenzen beim Erwerb und im Umgang mit Wissen die Fähigkeit, in konkreten Situationen Probleme zu verstehen und zu lösen.

²„Practices“ im Originaltext

Allgemeinbildung zu sein, dann muss moderne Physik in ihren Grundzügen bereits in der [Sek I](#) und für den Mittleren Schulabschluss ([MSA](#)) einen festen Platz haben – wenn auch auf bescheidenem Anspruchsniveau. Der mündige Staatsbürger, der sich hier entwickeln soll, kann nicht bei GALILEI, NEWTON, FARADAY und MAXWELL stehen bleiben – er muss sich mit moderner Physik auseinandersetzen, d. h. mindestens die Einsichten von PLANCK, EINSTEIN, PAULI, DE BROGLIE und HEISENBERG gehören dazu – will er z.B. über unsere Energieversorgung und die Sinnhaftigkeit des deutschen Ausstiegs aus der Kernenergie debattieren, oder verstehen, woher die Energie unserer Sonne stammt und wie sie von dort auf die Erde kommt, oder über Umwelt- und Klimaprobleme nachdenken, sich über Raumfahrt und den Kosmos informieren. – Kurzum, der mündige Staatsbürger will und soll sich mit den „epochaltypischen Schlüsselproblemen“ ([MUCKENFUSS, 1995, S. 221](#)) auseinandersetzen. Er muss zumindest in die Lage versetzt werden, sich das dafür notwendige fachliche Grundwissen zu gegebener Zeit selbständig zu erarbeiten bzw. zu ergänzen: er muss befähigt werden, das *Lernen zu lernen* – eine heute im Zeitalter des ubiquitären und scheinbar allwissenden Internets mehr denn je unabdingbare Forderung: gerade angesichts der schier unendlichen Informationsfülle braucht es einen trainierten und mit Vorwissen ausgestatteten Verstand, der sich darin zurechtfindet und das Gesuchte ggf. richtig einordnet (s. auch [Kap. 4.8.1](#)).

Wir müssen, wie es schon WAGENSCHHEIN forderte, die Jugendlichen in ihrer Begriffswelt abholen, sie durch schülernahe Kontexte motivieren – und sollten im Übrigen auf die Attraktivität spannender physikalischer Inhalte und einleuchtender Bezüge zu den Interessen der Schüler vertrauen.

Ohne der in [Kap. 2](#) vorzustellenden Analyse der Rahmenbedingungen sowie der Probleme des heutigen Physikunterrichts vorgreifen zu wollen, sei schon hier auf den Preis hingewiesen, den all dieses *Mehr* gegenüber dem Istzustand der meisten aktuellen Lehrpläne hat: angesichts der äußerst knappen Stundendeputate für das Fach Physik, die schon von dem klassischen Kanon der Fachthemen völlig überfordert sind, kann dies nur heißen, auf sehr viele liebgewordene Details der Physikausbildung in der Schule zu verzichten. Wir müssen auf einen wie auch immer gearteten Vollständigkeitsanspruch verzichten – und strikt auf exemplarisches Lehren und Lernen setzen. Dafür werden wir in [Kap. 3](#) Kriterien entwickeln und Vorschläge machen.

Insbesondere werden wir dabei einen Weg vorstellen, der die intrinsischen Zusammenhänge physikalischen Wissens und Könnens aufzeigt und Physik als ein kohärentes Gesamtgebäude erkennen (oder wenigstens erahnen) lässt – was in den vielen, vielen Details des konventionellen Unterrichts in klassischer Physik, von der Mechanik über die Elektrizität, Wärmelehre bis zur Optik, nur allzu leicht dem raschen Blick der Schülerinnen und Schüler verborgen bleibt. Kurzum, *wir müssen die Schulphysik neu denken!*

Wir müssen die
Schulphysik neu denken!

1.4 Technik und Physik in der Schule

Eine wichtige Aufgabe des Schulfachs Physik ist auch eine angemessene Einführung in den Bereich der Technik. Technik in vielfältiger Form gehört einerseits zur Alltagserfahrung der Schüler und Schülerinnen und bietet daher im Idealfall viele Anknüpfungspunkte und Motivation für die Schüler, sich mit Physik als Grundlage für das Verständnis dieser erlebten Technik zu befassen. Technik bietet für viele physikalische Themen interessante Anknüpfungspunkte zur Alltagswelt der Schüler. Umgekehrt erlauben technische Anwendungen der Physik in sehr vielen Fällen eindrucksvolle Illustrationen dessen, was im Fach Physik erlernt und erprobt wurde. Aus erkenntnistheoretischer Sicht spricht für die bewusste Herstellung dieser Verbindung, dass Physik als Erfahrungswissenschaft prinzipiell keine Möglichkeit hat, die von ihr entdeckten Gesetze durch formal-logische Schlüsse zu beweisen. Stattdessen zeigt sich deren Gültigkeit sowohl im gezielten, wiederholbaren Experiment wie eben auch im immer wieder erlebten Funktionieren technischer Anwendungen (Bewährung einer erfahrungswissenschaftlichen Erkenntnis). Darüber hinaus können an ausgewählten Beispielen durchaus auch spezifische Fragestellungen und Arbeitsweisen der Ingenieurwissenschaften angesprochen werden (z.B. ökonomische Realisierbarkeit, ökologische und ethische Aspekte).

Technik bietet für viele physikalische Themen interessante Anknüpfungspunkte zur Alltagswelt der Schüler.

Naturwissenschaften, und insbesondere die Physik, sind mit der Technik – nicht zuletzt aufgrund ihrer gemeinsamen Geschichte – eng verwoben, wie in [Anhang H.1](#) ausgeführt wird. Vielfach sind auch die Grenzen fließend. Beide Themenfelder sind in vielfältiger Weise aufeinander angewiesen. Ganz sicher ist ein tieferes Technikverständnis in der Schule nicht vermittelbar, wenn es nicht auf solide physikalische Grundlagen aufgebaut werden kann.

Ein physikalisches Grundverständnis ist unverzichtbare Voraussetzung für eine Vermittlung von Technikverständnis im Schulunterricht.

Daher ist es naheliegend, die Vermittlung eines gewissen technischen Grundverständnisses in der Schule vom Physikunterricht zu erwarten – wo das Thema Technik ja traditionsgemäß eine gewichtige Rolle spielt: sei es *zur Motivation*, da Technik an die Lebenswirklichkeit der Jugendlichen anknüpft (wer hätte nicht schon mal eine Zange in der Hand gehabt oder sich über den „Rauch“ gewundert, der an feuchtheißen Sommertagen aus dem Kühlschrank kommt), sei es um spannende *aktuelle Anwendungen* von Physik in unserer modernen, hoch technisierten Welt zu illustrieren (denken wir an Atomuhren, an „Global Positioning“ mit dem Navi im Auto oder an schnelle Glasfaserkabel und Halbleiter-Laserdioden, die das Höchstgeschwindigkeits-Internet überhaupt erst ermöglichen – alles auf moderner Physik beruhend).

Wieweit Physiklehrer dies selbstverständlich vermitteln „können“, wollen wir hier nicht näher untersuchen. Im ersten Teil der Studie, die sich der Ausbildung für das Lehramt widmet ([DPG-AUTORENTEAM, 2014](#), s. insbes. S. 30 und S. 78f.), haben wir deshalb, in Kenntnis der Bedeutung von Technik in der Schule, gerade diesen Aspekt ganz ausdrücklich im Curriculum für angehende Lehrer berücksichtigt. Ein entsprechendes Fortbildungsangebot zu diesem Themenfeld sollte dringend entwickelt werden.

1.5 Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht

1.5.1 Grundsätzliche Überlegungen

Mit dem Begriff *fächerübergreifender Unterricht in Naturwissenschaften*³ wird die Zusammenfassung mehrerer naturwissenschaftlicher Fächer, am häufigsten Biologie, Chemie und Physik, zu einem diese Fächer integrierenden Fach bezeichnet.

Dieses Konzept, die klassischen naturwissenschaftlichen Disziplinen zu einem Unterrichtsfach zusammenzufassen, findet immer wieder Eingang in die Diskussion und hat weltweit Unterrichtstradition, unter anderem in den angelsächsischen Ländern und in der Schweiz. Auch in Deutschland wird in der Mehrzahl der Bundesländer in den **Jgg. 5/6** (z.T. auch 7) das Fach „Naturwissenschaften“ oder „Naturwissenschaften und Technik“ unterrichtet, wie in Abschn. 2.3.2 anhand unserer detaillierten Analyse der Lehrpläne dokumentiert wird.

Ein solches fächerübergreifendes Unterrichtsfach Naturwissenschaften bietet die Chance, Inhalte aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten und so zu einem umfassenderen, ganzheitlichen Erfassen der betrachteten Themen zu führen – die Schüler können insbesondere die vielfach geforderte *interdisziplinäre* Herangehensweise an die „*epochaltypischen Schlüsselprobleme*“ (MUCKENFUSS, 1995, S. 221) erfahren. Auch Verbindungen zwischen den einzelnen naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen können klarer erarbeitet werden als in einem fächerdifferenzierten Unterricht.

Allerdings birgt fächerübergreifender Unterricht (der den fächerdifferenzierten ersetzt) die große Gefahr, dass zentrale, charakteristische Konzepte und Arbeitsweisen der einzelnen Disziplinen verschwimmen, zumindest in den Hintergrund treten, und nicht mehr angemessen vermittelt werden. Auch in organisatorischer Hinsicht bringt fächerübergreifender Unterricht Herausforderungen mit sich, die nicht leicht zu bewältigen sind: denn nur selten ist eine Lehrkraft dafür ausgebildet, alle genannten Fächer kompetent zu unterrichten. Wenn dies nicht durch den abwechselnden, gut abgestimmten Einsatz von mehreren Lehrern kompensiert werden kann, wird das leicht zu Oberflächlichkeit in der Fachbildung führen.

Wir schließen uns hier daher ausdrücklich den nachfolgend zitierten *Mindestanforderungen* für die Einführung eines fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts an, welche die **ARBEITSGRUPPE SCHULE** bereits 2010 in einem Positionspapier aufgestellt hat:

- *„Für jede der fachwissenschaftlichen Disziplinen darf nicht weniger Unterrichtszeit zur Verfügung stehen als in fächerdifferenzierten Stundentafeln üblich. [...], s. Kap. 2.6]*
- *Der naturwissenschaftliche Unterricht muss von fachspezifischen Kompetenzen der Lehrkräfte getragen sein. In einem Fach „Naturwissenschaften“ müssen zu gleichen Teilen Lehrkräfte mit Fakultas in den darin zusammengefassten Disziplinen zum Einsatz kommen.*

³Auch *Integrierter Unterricht Naturwissenschaften* genannt.

Chancen von fächerübergreifendem naturwissenschaftlichem Unterricht liegen in der umfassenden, ganzheitlichen Betrachtung der Fächer Biologie, Chemie und Physik. Risiken liegen in der Vernachlässigung spezifischer, fachdisziplinärer Arbeitsweisen und in einer Verflachung des Unterrichts beim Einsatz von Lehrern, die nur teilweise für die unterrichteten Fächer ausgebildet wurden.

- *Auch in einem integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht ist es unabdingbar, dass die Ordnungsstrukturen der einzelnen Fächer klar erkennbar bleiben. Fundierte Kenntnisse der Inhalte und der Denk- und Arbeitsweisen der Physik stellen das Basiswissen in einer Vielzahl von anwendungsbezogenen Berufen dar.*
- *Auch die Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz verlangen im Fach Physik ein strukturiertes Basiswissen. Ungeachtet der Frage, in welcher Organisationsform der Unterricht erfolgt, muss die Erfüllung dieser Bildungsstandards gewährleistet sein.*
- *Die Empfehlungen der DPG zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik DPG-AUTORENTEAM (2014),⁴ insbesondere die Forderung nach einem fachbezogenen Lehramtsstudium sui generis, behalten uneingeschränkte Bedeutung und Gültigkeit.*
- *Der Einführung eines Fachs „Naturwissenschaften“ müssen umfassende Maßnahmen in der Lehramtsausbildung und Lehrerfortbildung vorangehen.*
- *Die Einführung eines Faches „Naturwissenschaften“ darf keinesfalls durch das Ziel motiviert sein, den Lehrermangel in einem der beteiligten Fächer zu kaschieren. Damit wird die Qualität des naturwissenschaftlichen Unterrichts in nicht vertretbarer Weise ausgehöhlt.“*

Wir fügen hinzu

- Die zweite und die beiden letzten Forderungen gelten auch für die unteren Jgg. 5-7, wo gerade im Fach Physik eine erhebliche fachliche Souveränität erforderlich ist, um ggf. auf spezifische Fragen und Interessen der Schüler und Schülerinnen kompetent und nachhaltig eingehen zu können und dabei das Entstehen von Misskonzeptionen zu vermeiden.

1.5.2 Das Überlapp-Modell der GDNÄ

Ein beachtenswertes Konzept wurde in der Bildungskommission der GDNÄ (Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte) vorgeschlagen (SCHAEFER und GDNÄ-BILDUNGSKOMMISSION, 2007).

Vertreten wird (S. 11) das Prinzip eines „fachübergreifenden Fachunterrichts“, ein

„[...] Unterricht, der aus dem Fach heraus sowohl in Nachbarbereiche vorstößt als auch abstraktere Meta-Ebenen und praktische Anwendungsbereiche mit einbezieht. Er vernetzt also Fachinhalte einerseits ‚zur Seite hin‘ mit verwandten Inhalten benachbarter Disziplinen [...], andererseits ‚nach oben hin‘ mit abstrakten Denkfiguren aus Philosophie, Mathematik, Systemtheorie, Wissenschaftstheorie und ‚nach unten hin‘ mit konkreten, anschaulichen Beispielen aus dem täglichen Leben.“

Im Idealfall verknüpft fächerübergreifender Unterricht die einzelnen Fächer auf horizontaler Ebene, während er vertikal jede Disziplin als solche vertieft und begrifflich verallgemeinert.

Verbunden wird dieses Konzept mit einem Plädoyer für einen grundsätzlich fächerdifferenzierten Unterricht ab Jahrgangsstufe 7 – der aber im

⁴Zitat aktualisiert gegenüber der Originalfassung

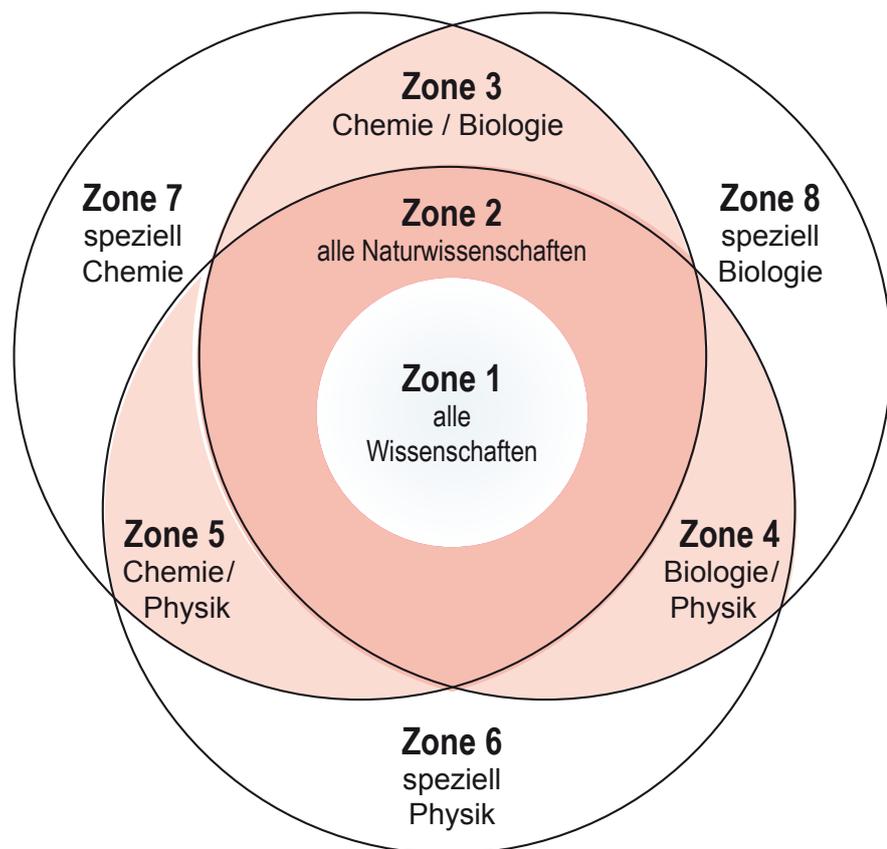


Abb. 1.1: GDNÄ-Rosettenschema der Inhaltsbereiche von Biologie, Chemie und Physik mit Hervorhebung ihrer Überlappungsfelder (adaptiert aus Abb. 2 in SCHAEFER und GDNÄ-BILDUNGSKOMMISSION, 2007)

oben beschriebenen Sinne immer wieder und nicht nur in zufälliger Weise die Grenzen des eigenen Faches überwindet. Dabei wird unter anderem auf die oft grundlegenden strukturellen Unterschiede der disziplinären Inhalte in Biologie, Chemie und Physik hingewiesen. Ein Beispiel ist die Komplexität biologischer Systeme im Gegensatz zu den meist modellhaft vereinfachten Betrachtungen fundamentaler Grundlagen und exakter Begrifflichkeit in der Physik.

Um die Natur in Gänze zu erfassen, ist es zweckmäßig, zunächst in Teilsystemen zu denken, um daraus ein vernetztes Ganzes zusammenfügen zu können. Daher sollte die gewachsene Fächerstruktur auch in der Schule beibehalten bleiben.

„Obwohl die Natur nur ‚eine‘ und von sich aus nicht in solche Teilsysteme gegliedert ist, ist es für den menschlichen Verstand und das Gedächtnis einfach zweckmäßiger, in solchen Teilsystemen zu denken und zu lernen, sofern die tatsächliche Vernetzung der Systeme zu einem Ganzen dabei nicht übersehen, sondern nachher eigens wieder vollzogen wird. Daher ist es nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch in der Schule aus denk- und lernökonomischen Gründen sinnvoll, an der gewachsenen Fächerstruktur festzuhalten.“ [...] „Es stellte sich heraus, dass tatsächlich die Begriffsprofile von Physik, Chemie und Biologie – trotz ihres gemeinsamen Kerns, der in den Zonen 1 und 2 der Rosettenfigur von Abb. 1.1 zusammengefasst ist – so unterschiedlich und spezifisch sind, dass das eine Fach das andere nicht ersetzen kann“[...] Zusammenhängende und aufeinander abgestimmte Lehrplaninhalte der

Fächer sollen jedoch] „helfen, ihre weitere Zersplitterung zu vermeiden, so dass am Ende ein fachübergreifender Fachunterricht entsteht, der seine Grenzen ‚transzendiert, aber nicht ignoriert‘.“ (nach **SCHAEFER und GDNÄ-BILDUNGSKOMMISSION, 2007**, S. 13f)

Gestützt wird dieses Konzept durch eine Expertenbefragung der **GDNÄ (SCHAEFER und WITTENBERGER INITIATIVE, 2000)** zu einer großen Zahl von Fachbegriffen und Fertigkeiten, welche für die drei Naturwissenschaften, z.T. aber auch für andere Wissenschaften von Bedeutung sind. Dabei ergab sich das in Abb. 1.1 skizzierte Schema, welches die Überlappungsbereiche der Fächer verdeutlicht und insbesondere ihre Bedeutung für die Allgemeinbildung heraushebt (Zone 1). Als Konsequenz folgt daraus ein Plädoyer für „eine vertiefte Behandlung weniger, anschlussfähiger Grundbegriffe im Unterricht sowie eine stärkere Konzentration auf allgemeine Fertigkeiten“ (**SCHAEFER und GDNÄ-BILDUNGSKOMMISSION, 2007**, S. 10).

1.6 Schlussfolgerungen

Physikunterricht in der Schule spielt eine zentrale Rolle für die persönliche Entwicklung der Schüler und erfüllt wichtige gesamtgesellschaftliche Aufgaben. Physik ist daher ein unverzichtbarer Bestandteil des Unterrichts an allen allgemeinbildenden Schulen.

1. Der Schulunterricht im Fach Physik dient primär der Allgemeinbildung (**Scientific Literacy**) von werdenden, mündigen Staatsbürgern. Sie sollen dazu befähigt werden, ein eigenes, begründetes Bild von der Welt zu entwickeln und sich in einer komplexen, hochtechnisierten modernen Gesellschaft zu orientieren. Das dafür notwendige Fachwissen sollen sie – aufbauend auf dem Erlernten – selbst erneuern und erweitern können, um aktuelle, wissenschafts- und technikrelevante Entwicklungen zu verstehen und zu beurteilen.
2. Die wichtigsten physikalischen Grundbegriffe, Schlüsselkonzepte, Methoden und Kompetenzen sollten – auf elementarem Niveau, aber moderne Inhalte einschließend – bereits in der **Sek I** bis zum **MSA** erarbeitet werden. Bereits damit liefert der Physikunterricht einen wichtigen Beitrag zur beruflichen Orientierung in einem zukunftssträchtigen, für die Gesellschaft hoch relevanten Berufsumfeld – auch für diejenigen, welche die Schule mit dem **MSA** abschließen oder in der **Sek II** Physik nicht belegen.
3. Die Inhalte müssen an die Erfahrungswelt der Jugendlichen anknüpfen, wobei aber nicht der Eindruck entstehen darf, alle wirklich spannende Physik fände erst in der **Sek II** statt und sei für Normalbegabte zu schwierig. Im Idealfall sollte der Physikunterricht Begeisterung für das Fach wecken und pflegen, zumindest aber eine gewisse Wertschätzung aufbauen.

Zugleich sollen auch die methodischen und kommunikativen Kompetenzen der Schüler entwickelt werden. Dazu gehören – neben Kompetenzen im Bereich Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung im Sinne der **KMK-Standards** – auch Fähigkeiten beim selbständigen Beschaffen, Aneignen und Bewerten von fachlicher Information, die für alle natur-, technik- und lebenswissenschaftlichen Studiengänge eine wichtige Basis bilden.

4. Auch in der **Sek II** sollte das Hauptziel eine vertiefte Allgemeinbildung für möglichst viele Schüler sein. Demzufolge muss das Motiv einer konkreten Berufs- oder Studienvorbereitung in den Hintergrund treten. Die Hochschulen erwarten nicht, dass Studienanfänger mit einer umfassenden, fachsystematisch strukturierten Physikausbildung zu ihnen kommen. Dies ist in der zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit in der Schule nicht leistbar (s. Kap. 2).
5. Vielmehr sollte sich der Physikunterricht in der **Sek II** auf eine vertiefte Behandlung der zentralen physikalischen Konzepte sowie einiger weniger, sorgfältig ausgewählter, anschlussfähiger Grundbegriffe konzentrieren.
6. Daneben sind wesentliche Voraussetzungen für ein erfolgreiches Studium der Physik (und verwandter Fächer): Begeisterung für das Fach, solide mathematische Grundkenntnisse und Fähigkeiten. Darüber hinaus kommt es auf Entschlossenheit und Ausdauer, aber auch auf Kommunikationsfähigkeit und Lernbereitschaft an.
7. Für diejenigen, die besonders begabt bzw. engagiert im Fach Physik sind, sollten attraktive Angebote gemacht werden, die schon frühzeitig (in der **Sek I**) eine sinnvolle und interessante Vertiefung der Grundkenntnisse ermöglichen. Dazu ist es nötig, phasenweise auch vertieft in physikalische Themenbereiche einzusteigen, doch genügt es, dies exemplarisch zu tun (s. Kap. 3). Auf keinen Fall darf diese Begabtenförderung aber die Vermittlung einer guten naturwissenschaftlich-physikalischen Allgemeinbildung für möglichst viele Schüler behindern. Sie kann z.B. auch in speziellen Arbeitsgemeinschaften geschehen, durch Unterstützung bei Wettbewerben oder durch Wahrnehmung von außerschulischen Förderangeboten.
8. Technik und Physik sind eng miteinander verwoben. Wir plädieren daher nachdrücklich dafür, techniknahe Themen im Physikunterricht in angemessenem Umfang zu behandeln: als Motivation aber auch als Anwendungsbeispiele für die in der Physik erarbeiteten Kenntnisse und Kompetenzen.
9. Wir halten die Vermittlung von fächerübergreifenden naturwissenschaftlich-technischen Zusammenhängen für eine wichtige Komponente auch im Schulfach Physik. Wo immer es sich anbietet, sollte die Gelegenheit wahrgenommen werden, auf interdisziplinäre Zusammenhänge hinzuweisen – im optimalen Falle in Unterrichtseinheiten, die von mehreren Fachlehrkräften gemeinsam verantwortet werden. Für die Einführung eines *fächerübergreifenden Unterrichts in Naturwissenschaften* (ggf. und Technik) verweisen wir nachdrücklich auf die Anforderungen nach S. 14f.

Ausdrücklich möchten wir mit den o.g. Punkten 4.-6. auch der Sorge offenbar vieler Physiklehrer entgegenreten, die fürchten, ihren leistungsstarken Schülern im Hinblick auf ein Physikstudium nicht genug an Fachinhalten mitgeben zu können. Dies gilt sowohl für die **Sek II** wie auch bereits für die **Sek I**, denn häufig wird schon im Anfangsunterricht das Abitur „mitgedacht“.

Überblick

In diesem Kapitel wollen wir die heutigen Rahmenbedingungen für den Physikunterricht in den Schulen der 16 deutschen Länder untersuchen, uns vom internationalen Vergleich inspirieren lassen und aktuelle Probleme und Chancen ansprechen. In Abschn. 2.1 werden die für alle Bundesländer verbindlichen nationalen Bildungsstandards der KMK kurz zusammengefasst und kritisch beleuchtet. Sodann analysieren wir in Abschn. 2.2 die sogenannten Stundentafeln, welche die Verteilung der Schulstunden auf das Schulfach Physik regeln. In Abschn. 2.3 vergleichen wir die Lehrpläne der 16 Bundesländer im Detail nach einem einheitlichen, inhaltlichen Schema. Dem stellen wir in Abschn. 2.4 einen internationalen Vergleich gegenüber, der freilich nur die groben Umrisse und Besonderheiten der Standards einiger ausgewählter Länder skizziert. In Abschn. 2.5 werfen wir einen Blick auf die aktuelle Situation an deutschen allgemeinbildenden Schulen und skizzieren verschiedene Probleme, mit denen Physik Unterrichtende heute konfrontiert werden – und deuten Strategien zu deren Überwindung an. Schließlich formulieren wir in Abschn. 2.6 einige Forderungen an die Gestaltung von Stundentafeln, Lehrplänen und andere Randbedingungen für einen guten Physikunterricht.

2.1 Nationale Bildungsstandards

Von der KMK wurden auch für das Fach Physik *Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss* festgelegt (KMK (2004)).¹ Die seither erlassenen Lehrpläne der deutschen Bundesländer stellen Konkretisierungen dieser KMK-Bildungsstandards dar.

„Das Neue und Besondere an diesen Standards ist die Tatsache, dass sie bestimmte Könnenserwartungen formulieren und weniger auf abfragbares Wissen zielen.“ (LERSCH, 2010). Die Bildungsstandards benennen vier Bereiche, in denen Schüler² Kompetenzen aufbauen sollen, wie in Tab. 2.1 zusammengestellt.

Jeder der vier *Kompetenzbereiche* wird durch eine Liste von *Regelstandards* konkretisiert, die in der Regel von den Schülern erreicht werden sollten. Zu beachten ist, dass die über das Fachwissen hinausgehenden

Die Bildungsstandards der KMK (2004) und die darauf aufbauenden Rahmenlehrpläne der Länder formulieren *Kompetenzen*, d.h. *Könnenserwartungen* und zielen *weniger auf abfragbares Wissen*.

¹s. auch KLIEME *et al.* (2006)

²generisches Maskulinum, siehe Bemerkung zum Sprachmodus S. 1

Tab. 2.1: Die Kompetenzbereiche in den bundesweit geltenden Bildungsstandards der **KMK (2004)**

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

Kompetenzen nicht einfach nur implizit erworben werden sollen bzw. können, wie dies in älteren Lehrplänen häufig zu verstehen war, sondern von den Lehrkräften bewusst in der Unterrichtsplanung adressiert und auch in entsprechenden Lernerfolgskontrollen berücksichtigt werden sollen. Das verlangt einen Unterricht, der sich nicht auf die Vermittlung von Lehrbuchwissen reduziert, sondern Physik in vielfältige Kontexte einbindet, den Schülern das selbständige Anwenden physikalischer Methoden abverlangt und auch ihr Nachdenken über Naturwissenschaften explizit anregt.

Kompetenzen können schwerlich in einem Physikunterricht erworben werden, dessen Verlauf allein von der Lehrkraft bestimmt wird. Vielmehr ist es notwendig, den Unterricht so zu planen, dass den Schülern aufeinander aufbauende Lerngelegenheiten angeboten werden, an denen sie ihre Kompetenzen weiterentwickeln können. Ein solcher Unterricht bedarf bei seiner Planung und Durchführung ein Verständnis von der Rolle der Lehrkraft im Unterricht, das sich von der bisher vorherrschenden Praxis unterscheidet.

Die Bildungsstandards für Physik sind Gegenstand vielfältiger Diskussionen geworden.³ Mehrere Kritikpunkte kamen dabei zur Sprache:

1. Zum einen regte sich der Argwohn, die Bildungsstandards unterstellten, dass die Standards der Kompetenzbereiche Bewertung, Kommunikation und Erkenntnisgewinnung ohne Fachwissen vermittelt bzw. erarbeitet werden sollten. Dieser Vermutung wurde in den Formulierungen der Bildungsstandards offenbar nicht deutlich genug entgegen getreten. Aber die Bildungsstandards setzen sehr wohl eindeutige Prioritäten, denn sie stellen ausdrücklich fest, dass „auf Basis des Fachwissens der Kompetenzerwerb in den Bereichen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewerten ermöglicht“ werde (KMK, 2004, S. 7). Damit wird dem Fachwissen – zu Recht – sein Platz ausdrücklich zugewiesen. In der Fachdidaktik ist es ein Selbstverständnis, dass Fachwissen

Die Bildungsstandards definieren vier Kompetenzbereiche mit jeweils einer ganzen Reihe konkreter „Regelstandards“, die Fähigkeiten und Fertigkeiten für physikalisches Tun beschreiben. Diese sollen durch kontextualisierten und handlungsbezogenen Unterricht vermittelt bzw. von den Schülern erarbeitet werden.

³Eine aktuelle Bilanz ziehen SCHECKER und WIESNER (2013); s. auch weitere Artikel in diesem Themenheft von *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule*.

die Grundlage für die Arbeit in den anderen Kompetenzbereichen darstellt.⁴ „Ohne solides Fachwissen sind die anderen Kompetenzbereiche hohl“ SCHECKER und WIESNER (2007). Und KAUERTZ *et al.* (2010) fordern sogar: „Es ist noch zu prüfen, ob eine empirische Unterscheidbarkeit der Kompetenzbereiche gegeben ist, da Fachwissen auch für die anderen drei Kompetenzbereiche benötigt wird.“

Im Physikunterricht können und sollen die verschiedenen Kompetenzbereiche in der Regel nicht getrennt werden. Allenfalls kann man Schwerpunkte setzen, z. B. dann, wenn Schüler in einer Präsentation mit Hilfe verschiedener Medien über das von ihnen Erarbeitete berichten und sich dabei in adressatengerechter und sachbezogener Darstellung üben. Dass die Verschränkung der Kompetenzbereiche im Unterricht möglich und sinnvoll ist, zeigen zahlreiche entwickelte Lernumgebungen (Unterrichtsentwürfe).

2. Die vier *Basiskonzepte* „Materie, Wechselwirkung, System, Energie“ der Standards, welche die fachlichen Inhalte vernetzen sollen, um **kumulatives** Lernen zu unterstützen, sind in ihrer gegenwärtigen Beschreibung (KMK, 2004, S. 8f.) kritisch zu betrachten. Sie sind sowohl in ihrem Anspruch als auch in der konkreten Ausformulierung in den Lehrplänen der meisten Bundesländer bei Fachphysikern wie bei Fachdidaktikern umstritten. Dabei besteht Konsens, dass die Verknüpfung verschiedener Inhalte der Physik über gemeinsame Strukturen lernfördernd sein kann. Wir werden darauf in Kap. 3 ausführlich eingehen und auch die bereits von MUCKENFUSS (1995) geforderte Orientierung des Unterrichts an „sinnstiftenden“ Kontexten berücksichtigen.

Wenn dagegen Physik von Schülern als zusammenhanglose Ansammlung von sehr vielen Fakten wahrgenommen wird, erreicht Physikunterricht offenbar gerade das nicht, was wir in Kap. 1 als Beitrag der Physik zur Allgemeinbildung herausgearbeitet haben. Die Orientierung an den zentralen Kernideen, Prinzipien und Konzepten, die allen Fachgebieten der Physik gemeinsam sind, könnten diesen Zusammenhang herstellen. Wir werden daher in Kap. 3 den Versuch unternehmen, die Basiskonzepte konsequent weiterzuentwickeln.

Kritisch werden die vier Basiskonzepte in ihrer derzeitigen Fassung und praktischen Realisierung in den Lehrplänen gesehen. In Kap. 3 wird ein Vorschlag für die Weiterentwicklung der Basiskonzepte gemacht, welche eine überzeugende Auswahl und Strukturierung exemplarischer Fachinhalte unterstützt.

2.2 Studentafeln im Ländervergleich

Das Stundenkontingent für das Fach Physik in den 16 Bundesländern zeigt eine bunte Vielfalt von Vorgaben und Realisierungen auf, die den Bildungsföderalismus widerspiegeln. In **Anhang A** wird ein Überblick über die für Physik vorgesehenen Wochenstunden (WStd) gegeben. *Der Vergleichbarkeit wegen zählen wir dabei grundsätzlich die Jgg. 5 bis 10 zur*

⁴Nach WEINERT (2001), S. 21f, sind Kompetenzen „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.“

Als Stundentafeln bzw. Stundenkontingente bezeichnet man die Auflistung der gesetzlich vorgegebenen bzw. verordneten Anzahl von Wochenstunden, die in einem Fach oder Fächerverbund pro Jahrgangsstufe unterrichtet werden soll. Lehrpläne machen Vorgaben für die zu vermittelnden Fachinhalte und die zu erwerbenden Kompetenzen.

Der Bildungsföderalismus erschwert eine detaillierte Übersicht über die Struktur des Physikunterrichts in den Ländern. Die folgenden Abschnitte geben jedoch einen Überblick, bei dem bspw. die Zuordnung der Jgg. zu den einzelnen Schulstufen vereinheitlicht wurde.

*Sekundarstufe I (im Folgenden mit **Sek I** bezeichnet) – auch wenn diese in den Ländern teilweise anders zugeordnet werden.*

Tatsächlich kann z.B. die Grundschule bis einschließlich Jahrgang (Jg.) 6 dauern (so in den Ländern Berlin und Brandenburg). Eine weitere Komplikation für den Vergleich sind Fächerverbünde, wie „Natur und Technik“, „Naturkunde“ oder „Naturwissenschaften“, die zur Verschiedenheit der Stundenpläne zwischen den Bundesländern beitragen (und die sich entsprechend in den Lehrplänen widerspiegeln). Diese Fächerverbünde integrieren neben Physik, Biologie und Chemie zum Teil auch Astronomie, zum Teil technische Themenfelder. Dabei muss man zwischen *Stundentafeln* und *Lehrplänen* unterscheiden. In den meisten Ländern machen die *Stundentafeln* für die gesamte oder für Teile der **Sek I** nur Aussagen über die Summe der Wochenstunden für mehrere Fächer; welche Fächer bzw. Fächerkombinationen tatsächlich unterrichtet werden, wird in Abschn. 2.3 zusammengefasst. Auch durch die Vielzahl von Schultypen, die sich von einem Bundesland zum nächsten unterscheiden können, teilweise aber nur unterschiedlich heißen, ergibt sich eine große Bandbreite an möglichen Stundenkontingenten. Insgesamt können also meist nur *anteilige Minimalwerte für die vorgesehenen Wochenstundenzahlen in Physik* angegeben werden. Diese sind in den Tabellen farblich markiert.⁵

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die gymnasiale Oberstufe sind die verschiedenen Ausprägungen der acht- bzw. neunjährigen Gymnasialzeit (**G8** bzw. **G9**) zur Erlangung des Abiturs. Dies wird derzeit in Öffentlichkeit und Politik intensiv diskutiert – ebenfalls wieder von Land zu Land mit unterschiedlicher Schärfe.

Wir zählen **Jg. 10** grundsätzlich zur **Sek I**, so wie sie in den Lehrplänen in der Regel auch dargestellt wird. Sie führt zum *Mittleren Schulabschluss (MSA)*. Allerdings übernimmt die 10. Klasse im Falle von G8 inzwischen häufig die Funktion der Einführungsphase für die gymnasiale Oberstufe.

2.2.1 Stundentafeln bis zum mittleren Schulabschluss

Die Übersichten für die **Sek I** findet man in **Tab. A.1** für die Gymnasien, in **Tab. A.2** für Sekundarschulen, Stadtteilschulen und ähnliche Schultypen, in **Tab. A.3** für Realschulen und Gemeinschaftsschulen und schließlich in **Tab. A.4** für die Hauptschulen. Ohne hier alle Details für die verschiedenen Schultypen und Länder kommentieren zu wollen, sei doch auf die erheblichen Unterschiede der Stundenkontingente in den verschiedenen Bundesländern hingewiesen:

Bereits für den mittleren Schulabschluss an Gymnasien zeigt sich die enorme Varianz an möglichen Stundenkontingenten. Im Mittel aller Bundesländer ergeben sich über die ganze **Sek I** aufsummiert 8,6 Wochenstunden, in Sachsen und Sachsen-Anhalt sind es 10 Wochenstunden.

⁵Wir geben diese anteiligen Wochenstundenzahlen in **Anhang A** auf zwei Dezimalstellen gerundet an – als rein rechnerische Größe, womit natürlich keine präzise Aussage über den tatsächlich realisierten Anteil an Physik in der Schulpraxis gemacht werden, der auch noch örtlich variieren kann.

In der Mehrheit der Länder wird Physik bis einschließlich Klasse 6 als Teil eines Fächerverbundes unterrichtet. Im Detail wird dies in Abschn. 2.3 ausgeführt.

2.2.2 Stundentafeln für die Sekundarstufe II

Auch die Regelungen für die Sekundarstufe II bzw. die gymnasiale Oberstufe (Sek II) sind vor allem aufgrund unterschiedlicher G8- und G9-Regelungen sehr uneinheitlich. Eine Übersicht über die *Mindestanforderungen* in den einzelnen Bundesländern gibt Tab. A.5.

Im Zuge der Einführung von G8 wurde Physik als verbindlich zu belegendes Fach in fast allen Ländern für die Sek II abgeschafft. *Lediglich im Freistaat Sachsen war Physik im Rahmen von G8 bis 2017 noch ein verbindliches Fach, das mit insgesamt 4 Wochenstunden im Grundkurs unterrichtet wird. In Sachsen kann traditionell (schulformunabhängig) das Abitur nur nach 12 Jahren erworben werden.*⁶

Die *Wahlmöglichkeiten*, Physik als Fach in der Oberstufe zu belegen, sind in Tab. A.6 zusammengestellt. Generell gilt, dass in der Einführungsphase, unabhängig davon, ob sie in der 10. oder in der 11. Klasse realisiert wird, zumindest eine Naturwissenschaft belegt werden muss. Dies kann natürlich auch Chemie, Biologie oder ein anderes, lokal angebotenes naturwissenschaftliches Fach sein. Das bedeutet also, dass Physik von den Schülern und Schülerinnen in keinem Bundesland (außer in Sachsen) zwingend gewählt werden muss – was letztlich die Ursache für die bedauerlichen Befunde der entsprechenden Erhebung der DPG ist (HEISE *et al.*, 2014): weniger als 20% der Schüler belegen das Fach in der Sek II.

Selbst für die verbleibenden G9-Züge der Oberstufe muss Physik derzeit lediglich in den Ländern Berlin, Bremen, Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt belegt werden. In allen anderen Bundesländern ist es möglich, Physik in der Sek II völlig abzuwählen, also nach der 10. Klasse nicht mehr mit der Thematik in Berührung zu kommen.

Entscheidet sich ein Schüler dafür, Physik zumindest im grundlegenden Niveau bzw. im Grundkurs zu belegen, bedeutet das im Schnitt 2,75 bzw. 2,55 WStd / Jahr Physik in G8 bzw. G9 (was interessanterweise mehr als die in Sachsen verpflichtenden 2 WStd/Jahr sind). Doch auch hier reicht die Anzahl der Grundkursstunden von 2 bis 4 WStd / Jahr – eine erhebliche Bandbreite. Bayern, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen sind dabei die einzigen Länder, die nicht zwischen Grund- und Leistungskurs in Physik differenzieren, sondern grundsätzlich 3 WStd / Jahr (Bayern) bzw. 4 WStd / Jahr festlegen, sofern Physik als Naturwissenschaft gewählt wurde.

Bei erhöhtem Anforderungsniveau, also im Leistungskurs, für den sich nur sehr wenige Schüler und Schülerinnen entscheiden, liegt die Anzahl der Physikstunden deutlich höher, bei 4 bzw. 5 WStd / Jahr in G8. Insgesamt werden also in den zwei Jahren G8 im (freiwillig belegten) Fach Physik auf erhöhtem Anforderungsniveau 8 bzw. 10 WStd unterrichtet, in den drei Jahren G9 aber nur wenig mehr.

In Sachsen und Sachsen-Anhalt sind die Stundenkontingente Physik deutlich höher als in den meisten Ländern. Auch war Sachsen (leider nur) bis 2017 das einzige Bundesland, wo Physik in der Sek II noch obligatorisch war.

⁶Gleiches gilt in Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Thüringen.

Alles in allem zeigen die Analyse der Stundenkontingente in den einzelnen Ländern und die daraus resultierenden Tabellen, wie variantenreich der deutsche Bildungsföderalismus ist. Zahllose Verordnungen sorgen dabei schon innerhalb einzelner Länder für eine Fülle von Unterschieden, die mit der Wahl der Schulform, der Dauer der Gymnasialschulzeit und der Belegung einzelner Fächer einhergeht. All dies multipliziert sich dann noch einmal mit dem Faktor 16, da jedes Land seine eigenen Vorstellungen und Besonderheiten in den Verordnungen aufweist.

2.2.3 Fazit aus den Stundentafeln

Was uns hier vor allem interessiert, ist die Gesamtzahl der Physikstunden, mit denen wir für die Vermittlung physikalischer Inhalte rechnen können. Die Tabellen zeigen, dass dies von Bundesland zu Bundesland sehr variiert. Interessant ist in diesem Zusammenhang das besonders gute Abschneiden der ostdeutschen Bundesländer beim IQB-Ländervergleich. Eine Analyse der Ergebnisse für alle Bundesländer zeigt, dass durchaus eine deutliche (wenn auch nicht eindeutige) Korrelation zwischen nominellen Physikwochenstunden (*nWStd*) und der beim IQB-Ländervergleich erreichten Punktzahl besteht. Wir haben dies in [Anhang A.3](#) zusammengestellt. Dies sollte jedenfalls zu kritischer bildungspolitischer Diskussion Anlass geben. Ganz offensichtlich wird „**Scientific Literacy**“ in unterschiedlichen Bundesländern sehr unterschiedlich gefördert, was in einem Hightech-Land wie Deutschland durchaus Anlass zur Sorge sein sollte – zumal damit natürlich auch eine starke Einschränkung der Mobilität von Familien mit Kindern einhergeht, denn sowohl die unterschiedlichen Gewichte der Naturwissenschaften in den einzelnen Bundesländern als auch (wie wir gleich sehen werden) die sehr unterschiedlichen Lehrpläne machen einen Schulwechsel von einem in ein anderes Bundesland u.U. höchst problematisch.

Physikkennnisse, über welche der mündige Staatsbürger ganz allgemein verfügen sollte, müssen in der [Sek I](#) vermittelt werden, schon allein deshalb, weil die allgemeine Hochschulreife ‚nur‘ von 40% aller Jugendlichen in Deutschland erworben wird.⁷

Gegenwärtig wissen wir aber auch von denen, welche die [Sek II](#) besuchen, dass leider nur ein kleiner Prozentsatz von weniger als 20% das Fach Physik bis zum Abitur (mehr oder weniger) ernsthaft belegt ([HEISE et al., 2014](#)).

Wir betrachten zunächst die [Sek I](#) und orientieren uns am Gymnasium nach [Tab. A.1](#). Die über die 6 Schuljahre aufaddierte Wochenstundenzahl (WStd) in der [Sek I](#) liegt danach über die Länder gemittelt bei einem Wert von Wert von 8,6 WStd, den wir im Folgenden benutzen.

Versuchen wir daraus die Gesamtzahl verfügbarer Physikstunden zu ermitteln, so muss diese Zahl mit der Zahl der Schulwochen pro Jahr multipliziert werden. Wir stellen zunächst fest, dass die tatsächliche *Zahl der Schulwochen pro Jahr* 38 beträgt.⁸ Somit ergeben sich nominal insgesamt $38 \times 8,6 = 326,8$ Std im Bundesdurchschnitt.

⁷Stand 2013 nach <http://www.datenportal.bmbf.de/portal/2.5.85>

⁸52 Wochen/Jahr – 6 Wochen Sommerferien – 1 Woche Herbstferien – 2 Wochen

Wir müssen aber noch weitere Abzüge in Rechnung bringen: In der **Sek I** braucht man typischerweise 4 Unterrichtsstunden pro Jahr für Klassenarbeiten bzw. Lernerfolgskontrollen (schreiben, austeilen, besprechen), also entfallen 24 Std in den 6 Jahren. Für Wandertage, Exkursionen, Klassenfahrten, Feiertage, Brückentage muss man typischerweise 10% der Stunden abziehen, und für zentrale Schulprüfungen entfallen erfahrungsgemäß nochmals 10%. Es bleiben also $326,8 - 24 - 32 - 32 = 240$ Std, sehr großzügig gerechnet. Das sind also nur 73,4% der nominal verfügbaren Schulstunden.

Zur Verallgemeinerung rechnen wir also mit *verfügbaren Physik-Schulstunden* (pro Jahr bzw. summiert über mehrere Jahre), genannt *vStd* bei *nWStd* *nominalen Wochenstunden* Physikunterricht und 38 nominalen Schulwochen (Woch) pro Jahr. Somit ergibt sich die *insgesamt verfügbare Physik-Stundenzahl* (summiert über alle Schuljahre), welche die Schüler und Schülerinnen *bis zum mittleren Schulabschluss* zu absolvieren haben:

$$vStd = 38 \text{ Woch} \times nWStd \times 0.734 \quad (2.1)$$

Wir betonen nochmals: Da der größte Teil der jungen Menschen darüber hinaus keinen Physikunterricht erfährt, muss die gesamte für den mündigen Staatsbürger wichtige Physik (Wissen, Verständnis, Kompetenzen) in diesen durchschnittlich 240 Stunden vermittelt, eingeprägt, geübt, diskutiert und aufgenommen werden. Und zwar so, dass die Schüler ihr Wissen und Können ggf. auch präsentieren, kommunizieren und anwenden – und ggf. sinn- und verantwortungsvoll in kritische Diskussionen einbringen können.

Fazit: Nur 240 Physikstunden haben die Schüler *im Bundesdurchschnitt* in ihrem realen **Sek I**-Leben in der Schule: Die müssen ausreichen, um eine **extrem große Stofffülle** zu vermitteln, wie wir im folgenden Abschnitt ausführen werden. – Dabei haben wir noch nicht einmal den immer häufiger beklagten Stundenausfall wegen Lehrermangels berücksichtigt.

Im **Best Practice** Fall, der nach Ausweis der Studentafeln in **Anhang A** im Freistaat Sachsen und in Sachsen-Anhalt realisiert wird, sind es zwar immerhin 10 Wochenstunden in der **Sek I**, somit nach Formel (2.1) insgesamt ca. 280 Stunden. Aber auch diese Stundenzahl wird der Stoffmenge nicht gerecht. Im *ungünstigsten Fall* stehen weniger als 170 Stunden zur Verfügung!

Schließlich noch ein kurzer Blick auf die **Sek II**. Auch hier ist die Zahl der verfügbaren Physikstunden knapp bemessen. Nach **Tab. A.6** ergibt sich mit Gl. (2.1) für den Bundesdurchschnitt, summiert über die 2 Jahre der gymnasialen Oberstufe in G8, eine mittlere verfügbare Gesamtstundenzahl Physik $vStd = 38 \text{ Woch} \times 5,5 \text{ WStd} \times 0.734 = 153$ Std für den Grundkurs – sofern das Fach Physik in der Oberstufe überhaupt belegt wird. Für den Leistungskurs mit einem Mittelwert $nWStd = 8,68$ Std ergeben sich immerhin $vStd = 242$ Std in der **Sek II** insgesamt.

Berücksichtigt man alle Abzüge an verfügbaren Stunden aufgrund von Klassenarbeiten, Wandertagen und Feiertagen, bleiben in der **Sek I** lediglich 240 h von der 5. bis zur 10. Klasse, um den Schülern ein umfassendes, allgemeinbildendes physikalisches Grundwissen zu vermitteln.

2.3 Lehrpläne der Bundesländer im Vergleich

Wir werden in diesem Abschnitt den Versuch machen, die tatsächlich nach den Lehrplänen der 16 Bundesländer zu lehrenden physikalischen Inhalte einheitlich zu gliedern, um eine Übersicht über das zu gewinnen, was „man“ meint, in der Schule vermitteln zu können bzw. zu sollen.

Hier sei bereits soviel zusammengefasst: Wir identifizieren etwa 100 gewichtige physikalische Themenkreise, von denen nach Analyse der Lehrpläne im Mittel aller Bundesländer etwa ein Drittel in der **Sek I** genannt werden.

Rechnen wir im Schnitt einmal für jedes dieser Themengebiete nur zwei bis drei Doppelstunden Physikunterricht in der Schule (und die vergehen auch bei gutem Unterricht wie im Fluge), dann sind das bereits geschätzte 335 Stunden,⁹ die notwendig wären, um in einem systematischen, fachkanonischen Rahmen ein akzeptables Grundwissen in Physik zu erarbeiten. Hinzu kommen die über das fachliche Wissen hinaus zu vermittelnden Kompetenzen, die aus didaktischer Sicht explizit angesprochen werden sollten. Dem stehen bis zum mittleren Schulabschluss aber – je nach Bundesland – nur 160 bis 280 verfügbare Schulstunden gegenüber. An Raum für das unverzichtbare Einüben und Wiederholen, für freie Unterrichtsgestaltung oder gar für wünschenswerte Schülerpraktika ist dabei kaum zu denken.

Dies ist das Dilemma, vor dem Physiklehrkräfte angesichts der Lehrpläne und vieler häufig überforderter Schüler heute täglich stehen!

Nur wenige Lehrpläne der Bundesländer geben konkrete Hinweise darauf, wie diese Stofffülle in den einzelnen Themenfeldern zeitlich auf die knappen, verfügbaren Schulstunden verteilt werden sollte. Wir kommen in Kap. 3.1 darauf noch einmal zurück, um eine Vorstellung davon zu gewinnen, welches (zeitliche) Gewicht den fachlichen Schwerpunktthemen im Rahmen der aktuellen Lehrpläne zugewiesen wird. Vor diesem Hintergrund werden wir dann eine Alternative zum Umgang mit der übergroßen Stofffülle vorschlagen.

Um zu verstehen, was die offensichtlich notwendige radikale Reduktion des systematisch zu erwerbenden Fachwissens tatsächlich bedeutet, welche die geringe Zahl von Schulstunden in Physik erzwingt, wollen wir jetzt zunächst die derzeit existierenden Lehrpläne der 16 Bundesländer etwas genauer analysieren.

2.3.1 Übersicht

Alle Bundesländer haben ihre je eigenen Lehrpläne in den letzten Jahren an die (KMK, 2004) Beschlüsse angepasst, ja z.T. völlig neu geschrieben. Da aber die KMK Standards keinerlei inhaltliche Vorgaben machen, sondern sich auf die Definition von Kompetenzen und Basiskonzepten beschränken, bestehen auch bei den länderspezifischen Ausgestaltungen und curricularen Vorgaben erhebliche Unterschiede. Selbst bei der Umsetzung des Kompe-

Angesichts der prekären Stundenkontingente für das Fach Physik stehen für die in den Lehrplänen genannten Themen viel zu wenig Schulstunden zur Verfügung. Zeit für adäquates Einüben, für Wiederholung, Anwendungen und interessante Kontexte bleibt dabei kaum.

⁹Diese Zahl ergibt sich aus den im Mittel der Bundesländer 67 Themen (s. Tab. 2.2) und den etwa 5 Unterrichtsstunden, die für jedes Thema veranschlagt werden müssen.

tenzbegriffs gibt es zahlreiche länderspezifische Auslegungen. Besonders vielseitig ist die Interpretation der in Abschn. 2.1 skizzierten und häufig kritisierten Basiskonzepte – um es vorsichtig auszudrücken.

Wir werden in Kap. 3 einen eigenen Vorschlag machen. Wir konzentrieren uns im Folgenden hauptsächlich auf einen fachinhaltlichen Vergleich der Lehrpläne der Länder: Welche Themen werden behandelt und ggf. in welcher Jahrgangsstufe? Dabei beschränken wir uns auf die Lehrpläne für das Gymnasium.¹⁰ Um die Lehrpläne vergleichen zu können, gliedern wir deren Inhalte in 12 Hauptthemenfelder mit insgesamt etwa 100 Unterthemen, die in Tab. 2.2 zusammengestellt sind.

Die Themen sind hier fachsystematisch geordnet, wenn auch nicht in der kanonischen, fachphysikalischen Reihenfolge (die üblicherweise mit Mechanik beginnt), sondern eher so, wie sie der vermuteten Nähe zu Alltagserfahrungen der Schüler entsprechen und so auch in mehreren Lehrplänen der Länder anzutreffen sind.¹¹ Weitere Stichworte zu den Unterthemen, die den Lehrplänen entnommen werden können, sind beispielhaft in [Anhang D](#) zusammengefasst.

Die Durchsicht der in [Anhang C](#) komprimiert zusammengestellten 16 Lehrpläne zeigt, dass dabei all jene Themen in den Lehrplänen stehen, die sowohl von Fachphysikern, Fachdidaktikern als auch von Physiklehrern und -lehrerinnen für grundsätzlich bedeutungsvoll gehalten werden: dabei wird (auf elementarem Niveau) praktisch der vollständige Fachkanon der klassischen Physik aufgespannt und eine Einführung in die moderne Physik umrissen. – Letztere soll aber, so die Lehrpläne der Länder, überwiegend in der [Sek II](#) vermittelt werden (also zu einem Zeitpunkt, zu welchem derzeit nur noch ein kleiner Teil aller Jugendlichen am Physikunterricht teilnimmt).

In [Anhang B](#) geben wir eine Gesamtübersicht über die Lehrpläne der Länder im Fach Physik, nach dieser Gliederung geordnet. Für jedes der in Tab. 2.2 genannten Unterthemen werden dort (länderspezifisch) die Jahrgangsstufen genannt, in denen es ggf. behandelt werden soll. Im nächsten Abschn. 2.3.2 werden wir spezifische Charakteristika der Lehrpläne einzelner Länder noch etwas genauer skizzieren und vergleichen. In [Anhang C](#) wird dies in größerem Detail für alle 16 Länder ausgeführt.

Die hier benutzte Themenliste nach Tab. 2.2 ist in den Lehrplänen der Länder meist gut identifizierbar, wobei jedes Land seine spezifischen Schwerpunkte in Tiefe und Breite setzt. Wie bedeutsam diese Themen für [Sek I](#) im Vergleich zur [Sek II](#) sind, ist am Ende von [Anhang B](#) zusammengestellt.

Auch bei der Themenauswahl ist der Bildungsföderalismus deutlich zu spüren. Die Abfolge der Themen, die Kontexte und die Schwerpunkte der einzelnen Jahrgänge variieren sehr stark. Insgesamt wird aber fast überall der Versuch gemacht, den gesamten Fachkanon der klassischen Physik in der [Sek I](#) auf elementarer Ebene zu behandeln und eine Einführung in die moderne Physik auf die [Sek II](#) zu verschieben.

¹⁰Die [Jgg. 5/6](#) in der Grundschule schließen wir ein, sofern die [Sek I](#) erst mit [Jg. 7](#) beginnt, wie z.B. in Berlin.

¹¹Die gewählte Gliederung ist weitgehend identisch mit der, welche auch das von Physiklehrkräften sehr geschätzte und von der Joachim HERZ Stiftung professionell und verlässlich gepflegte Internetportal Leifiphysik [LEIFI-PHYSIK](#) (2013) benutzt.

Tab. 2.2: Grundsätzlich bedeutsame Themenfelder des Schulfachs Physik. Etwa 67 davon werden im Mittel über die Bundesländer in den Physiklehrplänen für die **Sek I** im Gymnasium berücksichtigt, verteilt über die Jahrgangsstufen (s. auch Fußnote 10). Die relative Bedeutung dieser Themenfelder für **Sek I** und **Sek II** ist in einer farblich markierten Fassung dieser Tabelle am Ende von **Anhang B** zusammengestellt.

Hauptthemenfelder/ Unterthemen	
1. Optik	
1.1 Lichtquellen und Lichtausbreitung	1.7 Das Auge
1.2 Absorption und Streuung des Lichts	1.8 Farben, Spektrum
1.3 Reflexion des Lichts	1.9 Licht als el.magn. Welle, Spektrum
1.4 Brechung von Licht	1.10 Beugung und Interferenz
1.5 Abbildung d. Öffnungen & Linsen	1.11 Polarisation
1.6 Optische Instrumente	
2. Elektrizität	
2.1 Strom und einfache Stromkreise	2.10 Kraft auf elektrischen Strom, Elektromotor
2.2 Permanentmagnetismus, statisches magnetisches Feld	2.11 Glühelctrischer Effekt
2.3 Wirkungen des elektrischen Stroms	2.12 Bewegte Ladungen in Feldern
2.4 Elektrische Grundgrößen, OHM'sches Gesetz	2.13 Elektromagnetische Induktion
2.5 Komplexere Stromkreise	2.14 Wechselstromtechnik
2.6 Widerstand & spez. Widerstand	2.15 Transformator, Fernübertragung
2.7 Elektrische Arbeit und Leistung	2.16 Elektromagnetische Schwingungen
2.8 Elektromagnetismus, magnetische Felder, Spule	2.17 Elektromagnetische Wellen
2.9 Ladungen und elektrische Felder	2.18 Anwendungen
3. Elektronik	
3.1 Einführung	3.4 Einfache Schaltungen
3.2 Halbleiter, Diode	3.5 Mikroelektronik
3.3 Transistor	
4. Mechanik	
4.1 Masse, Volumen und Dichte	4.13 Impuls als Erhaltungsgröße
4.2 Kraftarten	4.14 Drehimpuls
4.3 Kraft und Masse	4.15 Gravitationskraft und -feld
4.4 HOOKE'sches Gesetz	4.16 KEPLER'sche Gesetze
4.5 Kräfteaddition und Zerlegung	4.17 Druck
4.6 Grundgrößen der Kinematik	4.18 Auftrieb
4.7 Freier Fall, Wurf	4.19 Strömungslehre
4.8 Kraft und Bewegungsänderung	4.20 Mechanische Schwingungen
4.9 Arbeit, Energie und Leistung	4.21 Gekoppelte Schwingungen
4.10 Einfache Maschinen	4.22 Mechanische Wellen
4.11 Reibung und Fortbewegung	4.23 Deterministisches Chaos, Nichtlineare Dynamik
4.12 Kreisbewegung	

Tab. 2.2: Grundsätzlich bedeutsame Themenfelder des Schulfachs Physik ... Fortsetzung.

Hauptthemenfelder / Unterthemen	
5. Akustik	
5.1 Akustische Phänomene	5.3 Schwingungen und Wellen in der Akustik
5.2 Schallgeschwindigkeit	
6. Spezielle Relativitätstheorie	
6.1 Einführung (Relativität und Gleichzeitigkeit, $E = m c^2$, usw.)	
7. Wärmelehre	
7.1 Ausdehnung, Volumenänderungen	7.6 Innere Energie, Wärmekapazität
7.2 Temperatur und Teilchenmodell	7.7 Wärme und Wärmeübertragung
7.3 Aggregatzustände und Aggregatzustandsänderungen	7.8 Energie und ihre Eigenschaften
7.4 Allgemeines Gasgesetz	7.9 Wärme und Wärmekraftmaschinen
7.5 Kinetische Gastheorie	7.10 Wetter und Klima
8. Struktur der Materie I (s. auch 7.2)	
8.1 Atommodell (Kern und Hülle)	8.6 Kernreaktionen
8.2 Aufnahme und Abgabe von Energie, Spektroskopie	8.7 Kernspaltung und Kernfusion
8.3 BOHR'sches Atommodell	8.8 Anwendungen der Kernphysik
8.4 Quantenmechanisches Atommodell	8.9 Teilchenphysik
8.5 Kernphysik, Grundlagen	
9. Struktur der Materie II	
9.1 Kondensierte Materie	
10. Quantenphysik	
10.1 Einführung*	
11. Astrophysik und Kosmologie	
11.1 Einführung	11.5 Fixsterne
11.2 Sternbeobachtung	11.6 Weltall
11.3 Sonnensystem	11.7 Kosmologie
11.4 Die Sonne	
12. Übergreifend	
12.1 Methoden der Physik	12.6 Physik im Haushalt
12.2 Energietechnik, Energieversorgung	12.7 Physik in Alltag und Unterhaltung
12.3 Physik und Technik	12.7 Anwend. Medizin, Neurobiologie
12.4 Physik und Sport	12.8 Physik und Informationstechnik, Computer, Simulation
12.5 Physik und Verkehr	

* Siehe dazu auch [Anhang D. 10](#)

Die Analyse der
Studentafeln offenbart
dramatische
Unterschiede in der
Gewichtung des Fachs
Physik zwischen den 16
Bundesländern.

In vielen Lehrplänen wird versucht, attraktive Kontexte aus der Erfahrungs- und Interessenwelt der Schüler als Gliederungsprinzip zu verwenden – und nicht die hier gewählte fachkanonische Gliederung, die sich nicht ohne geeignete Modifikationen in ein schulisches Lernprogramm umsetzen lässt.¹²

Um die Bedeutung der in Tab. 2.2 aufgelisteten Themen etwas zu quantifizieren, haben wir die Anzahl der jeweils in den Lehrplänen erwähnten Unterthemen ermittelt. Daraus ergibt sich, dass im Bundesdurchschnitt etwa 67 davon in der **Sek I** behandelt werden sollen. Es stehen also jeweils *vStd*:67 der nach Gl. (2.1) ermittelten, verfügbaren Schulstunden zur Verfügung: Die Anzahl der Schulstunden, die für die Behandlung je eines dieser gewichtigen Themen *in der gesamten Sek I* zur Verfügung steht, liegt also im Mittel bei jeweils $240/67 = 3,6$ Schulstunden – wobei nochmals darauf hingewiesen sei, dass auch die Vermittlung der über das reine Fachwissen hinaus gehenden Kompetenzen ebenso wie das Üben und Wiederholen innerhalb dieses Zeitrahmens geschehen soll! Bei vielen, wenn nicht den meisten Themenfeldern dürfte das völlig unrealistisch sein (denken wir z.B. an so bedeutsame Themen wie „Optische Instrumente“ oder „Kraft auf elektrischen Strom, Elektromotor“).

Wir müssen uns also sehr ernsthaft fragen, was die wirklich unverzichtbaren Kenntnisse und Kompetenzen aus der Physik (und ggf. dem darauf aufbauenden Technikverständnis) sind, welche mündige Staatsbürger in Deutschland benötigen – und die sie nach Durchlaufen der **Sek I** erworben haben sollten. Ein solches Curriculum kann offensichtlich unmöglich die gesamte Fachsystematik der Physik umfassen (auch nicht auf elementarem Niveau). Wir müssen eine Alternative entwickeln, die zugleich den notwendigen Spielraum für die individuelle Gestaltung des Unterrichts nach den Bedürfnissen der Schüler und Schülerinnen eröffnet und dem Potenzial der Lehrkräfte gerecht wird – um z.B. aktuelle gesellschaftliche Schlüsselthemen mit physikalischer Relevanz behandeln zu können (wie etwa die „unendlichen“ Themen Energieversorgung, Klima, Physik und Medizin), aber auch einen Blick in die Weiten des Weltalls oder in die Tiefen des Mikrokosmos zu wagen.

Idealerweise sollte der Physikunterricht dabei auch Freude und Interesse, wenn möglich Begeisterung, an diesem Fach wecken. Zum anderen muss er soviel Inhalte, Fähigkeiten und Methodenkenntnis vermitteln, dass ein späteres, selbständiges Weiterlernen, auf welchem Niveau auch immer, stimuliert und möglich wird. Ein solches Curriculum wird also zwangsweise exemplarisch sein müssen und es sollte stark kontextorientiert sein, schon allein um die unverzichtbare Motivation zu generieren. Insgesamt muss es „anschlussfähig“ sein für eine vertiefte spätere Beschäftigung mit Physik und verwandten Themenfeldern, sei es in der gymnasialen Oberstufe oder sei es

¹²So schlägt z.B. MUCKENFUSS (1995) eine Gliederung der Schulphysik in Form von „sinnstiftenden“ Rahmenkontexten vor. Am besten sollen sie sich an „epochaltypischen Schlüsselproblemen“ orientieren. So wünschenswert solche Rahmenkontexte allerdings auch sein mögen, so schwierig ist es, ein solches Konzept konsequent in der Wirklichkeit der Lehrplannerstellung umzusetzen. Die Durchsicht der aktuell gültigen 16 Lehrpläne der Bundesländer beleuchtet dieses Problem sehr deutlich.

im Studium der Natur-, Lebens- und Technikwissenschaften.

Ein wirklich lehr- und lernbares Physikcurriculum kann also aus dieser fachspezifischen Stoffsammlung nur durch radikale Schnitte entstehen. Ohne gründliches Überlegen wird auch das an dieser Stelle gerne gebrauchte Stichwort „Exemplarisches Lernen“ nicht weiterhelfen: Hierzu fordert MUCKENFUSS, 1995 (S. 188) in enger Anlehnung an den Altmeister Wagenschein:

„Wo immer exemplarisches Lehren vorgeschlagen wird, ist zugleich anzugeben, in welches ‚Grundgebirge‘ die ‚Tiefenbohrung‘ gelegt werden soll, was wofür Exemplum sein soll und welche Inhalte ihres Eigenwerts wegen unverzichtbar sind.“

2.3.2 Länderspezifische Aspekte der Lehrpläne

Einige Charakteristika und Details der 16 länderspezifischen Lehrpläne sind in [Anhang C](#) in den [Tabellen C.1 bis C.16](#) zusammengestellt (jeweils mit einer vollständigen Detail-Übersicht über die Zuordnung von Inhalten zu Jahrgängen und spezifischen Quellenangaben). Vorangestellt werden jeweils die Gesamtgliederungsschemata und einige weitere Hinweise auf Besonderheiten. Die wichtigsten Aspekte seien nachfolgend zusammengefasst.

In den meisten Lehrplänen der Länder werden ausführliche, allgemeine Hinweise und Erläuterungen zum Thema Kompetenzen gegeben, wobei es allerdings kleinere oder größere Abweichungen von bzw. Ergänzungen zu den KMK-Definitionen gibt. Interessant unter diesem Aspekt mag das in Baden-Württemberg bis vor Kurzem noch gültige Gliederungsschema nach „Kompetenzen“ und (fachlichen) „Inhalten“ sein (s. [Anh. C.1.1](#)). Allerdings erforderte die konkrete, praktische Ausgestaltung der dabei nur angedeuteten Inhalte im Einzelnen noch erhebliche Arbeit, die offenbar vor Ort in den Schulen zu leisten ist.

Wir konzentrieren uns hier auf die fachphysikalischen Inhalte der Lehrpläne. Zunächst sei darauf hingewiesen, dass in den Jahrgängen (Jgg.) 5/6 (z.T. auch in 7) nach den Lehrplänen der Mehrzahl der Bundesländer ein Fach Naturwissenschaft, Natur und Technik o.ä. unterrichtet wird. Dabei werden die Fachkomponenten Biologie, Chemie, Physik und Technik unterschiedlich stark akzentuiert. Dies ist in Einzeldarstellungen in den [Anhängen C.1.1 bis C.16](#) ausgeführt.

Wir fassen die Ergebnisse hier zusammen. Es wird unterrichtet in

- *Baden-Württemberg* „Naturphänomene“ in Klasse 6, Physik ab Klasse 7; außerdem gibt es im mathem.-naturwiss. Zug auch noch das Fach „Naturwissenschaften und Technik“, in dem bislang zu wenig Physik enthalten ist.
- *Bayern* „Natur und Technik“ in den [Jgg. 5 bis 7](#) (wobei in Klasse 6 praktisch keine physikalischen Inhalte vorkommen, in Klasse 7 Physik aber einer von zwei Schwerpunkten ist),
Als eigenes Schulfach wird Physik ab Klasse 8 unterrichtet,

Der Versuch, die nicht zu bewältigende Fülle des Stoffes radikal zu reduzieren, darf sich nicht auf den Hinweis „Exemplarisches Lernen“ beschränken. Man braucht dafür klare Kriterien und ein unverzichtbares Grundwissen. In [Kap. 3](#) werden wir den Versuch machen, dafür Kriterien und Wege aufzuzeigen.

Obwohl allgemeiner Konsens über die Begrifflichkeit und die Bedeutung von Kompetenzen im Physikunterricht herrscht, gibt es leider nur in Einzelfällen spezifische Hinweise in den Lehrplänen, wie am konkreten Beispiel der vorgegebenen Fachinhalte welche Kompetenzen vermittelt werden können (s. aber [LERSCH, 2010](#)).

Berlin „Naturwissenschaften“ in den Jgg. 5/6 der Grundschule
 Physik ab Klasse 7 der **Sek I**,
Brandenburg dito,
Bremen „Naturwissenschaften“ in Jgg. 5/6 des Gymnasiums
 Physik ab Klasse 7,
Hamburg dito (dort wird „Naturwissenschaften/Technik“ in den Jgg.
 5/6 gelehrt),
Mecklenburg-Vorpommern wie Bremen,
Rheinland-Pfalz dito (die Jgg. 5/6 heißen dort „Orientierungsstufe“),
 • *Saarland* wie Bremen,
Schleswig-Holstein dito,
Thüringen dito (das übergreifende Fach heißt dort „Mensch, Natur,
 Technik“).

Dagegen wird unterrichtet in

- *Hessen* von Klasse 6 bis Klasse 12 das Fach Physik,
Sachsen dito ; fächerübergreifender Unterricht ist hier jedoch als zu-
 sätzlicher, auf die fachlichen Kenntnisse aufsetzender Aspekt verankert,
Sachsen-Anhalt dito,
Niedersachsen wie Hessen, zwar sind die Fächer (ab Klasse 5) zusam-
 mengefasst in einem Rahmenlehrplan für „Naturwissenschaften“, die
 Einzelanteile für das Fach Physik werden aber explizit ausgeführt.

Die Lehrpläne der Länder
 sind zur Zeit (noch)
 überwiegend
 entsprechend den
 kanonischen
 Fachgebieten der Physik
 gegliedert.

Was die thematische Gliederung der Lehrpläne betrifft, so orientieren sich viele Länder auch weiterhin an den üblichen kanonischen Fachgebieten der Physik, wobei die Reihenfolge – wie bereits erwähnt – allerdings meist nicht mit Mechanik beginnt und von Wärmelehre gefolgt wird (wie oft in der Physik üblich). Auch werden verschiedene Themen im Sinne sogenannter Spiralcurricula zu verschiedenen Zeitpunkten im Schulverlauf wieder aufgegriffen. In einigen Ländern hat man versucht, diese Fachthemen wenigstens teilweise durch alltagsnahe Bezüge schülergerechter und attraktiver zu benennen (z.B. *Kräfte in der Natur und in der Technik* oder *Sehen, Licht und Farben* oder *Elektromotoren verändern unser Leben* usw.).

Ein recht guter Schritt in Richtung „sinnstiftender Rahmenkontexte“ (MUCKENFUSS, 1995) mögen die Gliederungen der Lehrpläne für Berlin (Anh. C.3) und Sachsen-Anhalt (Anh. C.14) sein.

Andere Länder wiederum (z.B. Rheinland-Pfalz, Anh. C.11) versuchen stattdessen eine Gliederung streng anhand der von der KMK (KMK, 2004) beschlossenen, allerdings wenig glücklich gewählten „Basiskonzepte“.

2.3.3 Quellen

Wir haben alle relevanten Lehrpläne der 16 Bundesländer analysiert. Die Quellen sind: **BADEN-WÜRTTEMBERG** (2004), **BAYERN** (2004g) (Gesamtübersicht); Einzelpläne nach Jahrgangsstufen: **BAYERN** (2004c,d,e,f,a,b) **BERLIN** (2006c,b,a) **BRANDENBURG** (2008b,a, 2011) **BREMEN** (2006, 2008) **HAMBURG** (2004, 2011a,b) **HESSEN** (2010) **MECKLENBURG-VORPOMMERN** (2006, 2010, 2011) **NIEDERSACHSEN** (2007, 2009) **NORDRHEIN-WESTFALEN**

(2008, 2013) RHEINLAND-PFALZ (2010, 2014, 1999) SAARLAND (2005, 2006, 2008, 2012, 2013) SACHSEN (2011) SACHSEN-ANHALT (2003) SCHLESWIG-HOLSTEIN (2013a,b, 2002) THÜRINGEN (2015, 2012).

2.4 Internationaler Vergleich

Bevor wir konkret auf die Praxis des Physikunterrichts eingehen, der sich in diesem Rahmen bewegen muss, sowie auf Probleme und Chancen, von denen Lehrkräfte heute herausgefordert sind, wollen wir einen Blick über den bundesdeutschen Horizont hinaus tun. Ähnlich unseren Bildungsstandards gibt es auch in anderen Ländern Ideen, Konzepte, Empfehlungen und Vorgaben für die Gestaltung von Lehrplänen.

Eine umfassende Übersicht über internationale Bildungsstandards für Physik mit Analysen der Unterschiede, aber auch der Gemeinsamkeiten zu den KMK-Bildungsstandards wäre sicherlich höchst interessant, würde aber den Rahmen dieser Studie bei Weitem sprengen. In [Anhang E](#) verschaffen wir uns jedoch anhand einiger besonders prominenter Beispiele einen Einblick in die verschiedenen Ansätze, die international erprobt werden. Bei der Suche nach einem überzeugenden Konzept kann ein solcher internationaler Vergleich gewiss hilfreich sein. Für unsere eigenen Überlegungen in [Kap. 3](#) werden wir uns von diesem Vergleich inspirieren lassen, da die Probleme weltweit offensichtlich ähnlich sind.

Im Folgenden fassen wir die Ergebnisse kurz zusammen. Nach einem Hinweis auf die Rolle der [PISA](#) Studien werden wir uns vor allem für die „Next Generation Science Standards“ ([NGSS \(2013\)](#)) interessieren, die derzeit gerade in den USA eingeführt werden. Aus ihnen lässt sich besonders viel für die Weiterentwicklung unserer *Basiskonzepte* (dort „core ideas“ genannt) und der *Kompetenzbereiche* (dort als „Methoden in den Natur- und Ingenieurwissenschaften“¹³ bezeichnet) lernen. Darüber hinaus lohnt ein Blick auf die verschiedenen Herangehensweisen in Finnland, Schweden und Australien.

2.4.1 PISA

Für die Entwicklung von kompetenzorientierten Lehrplänen bot die Konzeption der internationalen Schulleistungsstudie der [OECD](#) (Programme for International Student Assessment, [PISA](#)) wichtige Anregungen (s. z. B. [PISA, 2003](#)). Mehr darüber in [Anhang E.1](#). Zwar dienten die für [PISA](#) entwickelten Rahmenkonzeptionen in erster Linie der Entwicklung von Testaufgaben, um die Fähigkeiten der Schüler abzufragen, doch wurde dieses Konzept in Anlehnung an Kompetenzorientierung und Kontextualisierung in vielen Ländern zumindest implizit übernommen. Auch in Deutschland umfassen die Bildungsstandards, wie in [Abschn. 2.1](#) ausgeführt, nicht nur den Bereich des *Fachwissens*, sondern auch die handlungsorientierten Kompetenzen aus den Bereichen *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung*.

Aus dem Vergleich mit den Lehrplänen anderer Länder können wir möglicherweise hilfreiche Anregungen für die Neugestaltung unseres Physikunterrichts gewinnen. Es zeigt sich, dass es im internationalen Raum eine Vielzahl von recht unterschiedlichen Ansätzen gibt.

¹³„Science and Engineering Practices“ im Originaltext

2.4.2 USA

Die Transparenz, mit welcher in den USA die neuen Bildungsstandards entwickelt wurden, aber auch der umfassende Bildungsanspruch vom Kindergarten bis zur Highschool, könnten hierzulande als herausfordernde Vorbilder dienen!

Next Generation Science Standards (NGSS): Derzeit wird in den USA ein groß angelegter Versuch unternommen, neue naturwissenschaftlich-technische Bildungsstandards einzuführen, was angesichts von 50 Bundesstaaten ein noch komplexerer Prozess ist, als der hierzulande. Diese *Next Generation Science Standards NGSS (2013)* bieten interessante Anregungen für unsere Überlegungen zu einer Neugestaltung der Lehrpläne im Fach Physik und darüber hinaus – selbst wenn man der vielfach zu beobachtenden Tendenz einer Anglisierung bzw. Amerikanisierung unseres Bildungssystems (siehe z.B. Bologna Prozess) insgesamt kritisch gegenüber stehen mag. Besonders bemerkenswert am **NGSS** ist der Grundgedanke einer einheitlichen naturwissenschaftlich-technischen Bildung der Kinder und Jugendlichen *vom Kindergarten bis zum Highschool-Abschluss*.¹⁴ Entwickelt wurden diese Standards von mehreren Gremien unter Beteiligung von renommierten Fachwissenschaftlern (darunter mehreren Nobelpreisträgern), Fachdidaktikern, Bildungswissenschaftlern und staatlichen Verantwortungsträgern. Dieser Prozess erstreckte sich – in vorbildlich transparenter Weise – über mehrere Jahre, und beteiligte in mehreren Rückkopplungsschleifen auch eine breite Öffentlichkeit an der **Erarbeitung der Standards**.

Anders als im deutschen Schulsystem umfassen die **NGSS** die Blöcke *Physical Sciences* mit Inhalten aus Physik und Chemie, *Life Sciences* mit Elementen aus Biologie, Medizin, Ernährungswissenschaft und Ökologie, *Earth and Space Science* mit Inhalten aus den Geowissenschaften, aber auch aus der Astrophysik und Kosmologie und schließlich eine kleine Auswahl aus *Engineering, Technology and Applications of Science*, wobei ingenieurwissenschaftliche Arbeitsmethoden, Modellbildung und Design angesprochen werden.

Anstelle des Versuchs, den traditionellen Fächerkanon durchzuarbeiten, gliedern im Rahmen der NGSS „disziplinäre Kernideen“ die fachliche, exemplarische Stoffauswahl und erlauben eine jahrgangsübergreifende Vermittlung der wichtigsten Prinzipien und Konzepte der naturwissenschaftlichen Disziplinen.

Stoffauswahl und Kompetenzvermittlung werden in *drei Dimensionen* dargestellt: neben den *Disciplinary Core Ideas* (inges. 13 für alle Fächergruppen), die an unsere Basiskonzepte erinnern, werden *Science and Engineering Practices* (8 davon) vermittelt, die wir im Folgenden als „Methoden“ übersetzen und die im Prinzip den Kompetenzbereichen Erkenntnisgewinnung, Bewertung und Kommunikation der **KMK (2004)** Standards entsprechen, während die *Crosscutting Concepts* auf disziplinübergreifende Aspekte hinweisen, für die es in den **KMK** Standards kein direktes Äquivalent gibt. Die Forderung, Fachwissen und methodische Kompetenzen in den Naturwissenschaften im engen Verbund zu lehren, entspricht aber voll und ganz unserem Verständnis von gutem naturwissenschaftlichen Unterricht.

Das Revolutionärste an den **NGSS** ist aus unserer Sicht die inhaltliche Gliederung in den vier Fachgruppen nach insgesamt nur *13 Disciplinary Core Ideas*: Es wird grundsätzlich darauf verzichtet, den jeweiligen Fächerkanon insgesamt abzubilden. Stattdessen gibt es für alle o.g. Fächer zusammen nicht mehr als 50 Schwerpunkte zu diesen Kernideen, während wir nach Tab. 2.2 für Deutschland allein im Fach Physik fast 100 große Unterthemen identifiziert

¹⁴Gegliedert in vier Teile: i) Kindergarten + Jgg. 1-2, ii) Jgg. 3-5, iii) Mittelschule Jgg. 6-8 und iv) Highschool Jgg. 9-12 (im Prinzip unserem G8 Abitur entsprechend).

haben. Dabei soll im Rahmen der **NGSS** der Lernfortschritt so gestaltet werden, dass die Kernideen über alle Jahrgangsstufen hinweg wiederkehrend auf je unterschiedlichem Verständnissniveau vermittelt werden.

Genau dieser inhaltliche Zusammenhang wird offenbar von Schülern bei uns häufig vermisst, wenn sie das „Gefühl“ artikulieren, Physik sei eine Ansammlung von letztlich unzusammenhängenden Einzelfakten. Die **NGSS** machen letztlich Vorschläge, wie die großen Zusammenhänge, die übergreifenden Ideen, welche für jedes naturwissenschaftliche Fach charakteristisch sind, anhand exemplarischen Lernens sichtbar gemacht werden können. Sie formulieren dafür dankenswerter Weise sehr konkrete, nachvollziehbare Kriterien. Mehr darüber in [Anhang E.2](#).

Wie tief allerdings die im Rahmen der **NGSS** letztlich vermittelten Kenntnisse und Kompetenzen in konkreten Lehrplänen und gar in der US-Schulpraxis reichen werden, kann im Augenblick nur erahnt werden. Sie werden ganz sicher deutlich unter dem in deutschen Lehrplänen erstrebten Anspruchsniveau liegen¹⁵ – das freilich nach unserer Analyse in Abschn. 2.3 einerseits recht utopisch zu sein scheint, andererseits spannende moderne Physik fast ausschließlich auf die **Sek II** verlagert. Hier gilt es, sinnvolle Kompromisse zu finden!

College Ready Physics: Durchaus interessant ist ein recht detaillierter Lehrplan, der speziell für die Physik bereits vor einigen Jahren entwickelt wurde. Mehr darüber in [Anhang E.3](#).

2.4.3 Finnland

Finnland hingegen, dessen Schüler in den **PISA**-Tests bekanntermaßen sehr gut abgeschnitten haben, hat eine völlig andere Herangehensweise, nationale Kerncurricula zu implementieren. Die Naturwissenschaften gliedern sich in *Environmental and natural sciences* (Jahrgang 1-4), *Biology and geography* (Jahrgang 5/6) und *Physics and chemistry* (Jahrgang 5/6), während in den **Jgg. 7-9** die Fächer Biologie, Geographie, Physik und Chemie jeweils als eigenständige Fächer unterrichtet werden. Hierbei werden die zahlreichen Inhalte der einzelnen Fächer sehr konkret und traditionell aufgeführt, wobei freilich auch „Könnenserwartungen“ zusammengestellt sind. Die Rahmenvorgaben Finnlands halten sich traditionell und überschaubar, wobei es interessant wäre, zu untersuchen, inwiefern ein Zusammenhang zwischen dieser Einfachheit und dem Erfolg des Bildungssystems besteht. Weitere Details in [Anhang E.4](#).

Finnland zählt seit der ersten **PISA**-Studie zu den Vorreitern im Bildungssystem. Doch die Rahmenvorgaben des Physiklehrplans sind überraschenderweise eher traditionell und werden recht konkret formuliert.

2.4.4 Schweiz

In der Schweiz verbindet das Kompetenzmodell für den naturwissenschaftlichen Unterricht die Dimensionen „Handlungsaspekte“ und „Themenberei-

¹⁵So wird moderne Physik in den **NGSS** zwar in allen **Jgg.** mitgedacht (etwa bei der Nennung von Begriffen, wie Strahlung, Kernfusion, Optical Imaging, Wellen und Kommunikationstechnologie). Andererseits gilt selbst für Jahrgang 12 „No details of quantum physics or relativity are included at this grade level.“

che“. Mehr darüber in [Anhang E.5](#)

2.4.5 Schweden

Der Physiklehrplan in Schweden ist gekennzeichnet durch vier Leitideen:

1. Die Physik in Natur und Gesellschaft
2. Physik und Alltag
3. Physik und Weltbild
4. Methoden und Ansätze der Physik

Diesen vier Leitideen lassen sich die verschiedenen physikalischen Themenfelder zuordnen. Auch sie umfassen den gesamten Rahmenlehrplan und tauchen in den einzelnen Jahrgangsstufen immer wieder auf, sodass die Fähigkeiten und das Wissen der Schüler ausgebaut und vertieft werden können. Mehr darüber in [Anhang E.6](#)

2.4.6 Australien

Auch in Australien wird der Rahmenlehrplan durch übergeordnete Themenbereiche strukturiert. Mehr darüber in [Anhang E.7](#). Hier sind es 6 Begriffe, die den Basiskonzepten der **KMK** ähnlich sind. Diese *Overarching Ideas* sollen die Kohärenz und Entwicklung des naturwissenschaftlichen Fachwissens und Verständnisses über die Jahrgangsstufen hinweg strukturieren:

1. Muster, Anordnungen und Organisation
2. Form und Funktion
3. Stabilität und Wandel
4. Skalen und Messwerte
5. Materie und Energie
6. Systeme

2.5 Physikunterricht heute: Probleme und Chancen

2.5.1 Was sind die Probleme?

In einer bemerkenswerten, vom BMBF herausgegebenen Denkschrift als Reaktion auf das schlechte Abschneiden deutscher Schüler bei der **TIMS-Studie** analysierte **SCHECKER (2001)**: „Fünf Aspekte kennzeichnen nach Ergebnissen der **TIMS-Studie** die Probleme des Physikunterrichts [..]:¹⁶

1. *Große Diskrepanz zwischen angezielten Kompetenzen und erreichtem Fähigkeitsniveau*
Das nach den Physiklehrplänen für die Sekundarstufe I zu vermittelnde begriffliche Verständnis und das Verständnis naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen werden bei Weitem nicht erreicht. [..]

Problemkreise:

1. Angestrebte Kompetenzen werden bei Weitem nicht erreicht
2. Fehlende Vernetzung des Stoffes, rein additives Lernen
3. Geringes Interesse (Physik ist besonders unbeliebt)
4. Große Leistungsheterogenität
5. Mädchen trauen sich zu wenig zu
6. Bescheidene Computer- und Informationskompetenz

¹⁶Die Reihenfolge der Punkte wurde hier entsprechend ihrer Bedeutung für das nachfolgende Kap. 3 unserer Studie umgestellt.

2. *Mangelnde Kumulation des Wissens* Der Wissenserwerb erfolgt überwiegend **additiv** und in zu geringem Maße **kumulativ**. Neue Sachverhalte werden dazugelernt; das neu Erlernte wird aber nicht ausreichend mit vorhandenem Wissen vernetzt.
3. *Geringes Interesse*
Das Interesse an Physik nimmt in der Sekundarstufe I ab, [...] – wie in anderen Fächern [...]. Der Rückgang ist in Physik allerdings besonders ausgeprägt und [...] Besorgnis erregend. Deutsche Schüler schätzen gute Leistungen in Naturwissenschaften als wenig wichtig ein. [...]
4. *Große Leistungsheterogenität*
Man findet bei Achtklässlern ein sehr breites Spektrum von Fähigkeiten. Selbst innerhalb derselben Schulform [...]
5. *Mädchen trauen sich zu wenig zu* [...] Jungen erreichen in allen Schulformen und beiden Schulstufen bessere Leistungen in Physik als Mädchen. Mädchen trauen sich im Fach deutlich weniger zu als Jungen.“

Wie **SCHECKER** dazu bemerkt, waren diese Probleme (mit Ausnahme von Punkt 4) seit langem bekannt. Unter Verweis auf eine Studie aus dem Jahr 1973 notiert er: „wie sich die Bilder gleichen“.

Aus heutiger Sicht müssen wir ein *weiteres Problemfeld* hinzufügen, dessen rasante Entwicklung 2001 noch kaum erahnbar war. Wir verweisen hierzu auf die **ICILS 2013** Studie zu den „computer- und informationsbezogenen Kompetenzen [...], die erstmalig computerbasiert diese fächerübergreifende Schlüsselkompetenz von Schülerinnen und Schülern der achten Jahrgangsstufe international vergleichend untersucht“ hat (**BOS et al., 2014**):

6. *Computer- und informationsbezogene Kompetenzen*
Die Studie bescheinigt „Achtklässlern in Deutschland [nur ...] ein Kompetenzniveau, das sich im internationalen Vergleich im Mittelfeld der Länderrangreihe einordnet.“

2.5.2 Handlungsfelder und Chancen

Seit 2001 hat sich nun der offizielle Rahmen für den naturwissenschaftlichen Unterricht dramatisch verändert: Nicht zuletzt als Reaktion auf die **TIMS-Studie** und **PISA** (**BAUMERT et al., 2001**) wurden 2004 die **KMK-Bildungsstandards** eingeführt, und im Verlauf der letzten 10 Jahre sind die Lehrpläne in den meisten Bundesländern entsprechend angepasst worden.

Allerdings – über eine deutliche Verbesserung der Ausbildungserfolge im Fach Physik konnte bislang (noch) nicht berichtet werden (s. auch **SCHECKER und WIESNER, 2013**; **KULGEMEYER und SCHECKER, 2014**).

Problem 1 hatten wir im Zusammenhang mit der Diskussion der Bildungsstandards bereits angesprochen und eine vertiefte Diskussion in Kap. 3 angekündigt. Das Fortbestehen von Problem 2 (Literatur dazu in **Anhang G.6**) verwundert uns angesichts unserer Analyse der Lehrpläne nicht. Zentrales Thema des folgenden Kapitels wird es sein, einen konstruktiven Vorschlag zur Überwindung des Problems zu machen.

Geringer werdende Qualitätsstandards und sinkende Leistungsbereitschaft wirken sich besonders stark auf das als anspruchsvoll geltende Fach Physik aus.

Wenn man den Berichten praktizierender Lehrer glaubt, so scheinen die eventuell zusammenhängenden Probleme 3 und 4 eher noch zugenommen zu haben. Selbst im Gymnasium hat sich die Leistungsheterogenität verstärkt. Einige Beobachter sehen eine der Ursachen dafür in den gesenkten Eintrittsschwellen für diese Schulform. In den Medien wird immer häufiger über den Verlust von Qualitätsstandards und Leistungsbereitschaft in den Schulen geklagt (s. z.B. HUMMEL, 2014). Natürlich leidet unter solchen Trends das als sehr schwierig und anspruchsvoll geltende und unbeliebte Fach Physik ganz besonders (s. Punkt 3). Wir sehen aber die Chance, den Unterricht durch moderne, kohärente und dabei auf Schülerinteressen aufbauende Inhalte attraktiver zu machen – und werden Vorschläge dafür machen.

Zur besseren Lesbarkeit hier noch einmal die Problemkreise:

1. Angestrebte Kompetenzen werden bei Weitem nicht erreicht
2. Fehlende Vernetzung des Stoffes, rein additives Lernen
3. Geringes Interesse (Physik ist besonders unbeliebt)
4. Große Leistungsheterogenität
5. Mädchen trauen sich zu wenig zu
6. Bescheidene Computer- und Informationskompetenz

Auch das Problem 5, Selbsteinschätzung der Mädchen, scheint nach wie vor zu bestehen und muss im Physikunterricht im Auge behalten werden, auch wenn zu hoffen ist, dass es aufgrund des sich wandelnden Rollenverständnisses von Frauen in unserer Gesellschaft allmählich überwunden wird.¹⁷ Wir kommen in Kap. 4.4 darauf zurück.

Was Problem 6 betrifft, das bescheidene Niveau deutscher Schüler bei Computer- und informationsbezogenen Kompetenzen, so könnten solche Kompetenzen ggf. ganz neue Perspektiven für die Unterrichtsgestaltung bieten – was freilich kontrovers diskutiert wird (s. z.B. FALCK *et al.*, 2015). Andererseits greifen die neuen Medien, Informations- und Unterhaltungsquellen ebenso wie die sogenannten *sozialen Netzwerke* zugleich entscheidend in die persönliche Entwicklung der Jugendlichen ein, was möglicherweise spezifische Gefahren in sich birgt und gewiss nicht ohne Rückwirkung auf die Motivation gerade für den Physikunterricht bleiben kann. Jedenfalls ist ein professioneller Umgang mit diesem Themenfeld in der Schule zwingend geboten. Wir werden darauf in Abschn. 4.8 zurückkommen.

Schließlich erwähnen wir noch die Beziehung zwischen Physik und Mathematik, von Schülern häufig als ein besonderes Hindernis auf dem Weg zur Physik empfunden: zwei schwierige, unbeliebte Fächer in Kombination. Andererseits: „*Increasing students' familiarity with the role of mathematics in science is central to developing a deeper understanding of how science works*“, so sieht es das NGSS (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012, S. 65) und das trifft das Spannungsverhältnis zwischen Physik und Mathematik in besonderem Maße. Wir werden das Thema in Kap. 4.7 ausführlich behandeln.

Die Leistungsfähigkeit der Mathematik sollte im Physikunterricht nur an einigen wenigen, besonders eindrucksvollen Beispielen demonstriert werden. Dafür sind nur die jeweils bereits verfügbaren Mathematikkenntnisse der Schüler zu nutzen.

Als Wegweisung für die Erarbeitung des neuen Physikcurriculums nehmen wir uns vor, den Einsatz von Mathematik nur an wenigen, besonders eindrucksvollen Beispielen zu demonstrieren und stets nur solche Mathematik zu benutzen, die im Mathematikunterricht bereits behandelt wurde. Über weite Wegstrecken wollen wir versuchen, mit einfachen Beziehungen wie Proportionalitäten auszukommen, oder, als Vorstufe, auch mit „wenn – dann“ oder mit „je – desto“ Relationen sowie mit graphischen Illustrationen physikalischer Zusammenhänge.

Zusammenfassend und in Übereinstimmung mit SCHECKER (2001) sehen wir, etwas ergänzt und modifiziert, folgende Handlungsfelder, welche

¹⁷Persönliche Umfragen unter Lehrern und Studienreferendaren im Raum Berlin

Chancen für einen attraktiven, nachhaltigen Physikunterricht eröffnen:

- Stofffülle reduzieren, Curriculum neu gestalten (Kap. 3.1)
- Vernetzung der Unterrichtsinhalte (Kap. 3.2)
 - durch große, verbindende Konzepte (Kernideen, Basiskonzepte) im Physikcurriculum und – soweit sinnvoll – auch mit den Inhalten anderer Naturwissenschaften und mit der Mathematik,
 - mithilfe schülernaher und gesellschaftsrelevanter Kontexte aus Alltag, Medizin, Technik, Natur, Umwelt ... (Kap. 4.1),
 - durch Sprechen darüber, „wie man Physik macht“, über die Natur der Naturwissenschaften (NOS, s. Kap. 4.2), und
 - an ausgewählten Beispielen auch über die Geschichte der Physik.
- Interesse wecken und Vertrauen in die eigene Leistungsfähigkeit stärken, besonders bei Mädchen (Kap. 4.3, Kap. 4.4)
- Betonung des verstehenden Lernens, das heißt der begrifflichen Durchdringung physikalischer Sachverhalte (Kap. 4.5.5) und des Problemlösens (Physik als Allgemeinbildung) (Kap. 4.5.1)
- Veränderung der Aufgabenkultur und Bewusstmachen der Unterschiede zwischen Alltags- und Fachsprache (Kap. 4.5.1, Kap. 4.5.5)
- Unterrichtsabläufe variantenreicher gestalten (Kap. 4.5.1, Kap. 4.6)
- Sparsamer Einsatz von Mathematik, vorzugsweise für eindrucksvolle Beispiele von besonderer Bedeutung für die Physik (Kap. 4.7)
- Stufenweises Heranführen (mit Augenmaß) an computer- und informationsbezogene Kompetenzen (Kap. 4.8)

Wir wollen es an dieser Stelle bei einer Auflistung dieser chancenreichen Handlungsoptionen belassen. Sie werden uns bei der Neuformulierung der Lehrpläne im folgenden Kapitel 3 begleiten. Spezifische Erfahrungen und konkrete Konzepte für die Planung und Gestaltung des Physikunterrichts werden abschließend in Kapitel 4 diskutiert.

2.5.3 Attraktivität des Lehrerberufs in Physik und Arbeitsbedingungen in der Schule

Physiklehrerinnen und -lehrer leisten einen außerordentlich wichtigen Beitrag für die Gesellschaft ganz allgemein und speziell für die Zukunft unserer Industrienation: ihr Unterricht kann ganz wesentlich dazu beitragen, junge Menschen für Naturwissenschaften und Technik zu interessieren – im Idealfall zu begeistern. Diese jungen Menschen bilden später das unverzichtbare Fundament für die Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit unserer Wirtschaft, ohne welche unser rohstoffarmes Land in einer zunehmend globalisierten Welt seine attraktiven Lebensbedingungen nicht sichern oder gar verbessern kann.

Diese Leistung wird in der Gesellschaft zur Zeit noch viel zu wenig anerkannt und geschätzt. Es herrscht ein besorgniserregender Mangel an Physiklehrkräften, und qualifizierter Nachwuchs ist kaum in Sicht. Anders als bei vielen anderen Fächern konkurriert der Lehrerberuf bei potenziellen Nachwuchskräften im Fach Physik und verwandten Technikfächern mit einer

Fülle attraktiver, gut dotierter Berufskarrieren in Forschung, Industrie und Verwaltung. Es bedarf daher erheblicher Anstrengungen, um den enorm wichtigen Lehrberuf im Schulfach Physik wieder attraktiv zu machen. Dabei ist auch, aber nicht nur, die Politik gefordert. Vor allem die Medien könnten einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, diesen Beruf als eine spannende, herausfordernde und äußerst befriedigende Lebensaufgabe erkennbar zu machen – als welche ihn die gesamte Gesellschaft in anderen Ländern sieht, so etwa in Finnland, wo das Studium des Lehrerberufs traditionsgemäß das begehrteste Studium für die besten Schulabgänger darstellt.

Eine wichtige Voraussetzung für die Attraktivität des Physiklehrerberufs sind natürlich auch die Arbeitsbedingungen, unter deren Problemen die in diesem Beruf Tätigen zum Teil leiden. Nachfolgend skizzieren wir einige für einen erfolgreichen, nachhaltigen Physikunterricht wichtige Arbeitsbedingungen – wohl wissend, dass diese derzeit noch nicht an jeder Schule und oft nur zum Teil realisiert werden können. Das sind Hindernisse, die mit etwas gutem politischen Willen und nicht all zu viel Geld beseitigt werden könnten. *Das nachfolgend Beschriebene wollen wir als Chance für die Zukunft eines guten Physikunterrichts verstanden wissen.* Auch das im nachfolgenden Abschnitt angesprochene Thema „Professionelle berufliche Weiterentwicklung“ gehört zu dem damit verbundenen Problemkreis.

Guter, zeitgemäßer Physikunterricht erfordert sachgerechte und möglichst effiziente Arbeitsbedingungen in der Schule, die es den Lehrkräften erlauben, sich auf ihre eigentliche inhaltliche Arbeit und die Bedürfnisse ihrer Schüler zu konzentrieren. Dabei geht es vor allem um die Ausstattung mit Experimentiergeräten und um die Unterrichtsräume, aber auch um organisatorische und personelle Bedingungen, die erfüllt sein sollten.

Die Sammlung der Experimentiergeräte muss so ausgestattet sein, dass für alle in den Lehrplänen angesprochenen Fachthemen eine ausreichende Zahl von überzeugenden *Demonstrationsexperimenten* zur Verfügung steht. Sie bedürfen der laufenden Pflege und Wartung, sodass sie in der **Sek I** und **Sek II** jederzeit durchgeführt werden können. Um eine effiziente Nutzung aufwendiger Versuchsaufbauten zu ermöglichen, haben sich an verschiedenen Orten inzwischen *Verleihsysteme* etabliert, welche für die Schulen eines Landkreises oder einer Stadt anspruchsvollere Sammlungen vorhalten – so etwa der **Wuppertaler SchulPOOL**. Wir regen an, solche Verbände möglichst flächendeckend zu etablieren (ggf. landesweit oder auch länderübergreifend).

Für Schülerexperimente kann *Teilungsunterricht* hilfreich sein: eine Unterrichtsstunde (der typischen zwei Wochenstunden Physikunterricht) wird also zweimal mit jeweils der halben Klasse durchgeführt, während die zweite Wochenstunde mit der ganzen Klasse stattfindet.

Eine ausreichende Menge von einfachen Werkzeugen und Materialien für Experimente der Schüler sollten auch an solchen Schulen bereit gehalten werden, wo es keine spezifischen Technikräume, Schülerwerkstätten oder Werkräume gibt. Die Schüler müssen in die Lage versetzt werden, damit

Die Ausstattung mit Experimentiergeräten muss es ermöglichen, für alle fachlichen Schlüsselthemen eine ausreichende Zahl überzeugender Demonstrationsexperimente zu präsentieren. Teilungsunterricht und externe Sammlungen, die mehreren Schulen zur Verfügung stehen, können dabei hilfreich sein.

im Rahmen des Unterrichts zumindest einfache Modelle oder Lernprodukte herzustellen.

Dedizierte PC-Arbeitsplätze sind erforderlich, um die Möglichkeiten des computergestützten Arbeitens (s. Abschn. 4.8) nutzen zu können – und wurden an vielen Schulen bereits realisiert. Sie werden während des Unterrichts, z.B. in Gruppenarbeitsphasen von den Schülern genutzt. Auch sogenannte Laptop-Wagen, die unkompliziert in verschiedene Räume transportiert werden können, sind hier einsetzbar. Alle PC-Arbeitsplätze müssen stabil mit dem Internet verbunden sein und regelmäßig gewartet werden – eine der wichtigen Aufgaben für die o.g. Betreuer der Sammlung.

Eine funktionstüchtige EDV-Ausstattung mit einer angemessenen Zahl von Arbeitsplätzen auf dem aktuellen Stand der Technik gehört heute ebenso zum Standard einer allgemeinbildenden Schule wie eine zeitgemäße und funktionstüchtige Präsentationstechnik.

Eine zeitgemäße Präsentationstechnik (PC mit Internetzugang, Beamer, Dokumentenkamera) gehört heute zwingend in jeden Physikraum. Sie wird von den Lehrkräften regelmäßig benötigt. Aber auch für Schüler ist es heute unverzichtbar, frühzeitig die Möglichkeiten und Techniken moderner Präsentationsmedien und der dazu gehörenden Software adäquat nutzen zu lernen.

Eine verlässliche und notfalls schnell reagierende Wartung für solche Geräte ist unverzichtbar. Dies gilt insbesondere für die heute zunehmend eingesetzten „Smartboards“. Für diese teuren und im Störfall unflexiblen Geräte muss die Wartung bereits bei der Beschaffung mitgedacht werden – wobei hier nicht analysiert werden soll, ob dies die optimale Lösung für alle Präsentationsprobleme ist.

Die technische und organisatorische Ausgestaltung der Physikräume muss die Durchführung eines *methodisch vielfältigen* und in *wechselnden Sozialformen* stattfindenden Physikunterrichts ermöglichen. Die Räume sind so einzurichten und auszustatten, dass sie einen Wechsel zwischen frontalen Arbeitsphasen im Plenum zu kooperativen Arbeitsphasen in Gruppen und zurück jederzeit unkompliziert ermöglichen (bewegliche Tische, Versorgungsleitungen von oben usw.).

Naturwissenschaftliche Sammlungen, EDV-Anlagen und Medientechnik in den Schulen sollten von professionellem Personal gepflegt und gewartet werden. Diese wichtige Aufgabe sollte nicht „nebenbei“ den Lehrern aufgebürdet werden.

Die Betreuung der gesamten Sammlung einschließlich der EDV-Technik, der Projektionsgeräte und der zunehmenden Zahl von Smartboards sollte durch Fachkräfte (Laboranten/Techniker und Systemadministratoren) erfolgen und nicht den Lehrern aufgebürdet bleiben. Nur so lässt sich ein nachhaltiger Einsatz der anspruchsvollen und teuren Ausstattung sicherstellen.

2.5.4 Lehrerfortbildung – Kontinuierliche, berufliche Weiterentwicklung

Der Lehrerfortbildung kommt eine erhebliche Bedeutung für die Erhaltung und Weiterentwicklung der Unterrichtsqualität zu. Heute spricht man häufig etwas umfassender von *kontinuierlicher, beruflicher Weiterentwicklung* (CPD), deren wünschenswerter Geist pointiert von HATTIE, 2012 (S. 28) so beschrieben wird:

„Diese Schule [diese Stadt, dieses Bundesland,] hat ein berufliches Entwicklungsprogramm [für Lehrkräfte], das

- ein vertieftes Verständnis der Lehrer in ihren Fächern fördert,
- Lernen durch Analysen der Wechselwirkungen zwischen Lehrern und Schülern im Klassenzimmer unterstützt,
- Lehrern dabei hilft, wirksame Rückkopplungsmechanismen für ihr Handeln aufzubauen,
- sich um das Selbstkonzept¹⁸ der Schüler kümmert, und
- die Fähigkeit der Lehrkräfte weiterentwickelt, bei den Schülern auch tieferes¹⁹ Verständnis zu erreichen.“

Unabhängig von diesen speziellen Anliegen für die Weiterbildung gilt: Auch von den Lehrerinnen und Lehrern selbst wird Fortbildungsbedarf und Fortbildungsinteresse in beiden Bereichen gleichermaßen bekundet.

Kontinuierliche, berufliche Fortbildung ist sowohl für die fachspezifische als auch für die didaktische und pädagogische Weiterentwicklung der Lehrkräfte unverzichtbar.

Kontinuierliche, berufliche Fortbildung der Lehrkräfte ist unverzichtbar. Sie muss sowohl das fachspezifische wie auch das fachdidaktische und pädagogische Wissen und Können der Lehrkräfte stets auf dem aktuellen Stand der jeweiligen Forschung und Erkenntnis halten.

Zum einen entwickelt sich die Fachwissenschaft Physik ebenso wie die damit verbundene Technik in rasantem Tempo. In den Medien und in der populärwissenschaftlichen Literatur findet das häufig ein breites Interesse. Auch die Alltagswelt von Jugendlichen wird davon maßgeblich beeinflusst. Aktuelle Themen bieten für den Schulunterricht ein hohes Potenzial, das Interesse an der Physik zu steigern.²⁰ Zumindest exemplarisch sollte der Physikunterricht aufzeigen, dass eine auf fundierterem Fachwissen basierende Betrachtung sehr viel weiter führen kann, als populärwissenschaftliche Berichte dies in der Regel tun.

Andererseits ist der überwiegende Teil aktueller Themen hinsichtlich der Fachinhalte und mehr noch hinsichtlich der Komplexität weit von dem entfernt, was im Unterricht in der Regel darstellbar ist. Von zentraler Bedeutung ist somit die Aufgabe, solche Inhalte didaktisch so zu reduzieren, dass sie für die Schüler fassbar werden. Allein vor diesem Hintergrund erweist sich fachwissenschaftliche wie auch fachdidaktische Fortbildung als dringend erforderlich. Wichtig sind dabei auch folgende Aspekte:

- Die schon in Abschn. 2.5.1 angesprochene Leistungsheterogenität der Schüler stellt eine besondere Herausforderung für die Lehrkräfte dar, insbesondere bei der Wahl optimaler Unterrichtsmethoden.
- In der Fachdidaktik werden didaktische Konzepte stetig weiterentwickelt. Von deren Kenntnis kann die Unterrichtspraxis erheblich profitieren; dazu muss aber ihr Transfer an die Schulen gelingen.

¹⁸„Unter *Selbstkonzept* versteht man das Gesamtsystem der Überzeugungen zur eigenen Person und deren Bewertung.“ Nach M. A. Wirtz (Hrsg.), Dorsch – *Lexikon der Psychologie* <https://portal.hogrefe.com/dorsch/selbstkonzept/> abgerufen am 20.05.2015.

¹⁹HATTIE spricht von „Surface“ und „Deep Learning“, was man vielleicht übersetzen kann mit *Strukturiertes Faktenwissen aufnehmen und zuordnen* gegenüber *Tieferes Verständnis durch Verankerung und Transformation erarbeiten, Vernetzungen erschließen*.

²⁰In Kap. 4 werden wir auf die motivations- und lernfördernde Bedeutung solcher Kontexte näher eingehen.

- Viele Ergebnisse der Lehr-Lern-Forschung bieten das Potenzial, den Unterrichtserfolg zu vergrößern. Sie sollten also auch vermittelt werden.
- Regelmäßig werden Lehrpläne (bzw. Rahmenlehrpläne, Kerncurricula ...) überarbeitet. Zur Vermittlung der zentralen, damit verbundenen Ideen und zur Hilfe bei der Implementierung ist umfangreiche Fortbildung notwendig.

Um vor diesem Hintergrund einen Überblick über die Situation zu gewinnen, wurde eine *Erhebung zur Lehrerfortbildung* in Deutschland unter den **Beauftragten des Vorstands** der **DPG** für Schulangelegenheiten in den Bundesländern durchgeführt. Die Fragen und die Zusammenfassung der Ergebnisse finden sich in **Anhang F**. In vielen Aspekten ergaben die Rückmeldungen ein inhomogenes Bild; die Zusammenfassungen formulieren Mittelwerte und beobachtbare Trends. Auf einzelne Aspekte in konkreten Ländern wird nicht verwiesen.

Im Vergleich zu vielen anderen Berufsfeldern vergleichbarer Qualifikation erscheint das *Fortbildungswesen im Lehrerberuf wenig stringent organisiert*. Vieles basiert auf der Eigeninitiative der Lehrer ebenso wie der Anbieter von Fortbildungsmaßnahmen. Die finanzielle Ausstattung des Fortbildungswesens wird überwiegend als gut angesehen, was aber möglicherweise damit zusammenhängt, dass die tatsächliche, aktuelle Nachfrage danach eher begrenzt ist – aus Gründen, die nachstehend erläutert werden.

Oftmals zeitigt das so strukturierte Fortbildungswesen gute Erfolge für die teilnehmenden Lehrkräfte. Dennoch ist die Breitenwirkung alles andere als optimal. *Strukturelle Hemmnisse* (wie z. B. die geringe Neigung der Schulleitungen, die fortbildungswilligen Lehrkräfte zu beurlauben und die häufig zu geringe Wertschätzung von Fortbildungsmaßnahmen durch Schulleitungen und Schulbehörden) sind ebenso kontraproduktiv wie ein *insgesamt begrenztes Angebot*.

In einer Reihe von Bundesländern übernehmen zentrale Institute eine tragende Rolle im Fortbildungswesen. Dass Länder auf diese Weise eine Professionalisierung der Lehrerfortbildung betreiben, ist zu begrüßen. Darüber hinaus ist, insbesondere in den Flächenländern, eine stärkere Regionalisierung von Fortbildungsmaßnahmen nötig. Einzelne Länder zeigen hier, wie sich auf der Ebene der Regierungsbezirke leistungsfähige Strukturen einrichten lassen. Unter Umständen können externe Anbieter sowohl bei der Erweiterung des Angebotsspektrums als auch bei der Regionalisierung eine wertvolle Rolle spielen: ohne Zweifel besteht ein großer Bedarf an einer Erweiterung des Fortbildungsangebots.

Hier könnten insbesondere die Universitäten einen wichtigen Beitrag leisten. Das Engagement von Hochschullehrern in der Lehrerfortbildung muss durch die Universitäten angemessen honoriert werden. Ein weitreichender, direkter Transfer der an Universitäten verfügbaren großen Kompetenz (sowohl in der Fachwissenschaft als auch in der Fachdidaktik) an die Schulen über die Lehramtsausbildung hinaus wäre von großer Bedeutung. Von Standorten, an welchen solch ein Transfer regelmäßig stattfindet, werden von allen Beteiligten sehr positive Rückmeldungen gegeben.

Auf breiter Basis muss die Notwendigkeit von Fortbildungsmaßnahmen stärker kommuniziert werden, um deren Wertschätzung und Anerkennung zu erhöhen. Auch das Angebot muss deutlich erweitert werden.

Auch die Universitäten mit ihrer großen fachlichen und fachdidaktischen Kompetenz sollten sich an der wichtigen Aufgabe Lehrerfortbildung aktiv beteiligen.

Ein solches Engagement in der Lehrerfortbildung erfordert aber auch einen erheblichen Personal- bzw. Zeitaufwand. Dafür müssen Anreize für die beteiligten Dozenten, Mitarbeiter und Fakultäten geschaffen werden. Lehrerfortbildung kann an den Hochschulen im erforderlichen Umfang nicht auf der Basis des Idealismus Einzelner geschehen, sondern sollte als integraler Bestandteil des Aufgabenspektrums der Hochschulen angesehen und entsprechend mit personellen Ressourcen ausgestattet bzw. vergütet werden.

Die DPG und die mit ihr verbundene *Heraeus*-Stiftung engagieren sich seit längerer Zeit in der Lehrerfortbildung. Auch dieses hochwertige Engagement kann ausgeweitet und regionalisiert werden.

Die primäre Motivation für den Besuch einer Fortbildungsveranstaltung sollte der erwartete Kompetenzgewinn für die eigene Unterrichtspraxis sein. Das setzt entsprechend relevante Inhalte und hohe Qualität voraus. Darüber hinaus sollten Schulleitungen und Schulbehörden das Engagement der Lehrer für die persönliche Fortbildung offiziell honorieren, z.B. bei Bewerbungsverfahren, bei der Besetzung von Funktionsstellen und bei dienstlichen Beurteilungen. Dies erfordert – auch wenn es in der Praxis gelegentlich bereits geschieht – dringend verbindliche Regelungen. Solche offiziellen Regelungen würden wesentlich dazu beitragen, die regelmäßige Teilnahme an der beruflichen Weiterentwicklung und Fortbildung auch nach außen hin sichtbar attraktiv zu machen.

Das persönliche Engagement im Bereich der Fortbildung wird in aller Regel als selbstverständlicher Bestandteil der beruflichen Tätigkeit der Lehrkräfte angesehen. Eigene Zeitdeputate dafür sind in aller Regel nicht vorgesehen. Vielmehr wird oft erwartet, dass Fortbildung parallel zur Unterrichtstätigkeit erfolgt, was angesichts der Arbeitsbelastung der Lehrer schlicht unrealistisch ist.

Eine erfolgreiche Teilnahme an Fortbildungsaktivitäten bindet Arbeitszeit und erfordert einen ‚freien Kopf‘. Beides lässt sich zeitlich kaum mit der eigenen, aktiven Unterrichtstätigkeit vereinbaren. Fortbildungsmaßnahmen von *mindestens* ganztägiger Dauer sind erheblich wirksamer als nebenbei besuchte Nachmittags- oder Abendveranstaltungen. Die Teilnahme an solchen Maßnahmen sollte in Zukunft die Regel werden und von den Schulleitungen nachdrücklich unterstützt werden.

Fortbildung muss als gleichgewichtiger Bestandteil der beruflichen Verpflichtungen von Lehrerinnen und Lehrern wahrgenommen werden. Dass Fortbildungsaktivitäten häufig zu Unterrichtsausfall führen, ist außerordentlich bedauerlich und sollte durch entsprechende organisatorische Maßnahmen möglichst abgefangen werden. Die Entscheidung über die Freistellung vom Unterricht zum Besuch von Fortbildungen liegt in aller Regel im Ermessen der Schulleitungen. Angesichts der allgemein bekannten Problematik des Lehrermangels führt dies in der Praxis zu erheblichen Einschränkungen der Möglichkeiten zur Fortbildung. Auch für viele Lehrerinnen und Lehrer ist drohender Unterrichtsausfall ein erhebliches Hemmnis bei der Planung von Fortbildungsmaßnahmen: oft überwiegt das „schlechte Gewissen“, den eigenen Unterricht zu vernachlässigen.

Das Fortbildungswesen ist – von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich – in der Regel wenig stringent organisiert. Es fehlt an Verbindlichkeit und Breitenwirkung.

Dieser Konflikt – Vermeidung von Unterrichtsausfall vs. Notwendigkeit der Fortbildung – muss und kann durch wirksame Vertretungsmaßnahmen überwunden werden.

Insgesamt müssen die Rahmenbedingungen für die kontinuierliche berufliche Weiterentwicklung von Lehrerinnen und Lehrern erheblich verbessert werden: Zum einen müssen die Angebote an Fortbildungsmaßnahmen bedarfsdeckend gestaltet werden. Zum anderen muss den Lehrerinnen und Lehrern die Teilnahme an diesen häufig ganz oder mehrtägigen Veranstaltungen in angemessenem Umfang ermöglicht werden. Fortbildungsmaßnahmen müssen daher bei der Bemessung der Lehrerarbeitszeit in viel stärkerem Maße Beachtung finden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass solche Fortbildungsmaßnahmen meist außerhalb der Unterrichtszeit stattfinden.

Wenn diese Voraussetzungen gegeben sind, sollten auch verbindliche Regelungen zur Fortbildungsverpflichtung eingeführt werden!

Das Nationale MINT Forum hat zur Lehrerfortbildung folgende Thesen aufgestellt (WINTER *et al.*, 2015), denen wir uns anschließen:

- Die Fortbildung von Lehrerinnen und Lehrern in der bisherigen Form hat erhebliche Defizite.
- Die herkömmliche Fortbildung muss durch kontinuierliche professionelle Entwicklung ersetzt werden.
- Train the trainer: Auch die Fortbildnerinnen und Fortbildner müssen auf ihre Aufgabe systematisch vorbereitet werden.
- Die verschiedenen Phasen der Lehrerbildung müssen verzahnt werden.
- Es müssen Anreize für Fortbildung und Personalentwicklung geschaffen werden.
- Personalentwicklung muss zu einer zentralen Aufgabe der Schulleitung werden.
- Kernelemente einer zeitgemäßen, kontinuierlichen professionellen Entwicklung sind Lern- und Arbeitsgemeinschaften von Lehrkräften (Vorbild SINUS).
- Den Universitäten kommt bei der kontinuierlichen professionellen Entwicklung von Lehrkräften eine wichtige Rolle zu, die sie sorgfältig wahrnehmen sollten.
- Kontinuierliche professionelle Entwicklung sollte auch außerhalb des Kontexts Schule ermöglicht werden.
- Kontinuierliche professionelle Entwicklung muss zwingend evaluiert werden.

2.6 Zusammenfassung und Folgerungen

Wir halten zunächst noch einmal fest, dass die Stundentafeln und Lehrpläne der 16 Bundesländer sich als komplizierte und schwer überschaubare organisatorische und inhaltliche Vielfalt präsentieren. Das gilt jedenfalls für das Schulfach Physik. Dass dies nicht zu der heute so dringlich geforderten Mobilität der Menschen (und vor allem der Familien) innerhalb Deutschlands passt, bedarf keiner besonderen Erläuterung. Dringend geboten wäre daher eine gewisse Vereinheitlichung der Stundentafeln und Inhalte über die Bundesländer hinweg. Diese Studie soll dafür Anhaltspunkte bieten.

Die sehr unterschiedlichen Lehrpläne in den 16 Bundesländern sind bei Familien mit schulpflichtigen Kindern ein massives Hindernis für die immer wieder geforderte Mobilität der Bürger.

Tab. 2.3: Erforderliche Stundenzahlen für das Schulfach Physik in Sek I, Jahrgänge 5 bis 10 und Sek II (G8), Anforderungsniveau GK und LK, entsprechend den „Best Practice“ Beispielen in Anhang A nach Tab. A.1, Tab. A.5 und Tab. A.6 .

		Stundenzahl je Jg						SEK II (G8) ^{b)}	
		SEK I					GK	LK	
		5/6 ^{a)}	7	8	9	10			
nominale Wochenstunden (<i>nWStd</i>)		2	2	2	2	2			
insgesamt (<i>nWStd</i>)			10				4 ^{e)}	10	
verfügbare Stundenzahl (<i>vStd</i>) ^{d)}		56	56	56	56	56			
insgesamt (<i>vStd</i>) ^{d)}			280 ^{e)}				112	280	

a) ggf. im Rahmen von fachübergreifendem Unterricht entsprechend, sofern die in Abschn. 1.5 formulierten Voraussetzungen erfüllt sind.

b) Für G9 sollten diese Zahlen um 50% größer sein.

c) In Sachsen sind diese 4 *nWStd* (GK) verpflichtend; in anderen Bundesländern werden 6 *nWStd* angesetzt; sie sollten verpflichtend sein, sind es aber in der Regel nicht!

d) nach Gl. (2.1).

e) Der Bundesdurchschnitt liegt derzeit bei 240 *vStd*, also deutlich darunter.

Einer Überfülle von Inhalten, die vermittelt werden sollen, steht ein viel zu knappes Stundendeputat für das Fach Physik gegenüber.

Gerade für das als schwierig empfundene Schulfach Physik ist diese länderspezifische Vielfalt höchst problematisch: im Falle eines Ortswechsels von einem ins andere Bundesland müssen Schüler bzw. Schülerinnen in diesem Fach besonders heftige Brüche erleben und durchleiden. Eine Harmonisierung dieser Verschiedenartigkeit wird sich wohl nur über einen längeren Zeitraum realisieren lassen, sollte aber dringend in Angriff genommen werden. Danach sollte aber vor allem langfristige Stabilität der Rahmendaten und Inhalte angestrebt werden, ohne welche ein erfolgreicher, nachhaltiger Unterricht in einem so anspruchsvollen Fach nicht gewährleistet werden kann.

Die obigen Überlegungen zeigen freilich auch eine zentrale Gemeinsamkeit aller Lehrpläne der Länder: Eine überbordende Fülle von Inhalten, die vermittelt werden sollen, wird mit einem prekären Stundendeputat für das Fach kontrastiert. Für Abhilfe sind einschneidende Maßnahmen unvermeidlich.

Einerseits müssen natürlich die Stundentafeln für die verschiedenen Fächer in den Schulen immer wieder auf den Prüfstand gestellt werden. Sie unterliegen seit jeher einem Wettbewerb um deren „richtige“ Anteile. Andererseits möchte jede Fachdisziplin ihr Fach angemessenen vertreten sehen, hält es für besonders wichtig. Überdies drängen neue Fächer in die schulischen Lehrpläne. Der je nach Jahrgangsstufe realisierte Fächerkanon ist also ein Kompromiss sehr unterschiedlicher Ansprüche und Wünsche. Wie wir in Abschn. 1.2 begründet haben, ist Physikunterricht in der Schule unverzichtbar. Dies ist seit über 100 Jahren unumstritten. Weniger klar ist der ihm eingeräumte Umfang. Angesichts der anhaltend großen gesamtgesellschaftlichen Bedeutung der Physik fordern wir, dass sich alle Bundesländer

mindestens an den aktuellen Physikstundenzahlen der **Best Practice** Länder nach Tab. 2.3 auf der vorherigen Seite orientieren!

Die klassische Physik ist seit der Aufklärung Grundbaustein einer Allgemeinbildung, die auf die Vermittlung eines realistischen Weltbilds ausgerichtet ist und zum Ziel den mündigen Bürger hat, der Geschehen und Entwicklungen in der Gesellschaft aus eigenem Verständnis heraus beurteilen kann. Auf die moderne Physik kann aber ebenfalls nicht verzichtet werden: Auf *Quantenmechanik, Relativitätstheorie, Halbleitern oder Lasern, usw.* beruhende Anwendungen bestimmen zunehmend die technische (Computer, Hightech-Geräte) und auch die zivilisatorische (*Medien*) Umgebung der nachwachsenden Generation. Die ihnen zugrunde liegende Physik ist daher für sie von besonderem Interesse. Ihre Vermittlung erfordert zusätzliche Zeit und besondere didaktische Kompetenz.

Auf neuen physikalischen Prinzipien beruhende Methoden und Geräte (*Laser-Spektroskopie, Kurzzeit-Methoden, tomographische Verfahren*) finden zunehmend schnell Eingang in für die Gesellschaft wichtige akademische Berufszweige auch jenseits der Physik, wie *Medizin, Biologie, Chemie und Technik*. Ein markantes Beispiel ist das Übermikroskop des Physikers(!) Stefan HELL, der dafür 2014 den Nobelpreis für Chemie(!) erhielt.

Studierende dieser Fächer müssen aus der Schule ein ausreichendes physikalisches Grundverständnis der modernen Physik mitbringen, damit sie später in ihrer Berufsausübung so neue Möglichkeiten überhaupt erkennen und ggf. optimal nutzen können – die in ihrer Fach-Studienzeit oft noch gar nicht existierten.

Viele spannende Themen der modernen Physik bestimmen unseren Alltag maßgeblich mit. Sie müssen daher bereits in der Sekundarstufe I Eingang in die Lehrpläne finden.

2.7 Erfordernisse für einen nachhaltigen Physikunterricht

Wir fassen die Erfordernisse für eine nachhaltige und effiziente Einordnung des Fachs Physik in die schulischen Lehrpläne wie folgt zusammen:

1. Angesichts der anhaltend großen gesamtgesellschaftlichen Bedeutung der Physik darf das Stundenkontingent auf keinen Fall weiter abgesenkt werden, wie es in den letzten Jahren und Jahrzehnten in vielen Bundesländern zu beobachten war (zuletzt im Rahmen der G8-Einführung)! Vielmehr ist eine Anpassung der in **Sek I** und **Sek II** für Physik vorgesehenen Stundenzahl an die fachlichen Erfordernisse dringend geboten.
2. Das Stundenkontingent für Physik sollte sich in allen Bundesländern mindestens an dem derzeitigen Beispiel für „**Best Practice**“ orientieren (s. Tab. 2.3 auf der vorherigen Seite): Physik braucht insgesamt 10 Wochenstunden in der **Sek I** und sollte wieder als obligatorischer Kurs in der **Sek II** mit insgesamt 4 Wochenstunden belegt werden.
3. Die hier geforderten Physikstunden-Zahlen werden leider in einer Reihe von Bundesländern aktuell erheblich unterschritten. Sie bilden aber die Basis für ein insgesamt vertretbares Minimum an Vermittlung physikalischer Kompetenzen für den mündigen Staatsbürger. Ein kompaktes Grundgerüst sollte dafür bereits mit dem mittleren Schulabschluss **MSA** (also in der **Sek I**) erarbeitet werden!

4. Wir müssen uns von dem unrealistischen Ziel einer auch nur annähernd vollständigen Vermittlung des Teilgebiete-Kanons der Physik verabschieden! Angesichts der in Abschn. 2.3 skizzierten Stofffülle müssen wir einen grundsätzlichen Wandel bei der Auswahl von Inhalten im Fach Physik einleiten. *Die radikalste und vermutlich einzig erfolgversprechende Konsequenz* dürfte die Entwicklung eines in sich schlüssigen *neuen Gesamtkonzepts* sein, das von vornherein den Vollständigkeitsgedanken aufgibt. Wir werden ein solches Gesamtkonzept für Physik in Kap. 3 vorstellen.
5. Eine Reihe von Problemen des Physikunterrichts, die wir in Abschn. 2.5 skizziert haben, muss dringend überwunden werden. In Kap. 4 werden wir eine Reihe von sich heute bietenden Chancen für qualitative Verbesserungen des Physikunterrichts vorstellen.
6. Eine die Bundesländer übergreifende, weitgehende Vereinheitlichung der Lehrpläne sollte auf der Basis dieses Konzepts zeitnah in Angriff genommen werden. Nach der Grundgesetzänderung von 2006 (Föderalismusreform) sind hier die Bundesländer in der Verantwortung, ein Mindestmaß an Einheitlichkeit der Lebensbedingungen auch im Bildungsbereich zu schaffen, der ja für unsere Gesellschaft von zentraler Bedeutung ist. Nur so kann die immer wieder öffentlich geforderte Mobilität der Bürger überhaupt ermöglicht werden!
7. Größte Anstrengungen sind notwendig, um die Attraktivität des Lehrerberufs im **MINT** Bereich nachhaltig zu verbessern. Politik und Medien müssen dabei aktiv mit den Berufsverbänden zusammen arbeiten. Denn: Auf die Lehrer kommt es an! Es besteht ein gewaltiger Mangel an Nachwuchs bei Lehrerinnen und Lehrern gerade im Fach Physik, da einschlägig begabten Studierenden eine ganze Palette von gut bezahlten Alternativen in der Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung offen stehen.
Auch die Arbeitsbedingungen für Lehrer sind dabei von entscheidender Bedeutung. Dazu gehören u.a. die nachstehend genannten Aspekte.
8. Moderner Physikunterricht braucht eine angemessene Ausstattung an Personal, Räumen, Mobiliar, Demonstrations- und Schülerexperimenten und technischem Gerät. Diese Geräte müssen kontinuierlich gewartet und ergänzt werden, wie in Abschn. 2.5.3 ausgeführt wurde.
9. Weiterbildung ist ein unverzichtbarer Bestandteil der Aufgaben verantwortungsbewusster Lehrkräfte. Gerade auf dem Gebiet der modernen Naturwissenschaften ist die regelmäßige fachliche wie auch fachdidaktische Fortbildung entscheidend für die Qualität des Unterrichts. Mehrere Fortbildungstage pro Jahr sind erforderlich! Dies muss auf breiter Basis bewusst gemacht werden: in den Kollegien, bei den Schulleitungen und bei den Schulverwaltungen ebenso wie bei den Eltern. Die Teilnahme an ganz- oder mehrtägigen Fortbildungsmaßnahmen muss allen Lehrkräften in angemessenem Umfang ermöglicht werden. Engagement bei der persönlichen Fortbildung muss entsprechend anerkannt, bei der Bemessung der Lehrerarbeitszeit berücksichtigt und z. B. bei Bewerbungen, dienstlichen Beurteilungen und der Besetzung von Funktionsstellen honoriert werden. Unter diesen Voraussetzungen sollte professionelle berufliche Weiterentwicklung für alle Lehrkräfte verpflichtend geregelt werden.

Überblick

In diesem zentralen Kapitel wollen wir unsere Vorschläge für einen Physiklehrplan in den Jahrgangsstufen (Jgg.) 5-12 entwickeln, wobei in den Jgg. 5/6 Physik ggf. im Rahmen eines Fachs Naturwissenschaft unterrichtet werden kann. Dazu werden wir in Abschn. 3.1 zunächst die aktuelle Situation anhand unserer Analyse der Lehrpläne noch einmal kritisch beleuchten und sodann die Frage nach den „unverzichtbaren Inhalten“ stellen. In Abschn. 3.2 entwickeln wir ein spezielles Orientierungsschema für künftige Lehrpläne mit den drei Dimensionen (*B*) *Basiskonzepte*, (*M*) *Methoden* und (*K*) *schülernahe und gesellschaftsrelevante Kontexte*. In Abschn. 3.3 konkretisieren wir die vier von uns ausgewählten Basiskonzepte in einer ersten groben Skizze. Überlegungen zur Realisierung von darauf aufbauenden Lehrplänen schließen sich in Abschn. 3.4 an.

In Kap. 1 hatten wir Grundsätzliches zum Bildungswert der Physik und speziell zur Unverzichtbarkeit des Schulfachs Physik festgestellt. Als Kernaufgaben des Schulunterrichts in Physik hatten wir naturwissenschaftliche Grundbildung als Teil der Allgemeinbildung (*Scientific Literacy*) für den mündigen Bürger identifiziert – und nicht primär die Vorbereitung auf ein Physikstudium oder verwandte Studiengänge. Bis zum mittleren Schulabschluss (*MSA*) sollte dabei ein Grundverständnis von Physik vermittelt und erarbeitet werden, um sich in der Welt von heute zurechtfinden und bei Bedarf selbständig weiterbilden zu können. Idealerweise sollte so viel Interesse geweckt und Kompetenz aufgebaut werden, dass man sich gerne und mit Gewinn in der *Sek II* vertieft mit dem Fach auseinandersetzen möchte.

In Kap. 2 sahen wir uns dann mit dem großen Dilemma des Physikunterrichts konfrontiert: *einerseits* ist die Stundenzahl für das Fach Physik in der Schule extrem knapp bemessen – selbst im „*Best Practice*“ Fall. *Andererseits* stehen wir vor einer übergroßen Stofffülle von als „grundsätzlich bedeutungsvoll“ erkannten Themen (siehe Tab. 2.2). Und *schließlich* fordern die Bildungsstandards der *KMK (2004)* zu Recht, dass diese nicht lediglich als Fachwissen vermittelt werden. „Fachmethodische Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie die Fähigkeit zum Sprechen über Physik und zur persönlichen Einschätzung der Bedeutsamkeit bestimmter Sachverhalte sind ebenso von großer Bedeutung“ (*SCHECKER und WIESNER, 2007*). *Viertens* gehört das Schulfach Physik leider zu den unbeliebtesten Fächern überhaupt, was den Unterricht natürlich erheblich erschwert. Dafür haben wir eine

Physik in der Schule muss den Schülern und Schülerinnen Freude machen. Physik sollte als etwas Wichtiges und Sinnvolles für ihr Leben und ihr Verständnis der Welt erfahren werden. Dafür müssen wir Physik in der Schule neu denken!

Gegenwärtig hat der Physikunterricht mindestens zwei gewaltige Probleme: eine enorme Stofffülle gepaart mit einem prekären Stundendeputat einerseits und andererseits eine sehr niedrige Attraktivität, zumindest für das Gros der Schüler und Schülerinnen.

Reihe möglicher Gründe kennengelernt – aber auch erfahren, dass wir in Deutschland nicht allein sind auf der Welt mit diesen Problemen. Daher können wir möglicherweise aus einem internationalen Vergleich fruchtbare Anregungen für intelligente Lösungsansätze gewinnen.

Hier wollen wir nun Grundüberlegungen für einen *modernen und realistischen* Physiklehrplan für die Schule in **Sek I** und **Sek II** vorstellen und einen ersten Vorschlag für dessen konkrete Inhalte unterbreiten. Zentral ist dabei einerseits die Erkenntnis, dass Physik in ihrer fachlichen Gesamtheit im aktuell gegebenen Rahmen schon aus Zeitgründen nicht vermittelbar ist – auf welchem bescheidenem Niveau auch immer. Andererseits wird die stattdessen immer wieder erhobene Forderung nach *exemplarischem Lernen* nur in einem Raster klarer Kriterien sinnvoll.

3.1 Die fachspezifischen Inhalte im Überblick

3.1.1 Die aktuelle Situation

Bis zum mittleren Schulabschluss (**MSA**) sollte wenigstens eine entwicklungsfähige Basis für ein physikalisches Verständnis unserer Welt vermittelt bzw. erworben werden. Dafür stellen die Stundentafeln, wie wir in Abschn. 2.2.3 ausgeführt haben, im Bundesdurchschnitt nur 240 Schulstunden Physik zur Verfügung.¹ Dem stehen im Prinzip die Themenfelder mit ihren Unterthemen gegenüber, die in Tab. 2.2 aufgeführt sind, und aus denen es bei der Erstellung von Lehrplänen „exemplarisch“ auszuwählen gilt. Wir erinnern uns: von diesen werden im Durchschnitt der Bundesländer tatsächlich 67 in den aktuellen Lehrplänen für die **Sek I** aufgerufen.

Spätestens wenn man versucht, diese zum Teil sehr umfänglichen Unterthemen der typischen Lehrpläne an unseren Schulen mit entsprechenden Stundendeputaten zu versehen, stellt man fest, dass es praktisch unmöglich ist, ihnen jeweils eine unter didaktischen und fachlichen Gesichtspunkten angemessene Stundenzahl zuzuweisen (von den insgesamt 240).

Die meisten Lehrpläne machen konsequenterweise gar nicht erst den Versuch, diese Aufgabe zu lösen. Allenfalls findet man (in einigen wenigen Lehrplänen der Länder) empfohlene Schulstunden (à 45 Minuten) für Gruppen von Unterthemen. Um nun den tatsächlichen Bedarf an Schulstunden wenigstens größenordnungsmäßig abschätzen und einordnen zu können, werfen wir hier unter diesem Gesichtspunkt noch einmal einen Blick auf die wenigen Beispiele, bei denen solche Stundenempfehlungen konsequent über alle Schuljahrgänge gemacht werden. Sie sind in den Tabellen 3.1-3.4 in kompakter Form zusammengestellt.²

Der Aufstellung jedes Rahmenlehrplans im Fach Physik muss eine möglichst detaillierte und vor allem **realistische** Aufteilung der verfügbaren Unterrichtsstunden auf die zu vermittelnden Themenfelder vorangehen.

¹Diese Stundenzahl ergibt sich nach Kap. 2.2.3 aus dem gemittelten Wert der Stundentafeln in den 16 Bundesländern für die Jgg. 5-10 im Gymnasium (ggf. unter Einschluss der Grundschule sowie anteiliger Physikstunden im Fach Naturwissenschaft o.ä.) und berücksichtigt typische Ausfallzeiten (Klassenarbeiten, Prüfungen, Ausflüge usw.)

²Wir bemerken hier ausdrücklich, dass die Zuordnung der Inhalte von Lehrplänen zu unserer Gliederung bei einigen Themenfeldern etwas ambivalent ist. So bedeutet etwa das Nichterscheinen einzelner, als bedeutsam erkannter Themenkomplexe keineswegs, dass diese nicht vielleicht doch in einem anderem Kontext angesprochen werden. Die

Tab. 3.1: Kurzübersicht über einen typischen Rahmenlehrplan (Beispiel Bayern) mit empfohlenen Stundenzahlen je Doppeljahrgang in **Sek I** (Jgg. 5/6, 7/8, 9/10) und **Sek II**. Die Zahlen für **Sek II** entsprechen dem normalen Grundkurs in G8 (keine Spezialthemen).

Hauptthemenfeld	Sek I				Sek II	Anm.
	5/6	7/8	9/10	Σ		
1. Optik		16		16		
2. Elektrizität		36	18	54	78	
3. Elektronik				0		
4. Mechanik		42	48	90		
5. Akustik				0		
6. Spezielle Relativitätstheorie				0	6	
7. Wärmelehre		18		18		
8. Struktur der Materie I			22	22	45	teils in 7.
9. Struktur der Materie II				0	8	
10. Quantenphysik			16	16	12	
11. Astrophysik und Kosmologie			8	8		
12. Übergreifende Themen	42			42		
Wahlfächer				0		
Summe Schulstunden	42	112	112	266	149	

Tab. 3.2: Kurzübersicht über einen typischen Rahmenlehrplan (Beispiel Hessen) mit empfohlenen Stundenzahlen je Doppeljahrgang in **Sek I** (Jgg. 5/6, 7/8, 9/10) und **Sek II**. Die Zahlen für **Sek II** entsprechen dem normalen Grundkurs in G8.

Hauptthemenfeld	Sek I				Sek II	Anm.
	5/6	7/8	9/10	Σ		
1. Optik	8	22		30		
2. Elektrizität	6	35	26	67	54	
3. Elektronik				0		
4. Mechanik		25	60	85	18	
5. Akustik				0		
6. Spezielle Relativitätstheorie				0		
7. Wärmelehre	8	12		20		
8. Struktur der Materie I			10	10	18	teils in 7.
9. Struktur der Materie II				0		
10. Quantenphysik				0	18	
11. Astrophysik und Kosmologie				0		
12. Übergreifende Themen	4			4		
Wahlfächer				0	24	
Summe Schulstunden	26	94	96	216	132	

Zusammenstellung und Übersicht ist dennoch sinnvoll und durchaus erhellend.

Tab. 3.3: Kurzübersicht über einen typischen Rahmenlehrplan (Beispiel Sachsen) mit empfohlenen Stundenzahlen je Doppeljahrgang in **Sek I** (Jgg. 5/6, 7/8, 9/10) und **Sek II**. Die Zahlen für **Sek II** entsprechen dem normalen Grundkurs in G8.

Hauptthemenfeld	Sek I			Σ	Sek II	Anm.
	5/6	7/8	9/10			
1. Optik	17		16	33	14	
2. Elektrizität	5	33		38	28	
3. Elektronik			9	9		
4. Mechanik	14	34	16	64	24	
5. Akustik				0		
6. Spezielle Relativitätstheorie				0		
7. Wärmelehre	14	25	18	57		
8. Struktur der Materie I				0	20	teils in 7.
9. Struktur der Materie II				0		
10. Quantenphysik				0	10	
11. Astrophysik und Kosmologie			18	18		
12. Übergreifende Themen		8	23	31		
Wahlfächer	4	8	8	20	8	
Summe Schulstunden	54	108	108	270	104	

Tab. 3.4: Kurzübersicht über einen typischen Rahmenlehrplan (Beispiel Sachsen-Anhalt) mit empfohlenen Stundenzahlen je Doppeljahrgang in **Sek I** (Jgg. 5/6, 7/8, 9/10) und **Sek II**. Die Zahlen für **Sek II** entsprechen dem normalen Grundkurs in G8.

Hauptthemenfeld	Sek I			Σ	Sek II	Anm.
	5/6	7/8	9/10			
1. Optik	16		16	32		
2. Elektrizität		36	24	60	45	
3. Elektronik				0		
4. Mechanik	19	40	46	105	45	
5. Akustik	6			6		
6. Spezielle Relativitätstheorie				0		
7. Wärmelehre	9	32		41	45	
8. Struktur der Materie I			14	14	45	teils in 7.
9. Struktur der Materie II				0		
10. Quantenphysik				0		
11. Astrophysik und Kosmologie				0		
12. Übergreifende Themen	4		8	12		
Wahlfächer				0		
Summe Schulstunden	54	108	108	270	180	

Tab. 3.5: Gemittelte Stundenzahlen, die von den Mitgliedern der DPG-Autorengruppe den Themen des Stoffkatalogs in den Tabellen 3.1-3.4 zugeordnet wurden. Als verfügbare Gesamtstundenzahlen für das Fach Physik wurden hier die bundesweiten Mittelwerte (*nWStd*) angesetzt.

Hauptthemenfeld	Sek I			Σ	Sek II
	5/6	7/8	9/10		GK
1. Optik	9	9	9	27	13
2. Elektrizität	8	19	18	45	30
3. Elektronik	0	1	7	7	5
4. Mechanik	10	23	23	56	27
5. Akustik	2	2	3	7	0
6. Spezielle Relativitätstheorie	0	0	1	1	4
7. Wärmelehre	6	12	16	34	8
8. Struktur der Materie I	1	2	7	9	19
9. Struktur der Materie II	0	0	1	1	1
10. Quantenphysik	0	0	2	2	6
11. Astrophysik und Kosmologie	4	2	9	15	9
Wahlfächer	8	26	1	35	32
Summe Schulstunden	48	96	96	240	153

Zu den Details der jeweils gewählten stofflichen Untergliederungen und zu den thematischen Kontexten, in denen dieser Stoff präsentiert werden soll, mag unsere ausführliche Übersicht über die Lehrpläne der Länder in [Anhang C](#) eine erste Wegweisung bieten.

Die vier Tabellen auf den vorangehenden zwei Seiten illustrieren bereits sehr eindrucksvoll, auf welcher unterschiedlichen Weise man den als unverzichtbar angesehenen Kanon physikalischer Fachthemen organisieren und über die Schuljahre verteilen kann.

Das Problem, wie eine Überfülle von Inhalten in der knappen Zahl von Schulstunden vermittelt werden kann, lässt sich auf diese Weise freilich nicht lösen. Deshalb sollten *zeitliche Vorgaben/Empfehlungen* für die vorgesehenen Themen *jeder Aufstellung eines Lehrplans vorausgehen* (und sie dann ergänzend begleiten, um Korrekturen zu ermöglichen). Es ist eine Zumutung für die Lehrkräfte, ihnen allein diese derzeit praktisch unlösbare Aufgabe zu überlassen und sie damit ständig dem Gefühl des Versagens auszusetzen.

Innerhalb der DPG-Autorengruppe haben wir ebenfalls den Versuch gemacht, vor dem Hintergrund der langjährigen Erfahrung der Mitglieder mit Physik, eine Gewichtung dieser Themen vorzunehmen. Es zeigt sich, dass dies zu individuell sehr unterschiedlichen Einschätzungen führt. Im Mittel über alle Mitglieder der Arbeitsgruppe ergab sich das in Tabelle 3.5 zusammengestellte Bild, das durchaus mit dem der Lehrpläne der Länder vergleichbar ist.

Bemerkenswert an diesen Übersichten erscheinen uns vor allem folgende Beobachtungen (und diese gelten *mutatis mutandis* auch für die übrigen, nicht

Allen Lehrplänen der Länder gemeinsam ist, dass sie keine überzeugende Lösung des Dilemmas zwischen prekären Stundentafeln und übergroßer Stofffülle bieten, ja bieten können.

oder nicht vollständig mit Stundenempfehlungen versehenen Lehrpläne):

1. Es ist unmöglich, eine vollständige Abdeckung von etwa 2/3 der als wichtig erkannten Unterthemen nach Tab. 2.2 unter didaktischen und fachlichen Gesichtspunkten näherungsweise mit angemessenen Stundenzahlen bis zum MSA zu erreichen.
2. Von Bundesland zu Bundesland unterscheiden sich die Lehrpläne schon in ihrer Schwerpunktsetzung bezüglich der Themen des klassischen Fachkanons z.T. dramatisch (z.B. Bayern/Sachsen: Mechanik 90/64 Stunden, Optik 16/33 Stunden). Aber auch hinsichtlich der zeitlichen Abfolge sind die Lehrpläne sehr unterschiedlich – mit zu erwartenden negativen Folgen für Schüler,³ die gezwungen sind, das Bundesland während ihrer Schulzeit zu wechseln.
3. Diese gewisse Willkür der zeitlichen Abfolge von Themenfeldern lässt auch den Verdacht aufkommen, dass eine gegenseitige Abhängigkeit oder eine Verbindung der verschiedenen fachlichen Schwerpunkte in der Physik eigentlich nicht erwartet oder für Schüler als nicht einsehbar eingestuft wird – wo doch gerade die immer wiederkehrenden Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten zu den bedeutungsvollsten Erfahrungen der Physik gehören – man denke beispielsweise nur an das Stichwort Erhaltungssätze.
4. Daher sieht es für den flüchtigen Betrachter der Lehrpläne so aus, als ob die verschiedenen Themenfelder des Physikkanons scheinbar unzusammenhängend nebeneinander stünden – und so nehmen erfahrungsgemäß Jugendliche (und insbesondere Mädchen) die Physik in der Schule auch wahr und sind befremdet, wie wir in Abschn. 4.3-4.4 noch näher ausführen werden (s. auch Anhang G.6).
5. Bei genauerem Hinsehen fällt besonders auf, dass gerade die übergreifenden physikalischen Konzepte, welche die Gebiete der Physik verbinden, erst zu einem sehr späten Zeitpunkt ins Blickfeld der Schüler gebracht werden, also allenfalls zum Ende der Sek I als etwas, „wovon man auch einmal gehört haben sollte“. Fast alle spannende, moderne Physik (Struktur der Materie,⁴ Quantenphysik, Relativitätstheorie, Kosmologie) wird überwiegend der Sek II zugeordnet. Für die gesamte Physik zentrale Themen wie z. B. „Wellen als vielschichtige Naturerscheinung“ tauchen häufig erst im Leistungskurs in der 12. Klasse auf; typischerweise werden Wellen nur im Ansatz in der 10. Klasse in mechanischem Kontext eingeführt. – Dabei könnte doch schon jedes Kind im Kindergarten für die faszinierenden Phänomene von Beugung und Interferenz interessiert werden, wenn man es gezielt beobachten lässt, was passiert, wenn es einen oder gar zwei Steine in einen Teich wirft. Auch wenn es zu diesem Zeitpunkt noch nicht wirklich versteht, was da passiert, wird es sich später an diese Phänomene erinnern und der Unterricht zur Akustik oder Optik kann daran anknüpfen.

Physik in der Schule präsentiert sich bis zum MSA überwiegend mit den Themen des 18. und 19. Jahrhunderts. Moderne Physik, übergreifende Konzepte und Kernideen spielen in aller Regel erst in der Sek II eine Rolle – wenn überhaupt.

³generisches Maskulinum, siehe Bemerkung zum Sprachmodus S. 1

⁴Meist werden in der Sek I lediglich einfache Teilchenmodelle im Rahmen der Wärmelehre behandelt (s. Anhang Tab. B.1).

6. Das bei Weitem am intensivsten behandelte Themenfeld ist die Mechanik⁵ – gewiss ein wichtiges Gebiet der klassischen Physik, aber wer erinnert sich nicht an Schulstunden voller Langeweile mit der schiefen Ebene oder dem schrägen Wurf? Auf Mechanik folgt Elektrizität, wobei das Schwergewicht im Schulunterricht erfahrungsgemäß bei elektrischen Stromkreisen liegt, die sich besonders für intensive Rechenübungen eignen und die bei Schülerinnen und Schülern wenig Gegenliebe finden. Nur im Falle Sachsens wird dieses große Gewicht der Elektrizität von der Wärmelehre übertroffen. Deutlich weniger prominent erscheint in den Lehrplänen die Optik, eine der ganz wichtigen und technologierelevanten modernen Forschungszweige; man denke nur an die jüngsten Nobelpreise in Chemie und Physik aus diesem Umfeld, an Laser und das immer bedeutsamere Feld der optischen Datenübertragung und -manipulation.

Die kanonischen Fachgebiete der Physik (Mechanik, Wärmelehre, Elektrizität, Optik usw.) sollten ausgewogen in den Lehrplänen repräsentiert sein und bereits in der Sek I Aspekte moderner Physik einschließen.

3.1.2 Einige Grundgedanken zur Gestaltung von Lehrplänen

Es genügt an dieser Stelle nicht, auf exemplarisches Lernen hinzuweisen, solange wir keine attraktive Alternative vorweisen können, welche die offenbar bei der Lehrplangestaltung wahrgenommene Verpflichtung zu umfassender Unterrichtung und Abarbeitung des klassischen Kanons ablösen könnte.⁶

Die hier aus den realen zeitlichen Rahmenbedingungen des schulischen Physikunterrichts gezogenen Schlussfolgerungen schließen somit eine fachsystematische, den klassischen Kanon der physikalischen Teilgebiete mehr oder weniger vollständig präsentierende Gliederung der Lehrpläne für die Schule einfach aus Zeitgründen aus! Damit die Schüler Physik dennoch als überzeugenden Ansatz zur Naturbeobachtung erleben können (und nicht lediglich als additiv zu erlernende Sammlung von einzelnen Fakten), muss die Schulphysik in einer alternativen, überzeugenden Systematik präsentiert werden. Diese muss **kumulatives** Lernen erlauben und die entscheidenden inhaltlichen Zusammenhänge deutlich machen.

Einen solchen Ansatz zeigen die nachstehenden, grundsätzlichen Überlegungen der Nationalen Akademien der USA auf (GOLLUB *et al.*, 2002, S. 139, sinngemäß übersetzt):

„Ein mathematisch-naturwissenschaftliches Curriculum für die weiterführende Schule, das auf Lernen und Verstehen ausgerichtet ist,

- strukturiert seine Konzepte wie auch die fachlichen und methodischen Inhalte der disziplinären Wissensbasis um die grundsätzlichen großen Ideen und Begriffe des Feldes herum;
- verbindet neues Wissen mit dem, was bereits bekannt ist, indem es Konzepte in einer inhaltlichen und logischen Reihenfolge präsentiert, die auf das aufbaut, was in früheren Jahrgängen bereits gelernt wurde;

Angesichts der prekären Studentafeln für das Fach Physik ist es unmöglich, den gesamten Kanon klassischer Physik vollständig zu erfassen – auf welchem reduzierten Niveau auch immer.

Ein realistisches, nachhaltiges Curriculum der Schulphysik konzentriert sich auf Tiefenverständnis und weniger auf Breite des Wissens, das exemplarisch in verschiedenen Kontexten geübt werden sollte.

⁵Interessanterweise wird Mechanik von unserer DPG-Autorengruppe nach Tab. 3.5 im Mittel deutlich niedriger priorisiert (56 Std).

⁶Einige grundsätzliche Überlegungen zum exemplarischen Lernen werden in [Anhang G.1](#) vorgetragen.

- konzentriert sich auf Tiefe des Verständnisses und nicht auf inhaltliche Breite, indem es den Lernenden vielfach Gelegenheit gibt, in verschiedenen Kontexten zu praktizieren und zu demonstrieren, was sie gelernt haben;
- schließt strukturierte Lernaktivitäten ein, die es den Lernenden erlauben, auf echte oder simulierte Weise Problemlösungen zu erleben und Situationen zu erkunden, die auf persönlichen Erfahrungen und praktischen Anwendungen basieren;
- unterstützt die Lernenden dabei, ihre Fähigkeiten sinnvoll zu erweitern und auf neue Probleme und Kontexte anzuwenden;
- umfasst Sprechweisen und Prozeduren für die Erkundung und Verifikation von Modellen;
- unterstreicht interdisziplinäre Verbindungen und Überblicke und hilft den Lernenden bei Anliegen und Problemen in ihrem Leben außerhalb des Klassenzimmers.“

Diese Grundgedanken halten wir für wegweisend bei der Gestaltung eines modernen Schulfachs Physik.

Es ist zu wünschen, dass sie bundesweit in die Gestaltung der Lehrpläne Eingang finden. Unsere Überlegungen und Vorschläge zu einem zeitgemäßen Physiklehrplan in der Schule orientieren sich daran.

Abschließen wollen wir diese Überlegungen mit einem Hinweis auf die Bedeutung eines *effizienten Zeitmanagements*. Es ist eine der Grundlagen allen erfolgreichen, geplanten Handelns (Stichwort „ALPEN“ Methode). **Dabei sollte vor allem die wichtige sog. 60:40 Regel beachtet werden:** Die Zeit, welche für die Vermittlung der Inhalte und Kompetenzen in einem bestimmten Themenbereich vorgesehen ist, darf nur 60% der insgesamt für dieses Thema zur Verfügung stehenden Zeit betragen – die übrigen 40% *Pufferzeit* sind für Unvorhergesehenes und für kreative Unterbrechungen vorzusehen (wohlgemerkt: wir sprechen hier nicht von einem Spielraum für mögliche Wahlthemen jenseits des gerade betrachteten Stoffes, sondern über die Zeit, die erfahrungsgemäß das nicht Planbare beim Unterrichten eben dieses Stoffes erfordert).

Bei der Aufteilung der verfügbaren Unterrichtsstunden auf die zu vermittelnden Themen sollte die 60:40 Regel beachtet werden!

Anstelle der vielen Einzelthemen aus den kanonischen Fachgebieten der Physik in herkömmlichen Lehrplänen empfehlen wir einen Lehrplan, der sich an nur vier Basiskonzepten mit je 4-6 Schwerpunkten orientiert. Sie werden in jedem Schuljahr wieder angesprochen und vertieft und fördern so das **kumulative Lernen**.

3.1.3 „Unverzichtbare“ Inhalte des Schulfachs Physik?

Wir müssen uns also von der Utopie verabschieden, dass man so etwas wie einen Katalog von „unverzichtbaren Inhalten“ für die Schulphysik erarbeiten könnte.

Stattdessen schlagen wir *eine relativ kleine Zahl von grundlegenden Konzepten vor, die es erlauben – von einfachsten aber charakteristischen Beispielen ausgehend – schrittweise physikalisches Verständnis zu entwickeln. Diese Konzepte und die damit verbundenen Begriffe werden fortschreitend vertieft, erweitert, je nach Jahrgangsstufe altersgerecht entfaltet und – unter verschiedenen Blickwinkeln – wiederholt.*

An dieser Stelle sei daran erinnert, dass die im Rahmen der **KMK (2004)** Standards eingeführten „**Basiskonzepte**“ genau in diese Richtung zielten.⁷

⁷KMK (2004), S.7: „Die im Kompetenzbereich Fachwissen vorgenommene vertikale

Leider haben sie sich in der konkreten, damals gewählten Ausformulierung nur als bedingt passfähig bei der Entwicklung eines überzeugenden Vermittlungsrahmens für moderne Physik erwiesen.⁸ Wenn man die darauf aufgebauten Lehrpläne (das sind bei Weitem nicht alle 16) kritisch analysiert, dann wirken die damals formulierten Basiskonzepte eher wie ein Gerüst, das nachträglich auf die tradierten Inhalte aufgesetzt wurde – etwas zwanghaft, relativ unscharf, physikalisch nicht überzeugend und nur selten hilfreich, um Zusammenhänge wirklich lebendig werden zu lassen.

Das heißt aber nicht, dass die Idee als solche verkehrt wäre. Wir werden nachfolgend diese Basiskonzepte mit geringen Modifikationen neu interpretieren und die dahinter steckende Grundidee weiterentwickeln. Dabei soll die Verbindung zwischen den kanonischen Schwerpunkten der klassischen und der modernen Physik (wie auch zu den Nachbardisziplinen) aufgezeigt und die roten Fäden sichtbar gemacht werden. Die Themenkomplexe werden also nicht isoliert erarbeitet (und später stückweise wieder vergessen), sondern in Zusammenhänge gestellt.

Wir lassen uns dabei von den Überlegungen inspirieren, die unsere amerikanischen Kollegen in einem beispiellosen, die besten Köpfe der Nation einbeziehenden Prozess über viele Jahre hinweg erarbeitet haben, also von den *Next Generation Science Standards* (NGSS, 2013), die wir in Kap. 2.4.2 kurz besprochen und in Anhang E.2 dokumentiert haben. Dabei wurde sehr intensiv über das Problem der großen Stofffülle nachgedacht. Im Ergebnis wurde auf eine Auswahl unverzichtbarer Inhalte bewusst verzichtet. Stattdessen wurde ein Konzept zur Strukturierung von Inhalten erarbeitet.⁹ Auch wenn wir diese Standards nicht direkt auf die bundesdeutsche Bildungswirklichkeit übertragen können und wollen, ist viel davon in unsere eigenen Überlegungen eingeflossen. Das Konzept erlaubt zugleich, ganz zwanglos eine Vermittlung der uns besonders wichtig erscheinenden *Kompetenzen* im Bereich Erkenntnisgewinnung.

Physikunterricht in der Schule sollte von Anfang an auch spannende Aspekte der modernen Physik umfassen, für welche interessierte Schüler sich ggf. begeistern können. Alle Themen sollten möglichst anknüpfen an die Lebenserfahrung und Alltagswelt der Schüler und Schülerinnen, sie sollten neue Interessen stimulieren, den Blick für Anwendungsfelder der Physik in unserer Industriegesellschaft wecken und dazu beitragen, die Entwicklung von Weltverständnis der Heranwachsenden auf eine solide naturwissenschaftliche Basis zu stellen. Sie sollten schließlich so präsentiert werden, dass sie beispielhaft erfahrbar machen, wie die Naturwissenschaft Physik funktioniert, wie Physik „gemacht wird“ – in der Fachdidaktik spricht man von *Nature of Science* (NOS, s. Kap. 4.2).

Physik in der Schule sollte möglichst spannend präsentiert werden und bereits in der Sek I Einblicke in die moderne Physik eröffnen. Die Inhalte sollten möglichst an die alltägliche Erlebniswelt und die persönlichen Interessen der Schüler anknüpfen.

Vernetzung durch die übergeordneten vier Basiskonzepte Materie, Wechselwirkung, System und Energie soll den Schülerinnen und Schülern **kumulatives** Lernen erleichtern.“

⁸Das mag nicht zuletzt daran liegen, dass man versuchte, sie für alle Naturwissenschaften möglichst identisch zu konzipieren.

⁹Inzwischen arbeiten 26 US-Bundesstaaten ("Lead States") an der Entwicklung der „Next Generation Science Standards (NGSS)“, 15 Staaten haben das Programm bereits in ihre Lehrpläne eingeführt (zuletzt Iowa im August 2015, **REVIEW TEAM IOWA, 2015**, S. 42).

3.2 Basiskonzepte – Methoden – Kontexte

Die im Folgenden beschriebenen *Basiskonzepte* sollen Kernideen und Strukturen der Physik identifizieren und einleuchtende Zusammenhänge zwischen einer Vielzahl von Einzelthemen sichtbar machen. Wichtig erscheint uns, dass die Auswahl dieser Basiskonzepte aus physikalischer Sicht stimmig ist. Fachübergreifende Verbindungen („Crosscutting Concepts“) zu Nachbardisziplinen wie Chemie (Ch), Biologie (Bio) und Technik (Tech) können unabhängig davon sichtbar gemacht werden. Bei der Konzipierung dieser Basiskonzepte lassen wir uns stark von den Kriterien inspirieren, die in den **NGSS (2013)** gefordert werden.

Die Basiskonzepte sollten mehreren der nachstehenden Kriterien genügen (idealerweise allen):

Dies sind die allgemeinen Forderungen an genuine Basiskonzepte. Man kann sie zugleich als Kriterien und Anleitung für die Themenauswahl zum exemplarischen Lernen verstehen.

- Kriterium 1** Basiskonzepte haben eine *breite fachwissenschaftliche Bedeutung* in der Physik und möglichst darüber hinaus;
- Kriterium 2** Basiskonzepte spielen eine *Schlüsselrolle* für vertieftes Verständnis sowie für die Untersuchung komplexer Ideen und Problemlösungen;
- Kriterium 3** Basiskonzepte können *über mehrere Schulstufen hinweg auf steigendem Niveau* mit zunehmender Vertiefung *gelehrt und gelernt* werden.

Es geht nun darum, nach diesen Kriterien eine kleine Anzahl von Kernideen auszuwählen, anhand derer das Fach Physik in der Schule *exemplarisch, zugleich aber auch repräsentativ* vermittelt, gelernt und praktiziert werden kann. Die genannten Kriterien kann man als Anleitung für das ganz offensichtlich unverzichtbare exemplarische Lernen lesen.¹⁰ Sie entsprechen somit dem Anspruch von WAGENSCHNEIN und MUCKENFUSS, dass die Forderung nach „exemplarischem Lernen“ stets mit einer klaren Aussage darüber verbunden werden müsse, was genau damit gemeint sei.

Wir fügen hinzu, dass sich mit einer so gearteten Führung durch den zu vermittelnden Wissensbestand und durch die zu erarbeitenden Kompetenzen die Hoffnung verbindet, den vielfach beklagten, aus Schülersicht scheinbar *fehlenden Zusammenhang der vielen Beobachtungen und Begriffe* im Schulfach Physik wirkungsvoll zu überwinden. Hier wird also das in Kap. 2.5 als 2. aufgeführte Problem angesprochen, die *mangelnde Kumulation des Wissens*. – Das Lernen erfolgt bislang zu stark additiv und knüpft nicht genügend an vorhandenes Wissen an. Die Basiskonzepte sollen daher Vernetzungen zwischen den verschiedenen Teilgebieten der Physik herstellen.¹¹

¹⁰Über exemplarisches Lernen haben wir bereits in Kap. 2.3.1 gesprochen. Weitere Überlegungen werden in **Anhang G.1** vorgestellt.

¹¹In der Fachdidaktik wird häufig zwischen horizontaler und vertikaler Vernetzung unterschieden, wobei horizontale Vernetzung die Beziehungen zwischen verschiedenen naturwissenschaftlichen Disziplinen beschreibt, „Crosscutting Concepts“ in den **NGSS**, während vertikale Vernetzung die Bezüge zwischen den aufeinander aufbauenden Teilgebieten eines Faches anspricht. In den **KMK (2004)** Standards werden die Basiskonzepte zur

Die **NGSS (2013)** nennen zusätzlich ein weiteres **Kriterium 4**:

„*Bezug zu den Interessen und Lebenserfahrungen der Schüler und Schülerinnen und eine Verbindung zu gesellschaftlichen und menschlichen Problemen, deren Verständnis physikalisches Wissen und Kompetenz erfordern.*“ (frei übersetzt)

Diese Interessen und Lebenserfahrungen entsprechen nun genau der seit vielen Jahren von der Fachdidaktik geforderten Einbettung der fachlichen Inhalte in „sinnstiftende Rahmenkontexte“, die sich – soweit möglich – an „epochaltypischen Schlüsselthemen“ orientieren sollten (**MUCKENFUSS, 1995**). Dieses Anliegen ist für die Gestaltung von gutem Physikunterricht in der Schule ohne Zweifel von herausragender Bedeutung – es hat aber einen anderen Charakter als die drei physikalisch bestimmten Kriterien auf der vorangehenden Seite: es entspricht gewissermaßen einer anderen Dimension des Physikunterrichts.

Diese *Mehrdimensionalität des Physikunterrichts* wurde schon in den **KMK (2004)** Bildungsstandards durch die Einführung von Basiskonzepten und Kompetenzbereichen angesprochen. Ganz explizit sprechen die **NGSS (2013)** von *drei Dimensionen* (Methoden,¹² Kernideen und Querschnittskonzepten).

Unser Vorschlag zum künftigen Physikunterricht in den allgemeinbildenden Schulen in der Bundesrepublik Deutschland ist ebenfalls ein dreidimensionaler Ansatz, freilich etwas anders akzentuiert:

- Basiskonzepte** Die vier *Basiskonzepte* (Dimension **B**) stehen im Vordergrund. Sie repräsentieren physikalische Kernideen und genügen jeweils allen drei Kriterien 1-3.
- Kontexte** Die sinnstiftenden *Kontexte* (Dimension **K**) nach Kriterium 4 werden als eigene Dimension berücksichtigt. Sie bieten einerseits Motivation für das Fach, andererseits auch Anwendungsfelder für im Unterricht erworbene Kompetenzen.
- Methoden** In der dritten Dimension geht es um *Methoden* der Physik (Dimension **M**), also um die Art und Weise, wie Physik „gemacht“ wird (was den Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung* umfasst, teilweise aber darüber hinausgeht.)

Die Vermittlung von Wissen und Kompetenzen im Schulfach Physik umfasst drei Dimensionen: **Basiskonzepte (B)** – Kernideen der Physik; schülernahe **Kontexte (K)** sowie **Methoden (M)**, mit Hilfe derer Physik „gemacht wird“.

Jede dieser Dimensionen umfasst mehrere Einzelaspekte, die wir in Tab. 3.6 auf der nächsten Seite zusammengestellt haben.

vertikalen Vernetzung gezählt; allerdings werden wir den Akzent nicht auf das „aufeinander Aufbauen“ der physikalischen Teilgebiete legen (im Sinne einer Fachsystematik). Vielmehr werden wir grundlegende Konzepte, Begriffe, Modelle, Herangehensweisen zur inhaltlichen Gliederung nutzen, die in mehreren Teilgebieten der Physik eine vergleichbare Rolle spielen.

¹²Dort „Science and Engineering Practices“

Tab. 3.6: Tabellarische Zusammenstellung der drei Dimensionen des Physikunterrichts in der Schule mit den Koordinaten **B**: Basiskonzepte (physikalisch geprägt, nach den Kriterien 1 bis 3, S. 59), **M**: Methoden (siehe Abschn. 3.2.2), sowie schließlich **K**: Kontexte (Schülernähe, Weltsicht nach Kriterium 4, S. 59). Detaillierte Erläuterungen werden in Abschn. 3.2.1-3.2.4 vorgestellt.

B	Basiskonzepte (Kernideen)
B-M	Materie
B-K	Kräfte und Wechselwirkungen
B-E	Energie
B-S	Schwingungen und Wellen
M	Methoden (fachbezogen)
M1	Fragen stellen und Versuche machen
M2	Experimentieren und Messungen durchführen
M3	Mathematik auf die Physik anwenden
M4	Hypothesen aufstellen, Modelle entwickeln und Erklärungen ausarbeiten
M5	Daten analysieren und interpretieren
M6	Informationen sammeln, auswerten und kommunizieren
M7	Mit Erkenntnissen jenseits der Alltagserfahrung umgehen (Quantenphysik & Relativität)
K	Kontexte (schülernah bzw. gesellschaftsrelevant)
K1	Physik und Mensch: Spiel, Sport, Medizin
K2	Physik und Technik
K3	Physik und Umwelt, Wetter, Klima
K4	Erde, Sonne und Energie
K5	Erde und Universum

Die *Basiskonzepte* bestimmen maßgeblich die Abfolge der Inhalte im Unterricht. *Kontexte* sowie *Methoden* sollten aber zu jedem Themenkomplex explizit erschlossen werden.

Wir orientieren unsere Herangehensweise an den Basiskonzepten **B**, also an zentralen physikalischen Ideen bzw. Konzepten, die im Verlaufe einer Schullaufbahn über angemessene Fachinhalte vermittelt werden sollen. Die Kompetenzen und Fähigkeiten, die es dabei zu entwickeln gilt, werden zugleich mit Kontexten einerseits und Methoden andererseits verknüpft. Nicht explizit dargestellt sind die Kompetenzbereiche *Kommunikation* und *Bewertung* (s. Abschn. 3.2.3) und die Dimension *Zeit* bzw. *Jahrgangsstufe*, die im Schulunterricht ebenfalls eine wesentliche Rolle spielen.

Zunächst sollen nun die hier vorgestellten Dimensionen des Physikunterrichts etwas näher beschrieben werden. Überlegungen zur konkreten Erarbeitung von Lehrplänen, die auf diesem Gesamtkonzept basieren, werden im dann folgenden Abschnitt 3.3 vorgestellt.

3.2.1 Basiskonzepte (B)

Die hier vorgeschlagenen vier Basiskonzepte knüpfen eng an jene an, die mit den **KMK (2004)** Standards eingeführt wurden. Sie werden derzeit in den Lehrplänen der meisten Bundesländer als Strukturierungshilfe für fachliche

Inhalte genutzt.¹³ Drei der **KMK**-Basiskonzepte nutzen wir auch weiterhin, in einem Fall präzisierend ergänzt (*Kräfte und Wechselwirkungen*), und führen das neue Basiskonzept *Schwingungen und Wellen* ein. Letzteres spricht ein Grundkonzept der Physik an, das praktisch in allen Bereichen des Faches eine wesentliche Rolle spielt. Es führt uns von einfachsten mechanischen Modellsystemen bis hin zur modernen Physik und dem Thema „Welle und Teilchen“, und erschließt besonders wichtige Bezüge zu den *Kontexten moderne Technik (IT), Alltagswelt und Medizin (Diagnostik)*.

Wir interpretieren die Basiskonzepte im Folgenden in erweiterter und vertiefter Form als zentrales Gliederungsprinzip der hier vorgeschlagenen Neugestaltung von Lehrplänen für die Schulphysik. Die von uns gewählten vier Basiskonzepte nach Tab. 3.6, *Materie (B-M)*, *Kräfte und Wechselwirkungen (B-K)*, *Energie (B-E)* sowie *Schwingungen und Wellen (B-S)* haben eine zentrale fachwissenschaftliche Bedeutung und sind weit genug gespannt, um als Leitfaden durch die gesamte Schulphysik über alle Jahrgänge führen zu können. Dabei sind die beiden anderen Koordinaten, die wir nachfolgend beschreiben, sinnvoll und themenbezogen zu berücksichtigen. In Abschn. 3.3 werden die vier Basiskonzepte mit jeweils mehreren Schwerpunkten konkretisiert.

Aus physikalischer Sicht repräsentieren diese Basiskonzepte von Fachphysikern anerkannte, umfassende Konzepte und bilden einen angemessenen Rahmen für die erforderliche *exemplarische Auswahl relevanter Themen, Phänomene und Begriffe*. Insgesamt bilden sie eine solide Grundlage für lebenslanges Lernen und ermöglichen ein rationales, physikbasiertes Verständnis unserer Welt.

3.2.2 Methoden (M)

Die sieben in Tab. 3.6 in dieser Dimension der fachphysikalischen Methoden subsumierten Begriffe sind durchaus unterschiedlicher Natur, charakterisieren aber jeweils typische physikalische Herangehensweisen an Naturphänomene – auf die Realität der Schulphysik fokussiert. Im Rahmen der vier *Kompetenzbereiche* der **KMK (2004)** Standards sind sie überwiegend der „Erkenntnisgewinnung“ zuzuordnen: In diesem Sinne sind fachphysikalische Methoden Verfahren, mit denen Erkenntnis gewonnen werden kann.

Aller physikalischen Naturbeobachtung und -beschreibung geht letztlich das Fragen-an-die-Natur-Stellen voraus – *wie kommt es, dass ... ? – wie funktioniert ... ? – wovon hängt das ab?* Dieses Fragen sollten die Schüler im Physikunterricht *miteinander* immer wieder üben: dabei kommt es neben dem grundsätzlichen Wecken des Interesses darauf an zu lernen, die Fragen so zu stellen, dass daraus auch ein Versuch, eine Untersuchung des in Frage Gestellten werden kann. Es geht also um die Vorstufe zum

¹³Die **KMK (2004)** Standards definieren *Materie, Wechselwirkung, System, Energie* als Basiskonzepte. Nun wird der Begriff „System“ zwar häufig in der Physik benutzt, jedoch oft in unterschiedlichen Bedeutungen (z. B. *Schwerpunktsystem, Ruhesystem, Physik komplexer Systeme, Zweiteilchen- bzw. Vierteilchensystem, Internationales Maßsystem, ?*). Es fällt schwer, „System“ im Sinne der drei auf S. 58 genannten Kriterien als eine alle physikalischen Fachgebiete verbindende *Kernidee* zu identifizieren.

Die Basiskonzepte in erweiterter und vertiefter Form werden in dieser Studie zur Strukturierung der fachlichen Inhalte genutzt.

Die Dimension *Methoden* ist als integraler Bestandteil der Lehrpläne mit den fachlichen Inhalten der Basiskonzepte zu verknüpfen. Der Einsatz physikalischer Methoden muss im Unterricht bewusst gemacht, vermittelt und geübt werden.

Das Experiment spielt eine zentrale Rolle in der Physik – das sollte sich im Physikunterricht widerspiegeln. Dabei müssen auch die Themen Messgenauigkeit, Messunsicherheiten und Größenordnungen intensiv behandelt werden.

Experiment. Wir fassen diese Vorstufe als *Fragen stellen und Versuche machen* zusammen (M1). Die nächste Stufe ist dann das Experiment – im Wechselspiel mit der Theorie – die eigentliche Basis aller Physik. Es muss auch im Schulunterricht eine zentrale Stellung haben, wie wir in Kap. 4.6 noch näher ausführen werden. Wir verstehen darunter mehr als bloßes Versuchen: damit wirklich quantitative Schlüsse gezogen werden können, muss gemessen werden, weshalb wir dies zu *Experimentieren und Messungen durchführen* (M2) zusammenfassen. Auch in der Schulphysik sollte das Messen eine wesentliche Rolle spielen. Wichtig ist es, dabei ein Verständnis für Grenzen physikalischer Aussagen zu entwickeln: Messungen haben begrenzte *Genauigkeiten*, *Fehlerangaben* relativieren Aussagen. Auch *Größenordnungen* sind für Schüler oft sehr abstrakt: zwischen der Größe eines Atomkerns und der Ausdehnung des Weltalls liegen 32 Zehnerpotenzen – kann man sich das vorstellen? Auf fortgeschrittenem Niveau sollte man die statistische Natur von Messungen an mikroskopischen Objekten ebenso thematisieren wie die Grenzen der klassischen Mechanik im Fall chaotischer Prozesse.¹⁴

Die Rolle von *Mathematik auf Physik anwenden* (M3) wird in Kap. 4.7 ausführlich reflektiert. Wir werden bei unseren Hinweisen zu den Lehrplänen gelegentlich erwähnen, wo wir ihren Einsatz für unverzichtbar halten. Mathematik ist auch eine wichtige Grundlage, wenn Schüler *Hypothesen aufstellen, Modelle entwickeln und Erklärungen ausarbeiten* (M4), insbesondere für deren stringente Verifikation bzw. Falsifizierung. Mit (M5) *Daten analysieren und interpretieren* wird ein wichtiger quantitativer Aspekt des physikalischen Tuns angesprochen, den die Schüler kennenlernen sollten. Das gilt ebenso für (M5) *Informationen sammeln, auswerten und kommunizieren*.

Schließlich haben wir – wegen der großen Bedeutung für ein physikalisch geprägtes Weltbild und wegen der besonderen Schwierigkeiten bei der Vermittlung von selbst elementaren Grundlagen im Schulunterricht als eine besondere Art von Methode eingeführt: (M7) *Mit Erkenntnissen jenseits der Alltagserfahrung umgehen*. Beim ganz Kleinen wie beim ganz Großen ($v \rightarrow c$) versagt die klassisch mechanistische Anschauung und die „Methoden“ der Quantentheorie bzw. der Relativitätstheorie müssen angewandt werden, um Naturphänomene zu beschreiben. Beide sollten schon am Ende der **Sek I** erstmals thematisiert werden. In der **Sek II** kann dann eine zwar immer noch elementare, aber bereits quantitative Einführung folgen.

Bei der Formulierung der Methoden M1 bis M7 haben wir uns wiederum von den **NGSS (2013)** anregen lassen.

3.2.3 Kommunikation und Bewertung

Neben dem **KMK**-Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“, der im Wesentlichen der vorangehend beschriebenen Dimension „Methoden“ ent-

¹⁴Wie wichtig diese richtige Einschätzung von Größenordnungen ist, zeigt z.B. auch der offenbar unausrottbare, in den Medien teilweise gepflegte Aberglaube auf vielen Gebieten der modernen Technik und Medizin. Man denke nur an die Ängste vor Verstrahlung durch Radiowellen, oder an die vermeintliche Wunderheilkraft von höchstverdünnten Tinkturen in der Homöopathie.

spricht, sind auch die beiden Kompetenzbereiche „Kommunikation“ und „Bewertung“ zu berücksichtigen und im Unterricht explizit anzusprechen. Es handelt sich gewissermaßen um zwei weitere Dimensionen für das Gesamtkonzept. Sie werden recht ausführlich in den **KMK**-Standards beschrieben.¹⁵

SCHECKER und WIESNER (2007) notieren dazu: „An geeigneten Stellen und vorsichtig dosiert ist die sach- und adressatengemäße Präsentation physikalischer Zusammenhänge (Kommunikation) und die Bedeutung physikalischen Wissens für gesellschaftliche oder persönliche Entscheidungen (Bewertung) schon sehr früh im Physikunterricht aufzugreifen. Im Unterricht wird schon sehr viel erreicht, wenn es Schülerinnen und Schülern gelingt, fachlich kundige Fragen an Experten zu formulieren. Eigene Bewertungen unter Abwägung physikalischer und anderer Argumente zu erwarten, ist hingegen ein sehr hoher Anspruch.“

Zugleich betonen **SCHECKER und WIESNER** die vorrangige Bedeutung der fachlichen Inhalte: „Die Gefahr der Vernachlässigung des Erwerbs des fundierenden physikalischen Fachwissens ergibt sich auch daraus, dass immer komplexere Anforderungen an den Physikunterricht gestellt werden, ohne dass die verfügbare Unterrichtszeit zunimmt.“

Anregungen für die Arbeit in den Kompetenzbereichen Kommunikation und Bewertung findet man an zahlreichen Stellen in der Literatur (z. B. **SACH und WODZINSKI, 2010; HÖTTECKE und WODZINSKI, 2013**).

Aus fachphysikalischer Sicht sei hier schließlich darauf hingewiesen, dass Kompetenz auch bei der Kommunikation und Bewertung *physikalischer Experimente, Daten und Modelle* erworben und geübt werden muss – was nicht lediglich „miteinander reden“ bedeutet, sondern eine strenge Disziplin der zielgerichteten, kritischen und sachgerechten Diskussion impliziert.

3.2.4 Kontexte (K)

Schülernahe und gesellschaftsrelevante Kontexte bilden im Sinne von **MUCKENFUSS (1995)** einen „sinnstiftenden“ Orientierungsrahmen, an welchen die fachlichen Inhalte der vier Basiskonzepte soweit wie möglich anknüpfen sollten (s. auch Kap. 4.3). Mit den fünf in Tab. 3.6 genannten Kontextbereichen werden die wichtigsten (meist auch in den Lehrplänen der Bundesländer genannten) Erfahrungs- und Interessenbereiche der Schülerinnen und Schüler erfasst.

Physik und Mensch: Spiel, Sport, Medizin (K1) beschreibt Bezugs- und Anwendungsfelder von Physik, die der Alltagswelt vermutlich am nächsten sind. Zu jedem dieser Aspekte kann Physik Erkenntnis und Kompetenz beitragen, wie wir in der Einzelbeschreibung der Lehrpläne skizzieren werden. Das gilt, wie schon in Kap. 1.4 ausgeführt, auch für *Physik und Technik (K2)*, einen Kontextbereich, der als Einstieg wie auch als Anwendungsfeld reichlich Anknüpfungspunkte für viele Themen der Physik bietet. *Physik und Umwelt, Wetter, Klima (K3)* ist eines der o.g. „epochaltypischen Schlüsselthemen“. Schulphysik sollte (mit dem **MSA**) Schüler und Schülerinnen in die Lage versetzen, auf diesem Gebiet zu-

Die *schülernahen Kontexte* sollen ein möglichst breites Interessenfeld von Jugendlichen erfassen – vom menschlichen Körper über Medizin, Technik, Umwelt und Klima bis hin zur Kosmologie. Sie bieten darüber hinaus Anknüpfungspunkte zu Themen aus Chemie, Biologie, Geographie und sogar aus der Geschichte.

¹⁵Auf eine graphische Darstellung muss aber verzichtet werden (5D-Raum).

mindest die Tageszeitungen kritisch zu verfolgen und im Idealfall zu einer sachkundigen Diskussion beitragen zu können. Das gilt ähnlich auch für *Erde, Sonne und Energie (K4)*. Angesprochen wird hier potenziell ein breites Themenfeld – von der Energiebilanz der Erde im Strahlungsfeld der Sonne bis hin zu den Potenzialen von Solar- und Windenergie. Bei *Erde und Universum (K5)* schließlich geht es um Themen aus der Astronomie und Kosmologie, die von Schülern wie von Erwachsenen stets als spannend empfundenen werden – hier bewusst so formuliert, dass unsere „Erde“ als Ausgangspunkt der Überlegungen gewählt wird, von deren physikalischer Beschreibung aus (Magnetfeld, Gezeiten usw.) der Blick in den Kosmos erweitert werden soll. Bei den Einzelbeschreibungen der Basiskonzepte in der [Anlage Basiskonzepte, Tab. B-M1 bis B-S6](#) machen wir Vorschläge, wie sich diese Kontexte sinnvoll einbinden lassen.

3.3 Inhaltliche Konkretisierung der vier Basiskonzepte

In diesem Rahmen denken wir Schulphysik neu. Wir konkretisieren im Folgenden das Gesamtkonzept inhaltlich so weit, dass es im Prinzip auf die von uns als bundesweiter Standard geforderten **Best Practice** Studentafeln abgebildet werden kann. Es würde aber den Rahmen dieser Studie bei Weitem sprengen, wenn wir versuchen wollten, realistische Physiklehrpläne für den Schulunterricht im Detail vorzuschlagen.

Wir wollen zeigen, dass mit diesen Ansätzen ein praktikabler und inhaltlich überzeugender Rahmen entwickelt werden kann, der die *Überfülle der bislang in den Lehrplänen vorgesehenen Fachinhalte* nach Tab. 2.2 auf kohärente Weise *überwindet*, und dass *mit der Erarbeitung der vier Basiskonzepte* im Laufe einer Schulkarriere dennoch ein angemessener *Überblick über die Physik und ihre Bedeutung* in der modernen Welt erreicht wird.

Die vier von uns vorgeschlagenen Basiskonzepte sind einerseits spezifisch genug, um die erwünschten „roten Fäden“ aufzeigen zu können. Dabei können die verschiedenen Themen, die im Rahmen eines Basiskonzepts behandelt werden, fachlich problemlos miteinander verbunden werden, da dieses aus der Fachlogik heraus begründet ist. Andererseits spricht jedes der Basiskonzepte eine solch breite Vielfalt von Physik an, dass eine Schwerpunktbildung unverzichtbar wird.

Im Folgenden umreißen wir zunächst die fachlichen Inhalte der vier Basiskonzepte etwas ausführlicher, würdigen deren Bedeutung für die Physik im Allgemeinen und identifizieren jeweils *Schwerpunkte*, deren Behandlung im Rahmen der Schulphysik wünschenswert ist und auch tatsächlich möglich erscheint. Zu jedem der Schwerpunkte gehören meist mehrere jahrgangsspezifische Module, die detailliert in der [Anlage Basiskonzepte](#) beschrieben werden. Zu jedem Modul werden dort auch spezifische Hinweise gegeben, wo bestimmte Methoden (M) nach Tab. 3.6 besonders wirksam im Zusammenhang mit den fachlichen Inhalten erarbeitet werden können und wo sich offenkundige Verbindungen zu sinnstiftenden Kontexten (K) anbieten.

Für jede Jahrgangsstufe (Jgg.) formulieren wir dabei „Könnenserwartun-

Bei der Behandlung der vier hier definierten Basis- konzepte im Unterricht muss den Schülern vor allem der rote Faden deutlich gemacht werden, sodass sie Inhalte und Themen aufeinander beziehen und verknüpfen lernen.

gen“ an Schülerinnen und Schüler, die dieses Modul erfolgreich erarbeitet haben (LERSCH, 2010). Sie beschreiben also diejenigen Kompetenzen, die in der Regel tatsächlich erworben werden sollten.¹⁶ Die nachfolgenden Beschreibungen der Basiskonzepte mit ihren Schwerpunkten sind gegenüber den ausführlichen Darstellungen in der [Anlage Basiskonzepte](#) deutlich knapper gehalten.

Insgesamt entspricht die Zuordnung zu den Jahrgangsstufen in der Regel typischen aktuellen Lehrplänen. Quantitative, mathematische Formulierungen der physikalischen Zusammenhänge, Herleitungen und Lösungen sollten in der Regel erst ab Jg. 9 eingesetzt werden. Davor soll die Material- und Faktensammlung und eigenes Experimentieren im Vordergrund stehen. Dahinter steckt auch die Erfahrung, dass Schüler in der Pubertät am ehesten durch eigene Aktivitäten motivierbar sind und wenig Neigung haben, sich auf eher formale Aspekte zu konzentrieren.

Die dort für jedes Modul aufgeführten, möglichen Inhalte sind in der Regel noch zu umfangreich, um sie in der empfohlenen Stundenzahl vollständig zu erarbeiten. Die Lehrenden sollten – unter Berücksichtigung der 60:40 Regel (s. Abschn. 3.1.2) – jeweils eine ihnen geeignet erscheinende Auswahl treffen, die auf sinnvolle, Kontexte und Methoden einschließende Weise dazu führt, dass die Schüler am Ende des Moduls den Könnenserwartungen erfüllen.

B-M Basiskonzept *Materie*

Die Grundfrage „Woraus besteht Alles?“ soll schrittweise behandelt werden, ausgehend von der Frage, was für Stoffe es gibt, und welche Eigenschaften sie haben, über die Existenz von Atomen und der Modellierung von deren innerer Struktur, bis hin zum Aufbau der Moleküle und Festkörper einerseits und zu den Atomkernen und den elementaren Bausteinen der Materie andererseits. Mit der Existenz von Atomen (und Molekülen) lassen sich sehr viele physikalische Phänomene einfach und anschaulich beschreiben. Einfache Modelle sollen daher sehr früh eingeführt werden. Folgende Schwerpunktthemen werden behandelt.

Mit der Existenz von Atomen (und Molekülen) lassen sich sehr viele physikalische Phänomene einfach und anschaulich beschreiben. Einfache Modelle sollen daher sehr früh eingeführt werden.

Details zu spezifischen Inhalten für alle nachfolgend kurz skizzierten Schwerpunktthemen und Jahrgangsstufen (Jgg.) sind in den [Tabellen B-M1 bis B-M6](#) in der [Anlage Basiskonzepte](#) zusammengestellt, aus denen die Lehrkräfte geeignete Themen so auswählen sollten, dass sie im gegebenen zeitlichen Rahmen im Unterricht erarbeitet werden können. In den Tabellen werden jeweils Hinweise zur Einbindung der Dimensionen „Methoden“ und „Kontexte“ aufgezeigt, die über den hier im Vordergrund stehenden Inhalten nicht vernachlässigt werden dürfen. Die nachfolgend notierten *Könnenserwartungen* sollen Anhaltspunkte für das Erreichbare geben.

■ „Woraus besteht Alles?“ Das ist eine fundamentale Grundfrage für unser Verständnis der Welt. Grundkenntnisse über Atome und Moleküle, über ihren Aufbau und die Eigenschaften der Elemente bilden, auch über die Physik hinaus, die Basis aller Naturwissenschaften. ■

¹⁶Die Könnenserwartungen verstehen wir als Regelstandards.

In der **Sek II** schlagen wir neben dem obligatorischen Modul **B-M3.12** (Elektronenhülle), drei alternative Wahlmodule vor, gekennzeichnet mit (W) und Stundenzahlen in Klammern. Alle drei Themen sind bedeutsam. Hier wird aber besonders deutlich, dass wegen der zeitlichen Begrenzung Vollständigkeit nicht angestrebt werden kann und somit eine klare Auswahl getroffen werden muss.

B-M1 Grundlagen, Teilchen, Aggregatzustände: In den **Jgg. 5/6** und **7/8** werden wichtige Grundbegriffe und einfache Modelle vermittelt. Sie werden in den **Jgg. 9/10** vertieft, u.a. im Rahmen des Basiskonzepts *Kräfte und Wechselwirkungen* im Modul **B-K5.10**.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 5/6: Die Schülerinnen und Schüler ...

unterscheiden Stoffe als fest, flüssig oder gasförmig; klassifizieren Stoffe nach beobachtbaren Größen; ermitteln die Dichte von Stoffen aus den gemessenen Größen Volumen und Masse.

Ende Jgg. 7/8: Die Schülerinnen und Schüler ...

erklären, dass jeder Stoff aus Teilchen besteht, die zu klein sind, um mit bloßem Auge gesehen zu werden, und dass diese Teilchen sich in ständiger zufälliger Bewegung befinden; erklären auf der Basis eines einfachen Teilchenmodells die Unterschiede von festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen; erklären die Änderungen des Aggregatzustands und die Diffusion im Teilchenmodell.

B-M2 Thermische Eigenschaften und Teilchenmodell: In den **Jgg. 9/10** können, aufbauend auf eine phänomenologische Einführung in Modul **B-E1.6** und das in **B-M1.8** vermittelte Teilchenmodell, die Temperatur als Maß für die kinetische Energie der Teilchen und sodann auch der Temperaturnullpunkt und die Kelvinskala eingeführt werden.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

definieren die Temperatur als ein Maß für die mittlere Bewegungsenergie vieler Teilchen; wissen, dass sich bei Erhöhung der Temperatur eines Körpers die innere Energie (potenzielle und kinetische) erhöht und keine neue Energieform entsteht; verstehen, dass dies durch Wärmezufuhr oder Arbeit geschieht; kennen und erklären den absoluten Nullpunkt der Temperatur (wenn alle Teilchen ruhen, ist $T = 0\text{ K}$); können Temperaturen in verschiedene Skalen umrechnen.

B-M3 Atomstruktur: geladene Teilchen, Hülle und Atomkern: Hier ist eine enge Abstimmung mit dem Fach Chemie wichtig. Einfache Atommodelle werden in den **Jgg. 9/10** eingeführt. In der **Sek II** werden die Atomstruktur und grundlegende Experimente dazu vertiefend, aber immer noch elementar behandelt. Auf die Grundgedanken des BOHR'schen Atommodells sollte, schon aus historischen Gründen, im Schulunterricht nicht verzichtet werden; in der **Sek II** sollten aber seine Grenzen und der Übergang zur Quantenmechanik angesprochen werden.

Könnenserwartungen**Ende Jgg. 7/8:** Die Schülerinnen und Schüler ...

beschreiben, wie Ladungen aus elektrisch neutralen Stoffen freigesetzt werden, beschreiben Teilchen, die aus kleineren, geladenen Teilchen aufgebaut sind, deren Ladungen immer ein Vielfaches einer Elementarladung ist; wissen, dass das Elektron eine negative Elementarladung trägt; nennen Beispiele für Prozesse, bei denen Ladungen freigesetzt oder gespeichert werden bzw. strömen.

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

wissen, dass alle Stoffe aus etwa 100 Atomsorten aufgebaut sind, die sich auf unterschiedliche Weise verbinden; unterscheiden reine Stoffe (eine Atom- oder Molekülsorte) von Stoffgemischen; kennen den Unterschied zwischen Elektronenhülle und (winzigem, schwerem) Kern; kennen die Bedeutung der Kernladungszahl; beschreiben Moleküle als gebundene Atome; erläutern Größenordnungen bei Atomen (Längen und Energien).

Ende Jgg. 11/12: Die Schülerinnen und Schüler ...

beschreiben die Struktur der Atome mit positiv geladenem Kern (Neutronen, Protonen) und Elektronenhülle; erläutern die Grundprinzipien für die Entstehung der Linienspektren von Atomen; skizzieren das typische Energieniveauschema eines einfachen Atoms schematisch; beschreiben Elektronenbahnen und Elektronenschalen auf atomarem Niveau als eine Näherung für Atomorbitale; benutzen die Unschärferelation, um zu erklären, warum Elektronen nicht in den Atomkern fallen; charakterisieren die Elektronenzustände durch vier Quantenzahlen; skizzieren die Form von s- und p-Orbitalen; erklären die Besetzung der atomaren Niveaus für einfache Beispiele mit Hilfe des PAULI-Prinzips; wissen, dass sich daraus das Periodensystem der Elemente erklären lässt; benennen Anregungs- und Ionisationsmechanismen für Elektronen.

B-M4 Kerne, Radioaktivität und Elementarteilchen: Grundbegriffe der Kernphysik, insbes. mit Radioaktivität zusammenhängende Begriffe, werden in den **Jgg. 9/10** eingeführt. Ein kompaktes Grundwissen zur Elementarteilchenphysik kann nur als Wahlpflichtmodul **B-M4.12** in der **Sek II** vermittelt werden (alternativ zu den Inhalten von **B-M5.12** und **B-M6.12** in der **Sek II**).

Könnenserwartungen**Ende Jgg. 9/10:** Die Schülerinnen und Schüler ...

beschreiben den Aufbau der Atomkerne aus Protonen und Neutronen; wissen, dass es auch instabile Kerne gibt; nennen drei Arten von Strahlung (α -, β - und γ -); wissen, dass bei α -, β - Zerfall neue Elemente entstehen; beschreiben Zerfallsgesetz und Halbwertszeit qualitativ (ohne Exponentialfunktion); benennen Eigenschaften und Wirkung der Kernstrahlung; unterscheiden Kernfusion und Kernspaltung; wissen, dass die Fusion von $H \rightarrow He$ in der Sonne die auf der Erde benötigte Energie liefert; erläutern, dass bei beiden Typen von Kernreaktionen Energie freigesetzt wird, die pro kg Masse millionenfach größer ist als bei chemischen Prozessen.

Ende Jgg. 11/12 (W): Die Schülerinnen und Schüler ...

wissen, dass zu jedem Teilchen ein Antiteilchen existiert; nennen Beispiele für die Erzeugung und Vernichtung von Antiteilchen; beschreiben den Aufbau von Neutron und Proton aus Quarks; wissen, dass man kleine Strukturen durch Streuexperimente mit Teilchen sehr hoher Energie untersucht; geben die daraus folgende Obergrenze für einen hypothetischen Radius

von Elektronen und Quarks an; beschreiben das Prinzip eines modernen Kreisbeschleunigers und wissen, dass die Teilchen darin annähernd mit Lichtgeschwindigkeit kreisen, deren Bahnen mit Hilfe der speziellen Relativitätstheorie zu beschreiben sind; verstehen, dass bei Stößen neue Teilchen aus der (Schwerpunkts-) Energie entstehen können; benennen die vier fundamentalen Wechselwirkungen und ihre Unterschiede.

B-M5 Festkörper und Halbleiter: Auch in dieses wichtige Thema kann in der **Sek II** aufgrund der begrenzten Stundenzahl nur als Wahlpflichtmodul (alternativ zu den Inhalten von **B-M4.12** und **B-M6.12** in der **Sek II**) eingeführt werden. Es wird auch hier vor allem darum gehen, einige wenige Grundbegriffe einprägsam zu vermitteln bzw. erarbeiten zu lassen, sodass die Jugendlichen ggf. später die Relevanz der entsprechenden Physik erkennen, wenn sie z. B. in Beruf, Politik oder gesellschaftlichem Leben auf einschlägige Fragen stoßen und Interesse dafür entwickeln: eine Grundvoraussetzung für die eigenständige Weiterbildung.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 11/12 (W): Die Schülerinnen und Schüler ...

beschreiben Kristalle als periodisch aus Atomen oder Molekülen bzw. deren Ionen aufgebaut; wissen, dass Elektronen nicht mehr unbedingt an einen Kern gebunden sind; erklären mit Hilfe des Bändermodells (Grundkonzept) die Eigenschaften von Leitern, Isolatoren und Halbleitern und die Ursache des elektrischen Widerstands; erklären beispielhaft die Funktionsweise einfacher Halbleiterbauelemente; kennen die Bedeutung dieser Bauteile für die Informationstechnologie, Photovoltaik und Beleuchtungstechnik.

B-M6 Materie im Universum – wie die Kerne entstanden sind: Dieses ebenfalls als Wahlpflichtmodul konzipierte Schwerpunktthema vermittelt als „schülernaher Kontext“ (K5 Erde und Universum) ein kursorisches Grundwissen über die Entstehung des Kosmos (alternativ zu den Inhalten von **B-M4.12** und **B-M5.12** in der **Sek II**).

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 11/12 (W): Die Schülerinnen und Schüler ...

kennen die Zusammensetzung des Weltalls vor ca. 12 Mrd. Jahren kurz nach dem Urknall (ca. 75% Wasserstoff- und 25% Heliumkerne); erklären, dass Sterne durch Kernfusionen die leichteren Kerne bis Fe erzeugen; wissen, dass schwerere Kerne bei Supernovaexplosionen ausgebrannter schwerer Sterne erzeugt werden; kennen das Alter unseres Sonnensystem (ca. 4,4 Mrd. Jahre) und wissen, dass dieses aus einer Gaswolke entstand, die auch Überreste von Supernovaexplosionen und damit schwere Elemente enthielt; beschreiben die relative Häufigkeit der Kerne (Elemente) im ganzen Sonnensystem als identisch.

B-K Basiskonzept *Kräfte und Wechselwirkungen*

Kräfte und Wechselwirkungen und die darauf aufbauenden Bewegungsgleichungen im weitesten Sinne gehören zu den wichtigsten und umfassendsten Konzepten der Physik. Im Rahmen dieses Basiskonzepts sollen die Grundbegriffe der Mechanik und der Elektrizität (einschl. Magnetismus) eingeführt werden. Mechanische und elektrische Kräfte und Wechselwirkungen und die

■ **Kräfte und Wechselwirkungen** sind es, „was die Welt im Innersten zusammenhält“ ... und was sie bewegt! **Kraft und Wechselwirkung** sind daher ein Begriffspaar, das in allen Teilgebieten der Physik eine zentrale Rolle spielt. ■

damit verbundenen Phänomene und physikalischen Begriffe sollen möglichst gleichgewichtig vermittelt werden. Wo immer Analogien zwischen Mechanik und Elektrizität aufgezeigt werden können, sollen diese für die Vermittlung der Konzepte genutzt werden.

Viele der hier zu vermittelnden Begriffe spielen auch für die anderen Basiskonzepte (*Materie, Energie, Schwingungen und Wellen*) eine wichtige Rolle. Kräfte und Wechselwirkungen nehmen daher unter den vier Basiskonzepten den breitesten Raum in unserem Lehrplanvorschlag ein und bilden das Grundgerüst für ein physikalisches Verständnis von beobachtbaren und messbaren Phänomenen in Natur und Technik.

Details zu spezifischen Inhalten für alle nachfolgend kurz skizzierten Schwerpunktthemen und Jahrgangsstufen (*Jgg.*) sind in den [Tabellen B-K1 bis B-K3](#) in der [Anlage Basiskonzepte](#) zusammengestellt, aus denen die Lehrkräfte geeignete Themen so auswählen sollten, dass sie im gegebenen zeitlichen Rahmen im Unterricht erarbeitet werden können. In den Tabellen werden jeweils Hinweise zur Einbindung der Dimensionen „Methoden“ und „Kontexte“ aufgezeigt, die über den hier im Vordergrund stehenden Inhalten nicht vernachlässigt werden dürfen. Die nachfolgend notierten *Könnenserwartungen* sollen Anhaltspunkte für das Erreichbare geben.

In der [Sek II](#) schlagen wir neben den obligatorischen Modulen [B-K2.12](#) (Impuls, Drehimpuls) und [B-K4.12](#) (Grenzen der NEWTON'schen Mechanik) zwei alternative Wahlmodule vor, gekennzeichnet mit (W) und Stundenzahlen in Klammern.

B-K1 Arten von Kräften und Wechselwirkungen; elektrischer Strom.

In den *Jgg. 5/6* wird zunächst, ausgehend vom Alltagssprachlichen Gebrauch des Begriffs Kraft, ganz allmählich der *physikalische Kraft-Begriff* schrittweise eingeführt. Kräfte erkennt man daran, was sie bewirken. Es wird mit Schieben, Drücken, Ziehen experimentiert.

Wegen der Abstraktheit der Begriffe sollte dieses Thema nicht als Einstieg in die Physik vorgesehen werden.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 5/6: Die Schülerinnen und Schüler ...

unterscheiden physikalische Bedeutung und Alltagsbedeutung des Begriffs Kraft; beschreiben Kraft als Wechselwirkung zwischen Objekten; erklären, dass Kräfte Körper in Bewegung versetzen können; kennen die Wirkung von Reibungskräften; beobachten die Verlängerung einer Feder als Funktion des angehängten Gewichtsstücks und fertigen dazu elementare Diagramme an.

Ende Jgg. 7/8: Die Schülerinnen und Schüler ...

vergleichen Gravitation und Kräfte zwischen elektrischen Ladungen qualitativ; begründen, warum trotzdem im Alltag die Schwerkraft dominiert; erläutern die Begriffe Strom, Spannung, Widerstand mit ihren Einheiten und Beziehungen zueinander; wissen, dass der Widerstand temperaturabhängig ist; prüfen mit Vielfachmessgerät und Batterie, was ein Leiter, Halbleiter und Nichtleiter ist; bezeichnen Masse und Ladung als Erhaltungsgrößen; beschreiben verschiedene Wirkungen des elektrischen Stroms.

B-K2 Kräfte im Gleichgewicht – Kräfte und Bewegung: Kinematische Grundbegriffe werden bereits früh eingeführt und später zunehmend quantitativ beschrieben (Bewegungsgleichung). Gleichgewicht und Stabilität von Systemen von Objekten werden behandelt ebenso wie der Vektorcharakter von Kräften. In diesem Zusammenhang können auch Impuls und Impulserhaltung behandelt werden. Magnetische Kräfte auf Ladungen und Ströme können mit einfachen Experimenten veranschaulicht werden.

In der **Sek II** werden auf anschauliche Weise Drehimpuls und Drehimpulserhaltung erarbeitet.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 5/6: Die Schülerinnen und Schüler ...

können Geschwindigkeiten messen und kennen ihre Einheiten; kritisieren die Bezeichnung "kmh" im Straßenverkehr; erklären, dass bei Vernachlässigung aller Reibungskräfte ein Objekt (Körper) in Ruhe oder gleichmäßiger Bewegung bleibt, wenn keine Kraft wirkt (Trägheitsgesetz).

Ende Jgg. 7/8: Die Schülerinnen und Schüler ...

erläutern die Begriffe Masse und Gewicht; beschreiben qualitativ den Zusammenhang zwischen Kraft und Beschleunigung am Beispiel einfacher Bewegungen; diskutieren die Rolle der Reibungskraft; benutzen Kraftpfeile, um die Wirkung mehrerer Kräfte zu verstehen; beschreiben Versuche zur Demonstration der Wirkung eines Magnetfeldes auf den elektrischen Strom; beschreiben Anordnungen, um mit Hilfe eines elektrischen Stroms ein Magnetfeld zu erzeugen.

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

ermitteln zeichnerisch aus drei Kraftpfeilen die resultierende Kraft; erkennen Situationen von stabilem und metastabilem Gleichgewicht; erläutern den Begriff Impuls und können den Impulserhaltungssatz anwenden.

Ende Jgg. 11/12: Die Schülerinnen und Schüler ...

erläutern die physikalischen Größen Impuls und Drehimpuls; erklären die Erhaltungssätze für Impuls und Drehimpuls; kennen die Begriffe Trägheitsmoment und Rotationsenergie.

B-K3 Beschreibung von Wechselwirkungen durch Felder. Der Feldbegriff für elektrostatische und magnetostatische Kräfte soll erstmals sehr elementar und anschaulich in den **Jgg. 7/8** eingeführt werden. (Er wird u.a. im Basiskonzept B-S *Schwingungen und Wellen* benötigt.) Dabei werden auch einfache Experimente zur Induktion durchgeführt. Vertieft wird das Konzept der Felder in **Jgg. 9/10**, wo quantitativ das Gravitationsfeld und das elektrische Feld von Punktladungen eingeführt wird. Als wichtige Anwendung wird eine kurze Einführung in die Himmelsmechanik gegeben (Kontext K5).

Felder können in der **Sek II** als Wahlpflichtmodul **B-K3.12** quantitativ für Gravitation und elektromagnetische Wechselwirkung behandelt werden (alternativ zur Hydromechanik im Modul **B-K5.12**).

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 7/8: Die Schülerinnen und Schüler ...

führen einfache Experimente durch, mit denen man ein Magnetfeld veranschaulichen kann und erläutern, was Feldlinien bedeuten (Richtung und Abstand); kennen weitere Felder, beschreiben grundlegende Versuche zur Induktion.

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

beschreiben das Sonnensystem; kennen die Größenordnung der Massen von Sonne und einigen Planeten sowie deren mittlere Bahnradien; kennen den Platz der Sonne in unserer Galaxie; diskutieren die drei im Wortlaut vorgegebenen KEPLER'schen Gesetze und vergleichen die Umlaufzeiten zweier Planeten; verstehen, dass die gleichen Gesetze auch für die Mond- und Satellitenbahnen gültig sind; erklären qualitativ die wirkenden Kräfte, welche die Bahnen stabil halten.

Ende Jgg. 11/12 (W): Die Schülerinnen und Schüler ...

berechnen die Bahn eines geostationären Satelliten; beschreiben, was elektromagnetische Induktion ist; benennen quantitative Zusammenhänge dafür; erklären einen Transformator oder einen elektrischen Schwingkreis.

B-K4 Grenzen der NEWTON'schen Mechanik In diesem für die **Sek II** konzipierten Modul sollten die Grenzen der klassischen Physik deutlich werden. Dabei wird sowohl im Bereich des ganz Kleinen (Längen von der Größenordnung der Atome) wie auch des ganz Großen (Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit) eine kompakte, systematische Einführung zu den grundsätzlichen Vorgehensweisen gegeben.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 11/12: Die Schülerinnen und Schüler ...

wissen, dass Atome, Atomkerne und Elementarteilchen (so auch Elektronen) einen Eigendrehimpuls besitzen (Spin genannt), der ein ganz- oder halbzahliges Vielfaches von \hbar ist; kennen die Grundannahmen und einige wichtige Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie; diskutieren für ausgewählte Beispiele die Größe von $\Delta E = \Delta m c^2$.

B-K5 Kräfte in kontinuierlichen Medien. Bereits in den **Jgg. 5/6** kann auf elementare Weise das Thema Schwimmen und Schweben behandelt werden (ARCHIMEDES). Gegen Ende der **Sek I** sollten auch einige wichtige Grundlagen zu den Eigenschaften von Gasen und Flüssigkeiten erarbeitet werden. In der **Sek II** kann im Rahmen eines Wahlpflichtmoduls die Hydromechanik behandelt werden. Wie sich dies (bis hin zu den Grundlagen des Fliegens) realisieren lässt, muss jedoch die Praxis ergeben (alternativ zu dem konventionell intensiv bearbeiteten Thema „klassische Felder“).

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 5/6: Die Schülerinnen und Schüler ...

erklären, warum ein Stein im Wasser untergeht, aber ein Schiff schwimmt.

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

erklären den Begriff Druck und dessen Wirkungen; nennen Beispiele dafür, z.B. Luftdruck, Blutdruck; erklären, dass Gasdruck auf eine Wand durch elastische Streuung der Teilchen und Impulsübertrag entsteht; können die Stoffmenge Mol erklären; bestimmen anhand von Tabellen das Molgewicht unterschiedlicher Moleküle.

Ende Jgg. 11/12 (W): Die Schülerinnen und Schüler ...

beschreiben Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Querschnitt einer Strömung; kennen den Begriff Staudruck; erklären anhand der (vorgegebenen) BERNOULLI- Gleichung, wie Unterdruck in Strömungen entsteht; erläutern darauf aufbauend, wieso ein Vogel oder ein Flugzeug fliegt.

B-E Basiskonzept *Energie*

■ Energie ist eine fundamentale physikalische Größe, die in allen Teilgebieten der Physik wie auch in allen anderen Naturwissenschaften und in der Technik grundsätzliche Bedeutung besitzt. ■

Die gesamte, in einem abgeschlossenen System enthaltene Energie (Gesamtenergie) ist eine Erhaltungsgröße, die sich nur durch Übertragung zu und aus anderen Systemen oder durch Umwandlung von und in Materie (Masse)¹⁷ ändern kann. Dieser *Energieerhaltungssatz* ist von fundamentaler Bedeutung für alle Natur- und Technikwissenschaften. Im Rahmen dieses Basiskonzepts *Energie* sollen die Schüler die wichtigsten Energieformen und die Vorgänge bei deren Umwandlung kennenlernen. Dabei werden die zentralen Konzepte, Begriffe und Größen aus Mechanik und Elektrizität, die im Rahmen des Basiskonzepts *Kräfte und Wechselwirkungen* mit den Jahrgängen fortschreitend vermittelt wurden, vertieft und ggf. aus der Perspektive *Energie* neu bewertet.

Eine wichtige Rolle spielt die Wärmelehre, die z.T. im Rahmen des Energie-Konzepts erstmals entwickelt wird. Ein Exkurs in die historische Entwicklung des Energiebegriffs kann dabei, ausgehend vom Alltagsgebrauch des Begriffs, das Verständnis erweitern. Die Bedeutung der Begriffe Energie, Leistung, Arbeit, Wärmemenge, innere Energie und Temperatur, aber auch deren Einheiten und Größenordnungen sollen behandelt, und reversible sowie irreversible Prozesse sollen besprochen werden. In der **Sek II** wird auch der zweite Hauptsatz der Wärmelehre auf elementare Weise eingeführt.

Dieses Basiskonzept bietet sich in besonderer Weise für die Vermittlung von Kompetenzen im Bereich „Bewertung“ an. Eine Reihe „epochaltypischer“ Schlüsselprobleme sind hier bzw. im Zusammenhang mit dem Begriff „Strahlung“ in **B-S4** anzusiedeln. Details zu spezifischen Inhalten für alle nachfolgend kurz skizzierten Schwerpunktthemen und Jahrgangsstufen (**Jgg.**) sind in den **Tabellen B-E1 bis B-E3** in der **Anlage Basiskonzepte** zusammengestellt, aus denen die Lehrkräfte geeignete Themen so auswählen sollten, dass sie im gegebenen zeitlichen Rahmen im Unterricht erarbeitet werden können. In den Tabellen werden jeweils Hinweise zur Einbindung der Dimensionen „Methoden“ und „Kontexte“ aufgezeigt, die über den hier im Vordergrund stehenden Inhalten nicht vernachlässigt werden dürfen. Die nachfolgend notierten *Könnenserwartungen* sollen Anhaltspunkte für das Erreichbare geben.

B-E1 Definition und Formen der Energie: Auf makroskopischer Skala manifestiert sich Energie in vielerlei Form: z.B. als Bewegung, Schall, elektrisches und magnetisches Feld, Strahlung, Wärme, chemische Energie, Kernenergie (nicht alle können im Physikunterricht ausführlich behandelt werden). In der mikroskopischen Betrachtungsweise gibt es nur kinetische

¹⁷Rein formal kann man die gesamte Masse des Systems mit $E = mc^2$ als Teil der Gesamtenergie betrachten.

Energie (Bewegung von Teilchen) und potenzielle Energie. Beginnend mit einer zunächst rein phänomenologischen Einführung von Energie, Wärme und Temperatur, werden im Verlauf der **Sek I** auch die mikroskopische Betrachtungsweise eingeführt und verschiedene Betrachtungsweisen und Formen der Energie unterschieden, bis hin zur Äquivalenz von Masse, m , und Energie nach EINSTEINS $E = mc^2$.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 5/6: Die Schülerinnen und Schüler ...

nennen Energiequellen und Verbraucher im Alltag; problematisieren die Begriffe Energiequelle und Energieverbraucher (vs. Umwandler); messen Temperaturen von Objekten (in °C) mit verschiedenen Thermometern.

Ende Jgg. 7/8: Die Schülerinnen und Schüler ...

erklären das physikalische Konzept Energie; kennen die physikalische Größe Leistung und beschreiben z.B. deren Zusammenhang mit Strom und Spannung; geben Einheiten dafür an; erläutern die Einheit kWh und rechnen diese in Joule um; vergleichen experimentell den Energieinhalt in einem aufgeladenen Kondensator mit dem in einer Batterie.

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

erläutern die Begriffe Schmelz-, Lösungs- und Verdampfungswärme; erklären die "Energiegewinnung" aus Kernspaltung und Kernfusion.

B-E2 Energieerhaltung und Energieumwandlung; Reversibilität. Der Energieerhaltungssatz kann am anschaulichsten zunächst an mechanischen Beispielen erläutert und begründet werden, wobei die Begriffe kinetische und potenzielle Energie eingeführt werden. Daran schließt sich eine Einführung in die Grundbegriffe und Phänomene der Wärmelehre und den Temperaturbegriff an.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 7/8: Die Schülerinnen und Schüler ...

erklären anhand von Beispielen die goldene Regel der Mechanik und wie diese mit Energieerhaltung zusammenhängt; berechnen bei beliebigem Weg die Geschwindigkeit eines reibungsfrei fallenden Körpers mit Hilfe des Energiesatzes.

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

erklären, was eine Wärmekraftmaschine ist; ordnen den Begriff Wirkungsgrad richtig ein.

Ende Jgg. 10/12: Die Schülerinnen und Schüler ...

können die quantitative Beschreibung einer Wärmekraftmaschine nachvollziehen; erklären, was Energieentwertung bedeutet; verstehen, was ein Perpetuum Mobile zweiter Art ist und machen plausibel, warum es nicht funktionieren kann.

B-E3 Energieversorgung, Energietransport, Energiewirtschaft. Hier soll der Bezug zu aktuellen Fragen der Zeit hergestellt werden. Was versteht man unter dem Begriff Energie im Alltag? Energie kann nicht „erzeugt“ werden, wie in der Alltagssprache immer wieder fälschlich behauptet wird, sondern wird nur von einer in eine andere Form umgewandelt. Wie funktionieren Wärmekraftmaschinen? Was sind die Potenziale der „regenerativen“ Energieversorgung? Wie groß ist der Energiebedarf in Deutschland? In der Welt? Kann er durch Sonnenenergie gedeckt werden?

Die Problematik der Energiespeicherung für regenerative Energien sollte thematisiert, artikuliert und bewertet werden.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 7/8: Die Schülerinnen und Schüler ...

erklären, wie ein Elektromotor oder ein Generator im Prinzip funktioniert; unterscheiden Primär- und Sekundärenergie; beschreiben verschiedene Energietransportwege; begründen qualitativ ($P = U \cdot I$), warum man Hochspannungsleitungen für den Transport elektrischer Energie benutzt.

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

beschreiben anhand von Tabellenmaterial die Energiebilanz der Bundesrepublik und bewerten die verschiedenen Energieträger; vergleichen diese mit der eingestrahelten Sonnenenergie; erklären, warum fehlende Energiespeicher ein Problem darstellen.

Ende Jgg. 11/12: Die Schülerinnen und Schüler ...

bewerten moderne Energiekonzepte (z.B. Energiewende) und ihren Einfluss auf Umwelt und Klima quantitativ und vergleichen Alternativen.

B-S Basiskonzept *Schwingungen und Wellen*

■ Schwingungen und Wellen spielen eine Schlüsselrolle in praktisch allen Teilgebieten der Physik ebenso wie im Alltag und in der Technik. ■

Schwingungen und Wellen werden in fast allen Bereichen der Physik beobachtet und die damit verbundenen Phänomene können überall auf praktisch gleiche Weise beschrieben und mathematisch formuliert werden. Sie begegnen im täglichen Leben bereits Kindern, und ihre praktische Bedeutung im heutigen Leben kann kaum überschätzt werden (man denke nur an die medizinische Diagnostik oder die optische Datenübertragung im Internet).

In der Schulphysik spielen Schwingungs- und Wellenphänomene bislang meist eine eher nebensächliche Rolle, obwohl Schwingungen und Wellen mit wenig Aufwand experimentell erschlossen werden können.

Auf eine streng mathematische Behandlung wird man in der Schule zumindest am Anfang verzichten, dafür aber reichlich Anregung zum Experimentieren geben. Die nachfolgend beschriebenen Schwerpunkte sollten behandelt werden.

Details zu spezifischen Inhalten für alle nachfolgend kurz skizzierten Schwerpunktthemen und Jahrgangsstufen (Jgg.) sind in den [Tabellen B-S1 bis B-S6](#) in der [Anlage Basiskonzepte](#) zusammengestellt, aus denen die Lehrkräfte geeignete Themen so auswählen sollten, dass sie im gegebenen zeitlichen Rahmen im Unterricht erarbeitet werden können. In den Tabellen werden jeweils Hinweise zur Einbindung der Dimensionen „Methoden“ und „Kontexte“ aufgezeigt, die über den hier im Vordergrund stehenden Inhalten nicht vernachlässigt werden dürfen. Die nachfolgend notierten *Könnenserwartungen* sollen Anhaltspunkte für das Erreichbare geben.

B-S1 Schwingungs- und Wellenphänomene in Alltag und Technik.

Der Anschauung noch leicht zugänglich werden mechanische Schwingungen (Schaukel, Wippe, Pendel, Stimmgabel) als **periodische** Änderung einer messbaren Größe beobachtet. Wellen lernen die Schüler als zugleich räumliche Änderung kennen, zunächst an anschaulichen Modellen. Im Laufe

der Schuljahre sollen diese Begriffe und Phänomene mit verschiedenen Beispielen illustriert, aber auch quantitativ behandelt werden.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 5/6: Die Schülerinnen und Schüler ...

beobachten Schwingungen und beschreiben sie als **periodischen** Vorgang, kennen den Begriff Schwingungsdauer; erzeugen Wasserwellen durch Störung der Wasseroberfläche; identifizieren Wellenlänge und Amplitude.

Ende Jgg. 7/8: Die Schülerinnen und Schüler ...

unterscheiden Schwingungen und Wellen; erklären, dass sich Schall durch Druckwellen ausbreitet (in Luft, in einem Metallstab), wobei Energie, aber keine Materie transportiert wird; kennen Schwingungsdauer und Frequenz; wissen, wie beide zusammenhängen.

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

beschreiben Wellen als **periodischen** Vorgang in Ort *und* Zeit; kennen die Beziehung zwischen Wellenlänge und Frequenz; beschreiben Reflexion und Brechung von mechanischen Wellen; beschreiben die Phänomene Beugung und Interferenz und nennen Beispiele; erklären den DOPPLER-Effekt in der Akustik.

B-S2 Licht als Phänomen. Das zentrale Schwerpunktthema ist das „Licht“ (womit wir in der Regel das gesamte elektromagnetische Spektrum ansprechen). Zunächst geht es um eine phänomenologische Einführung, sodann werden die Grundzüge der geometrischen Optik erarbeitet – ohne hier in eine detaillierte mathematische Behandlung von Brechung, Linsen und Abbildungen einzutreten, die im üblichen Schulunterricht häufig breiten Raum einnimmt.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 5/6: Die Schülerinnen und Schüler ...

planen einfache Experimente zur Reflexion und Transmission von Licht und führen sie durch mit verschiedenen Materialien und Lichtquellen; untersuchen und beschreiben die Farbe von Objekten, die mit unterschiedlich farbigen Lichtquellen beleuchtet werden.

Ende Jgg. 7/8: Die Schülerinnen und Schüler ...

führen einfache, qualitative Experimente zur Abbildung mit Linsen durch und werten sie aus; skizzieren einfache optische Geräte (Lupe, Fernrohr) mit den jeweiligen Strahlengängen und erklären ihre Funktionsweise.

B-S3 Licht als elektromagnetische Welle: Bereits in **Jgg. 7/8** wird das Thema eingeführt und das Spektrum besprochen. Beugung und Interferenz werden experimentell demonstriert und erklärt (**Jgg. 9/10**). Eine quantitative Vertiefung folgt in der **Sek II**.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 7/8: Die Schülerinnen und Schüler ...

vergleichen akustische Wellen und Licht; beschreiben die speziellen Eigenschaften von el. magnet. Strahlung bei verschiedenen Wellenlängen; nennen Möglichkeiten zu deren Erzeugung und Anwendungsfelder.

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

erklären Beugung durch die Ausbreitung von Kugelwellen; konstruieren graphisch die Lage von Maxima und Minima bei der Interferenz am Doppelspalt; begründen anschaulich, dass das Auflösungsvermögen optischer Instrumente durch die Wellenlänge begrenzt wird; vergleichen den DOPPLER-Effekt in der Akustik und beim Licht.

Ende Jgg. 11/12: Die Schülerinnen und Schüler ...

benutzen die Abbildungsgleichung für dünne Linsen; behandeln Beugungs- und Interferenzexperimente quantitativ; erklären Mikroskop und Fernrohr und deren Auflösungsvermögen.

B-S4 Elektromagnetische Strahlung und Energietransport: In Jgg. 9/10 werden Strahlungsenergie und Spektrum der Sonne sowie die Energiebilanz Erde-Sonne eingeführt. Das STEFAN-BOLTZMANN-Gesetz erlaubt es, den gesamten Komplex von ein- und abgestrahlter Energie, Klima, ggf. auch Photovoltaik anzusprechen. In der **Sek II** wird das Thema zum „epochaltypischen“ Problem Klima und Umwelt erweitert.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 7/8: Die Schülerinnen und Schüler ...

skizzieren das Spektrum der Sonneneinstrahlung oberhalb der Erdatmosphäre; erklären, dass die Sonneneinstrahlung die wesentliche Energiequelle der Erde ist; berechnen eine fiktive mittlere Erdtemperatur aus Solarkonstante, Sonnentemperatur, Abstand Erde-Sonne und Erdradius; erläutern im Ansatz den Treibhauseffekt; begründen, warum Glühbirnen keine effizienten Lichtquellen sind.

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

wissen, dass elektromagnet. Strahlung etwa $\propto 1/r^2$ mit dem Abstand r von der Quelle abnimmt; erklären die Bedeutung und Wirkung der Treibhausgase, die durch Absorption und Emission von Wärmestrahlung die Erde bewohnbar machen; unterscheiden Klima und Wetter; benennen wichtige Ursachen für globale Wetteränderungen; skizzieren die Entwicklung der globalen mittleren Lufttemperatur an der Erdoberfläche seit Beginn der Industrialisierung; erklären den Zusammenhang mit der vom Menschen verursachten Erhöhung des CO₂-Anteils in der Atmosphäre; bewerten die aktuell diskutierten Klimaziele (2 °C).

B-S5 Wellen und Strahlung in Medizin und IT. Dieses wichtige, aber aus Zeitgründen knapp gehaltene Zwischenthema, spricht spezifisch die Kontexte K1 *Physik und Mensch: Spiel, Sport, Medizin* und K2 *Physik und Technik* an.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 7/8: Die Schülerinnen und Schüler ...

wissen, was Ultraschall ist; beschreiben das Geschwindigkeitsradar der Polizei und Ultraschall in der Medizin; berechnen sinnvolle Frequenzen für medizinische Anwendungen.

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

erklären, wie optische Datenübertragung funktioniert; beschreiben das Prinzip einer Röntgenaufnahme.

B-S6 Wellen und Quanten. Bereits in den Jahrgängen 9/10 kann der Welle-Teilchen-Dualismus anschaulich in einem ersten Ansatz erarbeitet werden. Auch dieses Thema wird in der [Sek II](#) vertieft und mit den entsprechenden Themen im Basiskonzept „Materie“ zusammengeführt.

Könnenserwartungen

Ende Jgg. 9/10: Die Schülerinnen und Schüler ...

nennen Teilchen- und Welleneigenschaften von Licht und erklären typische Experimente, bei denen diese beobachtet werden (photoelektrischer Effekt, Interferenz); beschreiben und erläutern die Entwicklung des Beugungsbildes am Doppelspalt mit extrem abgeschwächtem Laserlicht; vergleichen Photonen und Elektronen bezüglich ihrer Teilchen- und Welleneigenschaften.

Ende Jgg. 11/12: Die Schülerinnen und Schüler ...

nennen Experimente, die das Versagen der klassischen Physik dokumentieren; diskutieren Wellenfunktion und Wahrscheinlichkeit; geben sinnvolle Grenzen der Messgenauigkeit für Ort und Impuls von Elektronen, Ionen an; berechnen die Energie von Elektronen, die notwendig ist, um eine bestimmte Struktur der Größe d (z.B. ein Virus) im Elektronenmikroskop aufzulösen (hier genügt: $\lambda_e \simeq d$).

3.4 Zur Entwicklung von Lehrplänen

Vor diesem Hintergrund stellen wir in Abschn. 3.4 einige grundsätzliche Überlegungen zur Gestaltung konkreter Lehrpläne für den Physikunterricht in der Schule vor, die auf diesen Schwerpunkten aufbauen. In der [Anlage Basiskonzepte](#) skizzieren wir *eine mögliche Realisierung* eines solchen Rahmenlehrplans etwas ausführlicher.

3.4.1 Der Gestaltungsrahmen

Die Möglichkeiten und Schwierigkeiten bei der Entwicklung eines konkreten Rahmenlehrplans auf der Basis der soeben vorgestellten inhaltlichen Schwerpunkte sind offenkundig:

1. Die zu vermittelnden fachlichen Inhalte sollen anhand der vier Basiskonzepte gegliedert werden.¹⁸ Erstere sind also (möglichst sparsam) so auszuwählen, dass sie Letztere möglichst einprägsam veranschaulichen bzw. repräsentieren. Dabei gehen wir aber davon aus, dass alle fachkanonischen Gebiete der Physik (Mechanik, Elektrizität, Wärme, Optik und möglichst auch Quantenphysik und Astronomie) zumindest bezüglich ausgewählter, zentraler Phänomene und Begriffe erschlossen werden – wohl wissend, dass aus Zeitgründen ein vollständiger fachsystematischer Aufbau der Physik selbst auf elementarem Niveau nicht möglich ist.

Die Auswahl konkreter Themen für ein Basiskonzept ist keinesfalls willkürlich. Vielmehr müssen die Themen so gewählt werden, dass sie insgesamt das jeweilige Konzept möglichst gut repräsentieren.

¹⁸Im Gegensatz dazu orientieren sich die bisherigen Lehrpläne in der Regel am kanonischen Stoffkatalog der Physik (in ihrer Gliederung ggf. akzentuiert durch lebensnahe Kontexte). Basiskonzepte wurden bislang meist lediglich als Rahmen für die Einordnung dieses Stoffes verstanden.

An die Stelle von etwa 100 Einzelthemen treten jetzt etwa 20 repräsentative, gut aufeinander abgestimmte Schwerpunkte, die insgesamt einen kohärenten Überblick über die Physik gewährleisten.

Methoden sind bei der Erarbeitung von Fachinhalten stets präsent und sollen den Schülern bewusst gemacht werden. Kontexte können das Interesse der Schüler wecken und Anwendungsfelder sichtbar machen. Beide Dimensionen werden hier aber nicht zur Gliederung des Lehrplans benutzt.

2. Alle vier Basiskonzepte sollen in allen Jahrgangsstufen vertreten sein. Als stets präsente Leitideen sollen sie dazu beitragen, Physik als zusammenhängendes Ganzes zu vermitteln und die oft von Schülern und Schülerinnen beklagte Fragmentierung der Physik als Sammlung einzelner Fakten zu überwinden.

Jedes dieser vier Basiskonzepte mit je 4-6 Schwerpunkten ist recht breit angelegt. Diese dürfen sich nicht zu Überschriften für zahlreiche, fragmentierte Einzelthemen entwickeln, sondern müssen jeweils ein kohärentes physikalisches Thema repräsentieren und die fast 100 Unterthemen der bisherigen Lehrpläne (Tab. 2.2) ablösen.

3. Keines der vier Basiskonzepte ist ganz ohne die Nutzung von Begriffen und Phänomenen zu vermitteln, die in einem der anderen Basiskonzepte erarbeitet werden – anders als bei fachsystematisch strukturierten Curricula gibt es *a priori* keine in sich geschlossene Abfolge von Teilgebieten, die zwangsläufig aufeinander aufbauen. Die Inhalte der einzelnen Module in den vier Basiskonzepten müssen daher zeitlich gut aufeinander abgestimmt und miteinander verbunden werden.
4. Auch die in Kap. 2.5.2 vorgestellten Handlungsoptionen geben wichtige Anregungen für die Entwicklung von Lehrplänen. So sollten – um nur zwei Beispiele zu geben – möglichst von den Schülern selbst auszuführende Experimente eine zentrale Rolle spielen, während Details der von Heranwachsenden meist als langweilig und zermürbend empfundenen mathematischen Beschreibung – so wichtig sie für die Physik als Wissenschaft auch sind – nur beispielhaft Eingang in den Schulunterricht finden sollen.
5. Die weiteren beiden Dimensionen, *Methoden* der Physik (*Kompetenz: Erkenntnisgewinnung*) und schülernahe bzw. gesellschaftsrelevante *Kontexte*, sollten gleichwertig in die Unterrichtsempfehlungen integriert werden. Sie unterstützen und vertiefen den Lehr- und Lernprozess.

Kontexte (Abschn. 3.2.4) sollen dazu beitragen, dass sich Schülerinnen und Schüler von den Inhalten persönlich angesprochen fühlen. Die Kontexte sollen also dort aufgerufen werden, wo dies die aus den Basiskonzepten heraus entwickelte Stoffabfolge zwanglos nahelegt.

Wir benutzen aber weder die Methoden noch die Kontexte als Schema zur inhaltlichen Gliederung des Stoffes.¹⁹

6. Auch die beiden anderen *Kompetenzen* („Dimensionen“ in der hier gebrauchten Terminologie), die oben bereits angesprochen wurden, nämlich *Kommunikation* und *Bewertung* (Abschn. 3.2.3), müssen im Unterricht explizit angesprochen und entwickelt werden.

Zumindest gelegentlich sollte den Schülern zugleich vor Augen geführt werden, dass Kompetenz in den Bereichen Kommunikation und Bewertung selbstverständlich *auch* zu den unverzichtbaren profes-

¹⁹Bei näherer Betrachtung verschiedener Lehrpläne, in denen eine Gliederung nach Kontexten konsequent versucht wird, überzeugt man sich davon, dass erhebliche Schwierigkeiten entstehen, die benötigten fachlichen Vorkenntnisse für einen verständlichen, fachlich stimmigen Physikunterricht zur rechten Zeit bereitzustellen.

sionellen Fähigkeiten des Physikerberufs gehört – durchaus im Sinne der **KMK**-Standards und darüber hinaus: etwa so wie es **These 3** der „Denkschrift Physik“ (DPG, 2001) anspricht, die wir in den **Schlussbemerkungen** auszugsweise zitieren.

Wie dies alles im Einzelnen berücksichtigt werden kann, muss der detaillierten Ausarbeitung konkreter Lehrpläne für den Physikunterricht in der Schule überlassen bleiben und kann nicht Gegenstand dieser Studie sein. Wir erinnern hier aber nochmals an die 60:40 Regel (Abschn. 3.1.2), die bei der konkreten Stoffauswahl im Unterricht unbedingt beachtet werden sollte.

3.4.2 Zur Gewichtung der Schwerpunkte

Als Vorstufe zu einer konkreten Lehrplanentwicklung machen wir einen Vorschlag für eine *a priori* plausible und übersichtliche Gliederung des zu vermittelnden Stoffes mit einer Aufteilung auf die verfügbaren Schulstunden über die Schuljahre hinweg. Eine solche Übersicht sollte am Anfang und am Ende jeder konkreten Planung eines Lehrplans stehen – als Richtschnur für die Einbindung von Inhalten bzw. als Wegweiser für die Umsetzung des Plans in die Praxis.

Anderenfalls läuft man Gefahr, die tatsächlich vermittelbare Stofffülle massiv zu überschätzen, wie wir dies bei der konventionellen Gliederung festgestellt haben. Es geht also um eine Art „Machbarkeits“-Prüfung. Tab. 3.7 auf der nächsten Seite gibt eine Übersicht zu unserem Vorschlag.

Die sich dabei für die einzelnen Schuljahrgänge ergebenden Gesamtstundenzahlen orientieren sich nach Tab. 2.3 auf Seite 46 an den bereits mehrfach erwähnten „**Best Practice**“ Beispielen. Die in der Tabelle kommunizierten Vorschläge für die Stundenzahlen der Schwerpunkte pro Schuljahr drücken letztlich das Gewicht aus, welches wir den jeweiligen Themen zuordnen.

Eine weitere Detaillierung findet sich in den Tabellen der **Anlage Basiskonzepte**, zu denen in der ersten Spalte von Tab. 3.7 jeweils entsprechende Verlinkungen führen. Neben den inhaltlichen Hinweisen zu den vier Basiskonzepten enthalten die Tabellen **B-M1** bis **B-S5** jeweils auch Hinweise auf notwendige oder wünschenswerte Verknüpfungen zwischen den Basiskonzepten und konkrete Vorschläge für die optimale Einpassung der beiden anderen Dimensionen (*M Methoden* und *K Konzepte*).

Auf welche Weise das hier vorgestellte Gesamtkonzept am wirkungsvollsten in konkrete, auch vom Stoffvolumen her realistische Lehrpläne umzusetzen ist, muss letztlich die Praxis erweisen. Eine wirkungsvolle fachdidaktische Begleitung der Implementierung von Lehrplänen, die auf diesen Grundlagen beruhen, wäre sehr wünschenswert.

Eine Übersicht über die Aufteilung der verfügbaren Schulstunden auf die zu erarbeitenden Themen sollte zu jeder Lehrplangestaltung gehören.

Tab. 3.7: Übersicht zur Stundenplanung für die Basiskonzepte mit Schwerpunktthemen (Tab. identisch mit Tab. B-1.2 in Anlage Basiskonzepte): Die Summen der jeweils empfohlenen Physikstundenzahlen pro Jahrgangsstufe entsprechen den „Best Practice“ Beispielen der Bundesländer für **Sek I** und **Sek II** (G8) im Grundkurs (GK) und Leistungskurs (LK) (s. Tab. 2.3 auf Seite 46); die Stundenzahlen in Klammern im GK sind als Wahlpflichtmodule vorgesehen, von denen je eines pro Basiskonzept behandelt werden sollte. In der Tabelle nicht aufgeführte Methoden und Kontexte zu diesen Schwerpunktthemen sind in der **Anlage Basiskonzepte** dargestellt und können direkt aus der Tabelle aufgerufen werden (Linke Spalte, B-M1 bis B-S6).

Basiskonzept – Schwerpunktthema		Sek I			Σ	Sek II	
		5/6	7/8	9/10		GK	LK
B-M	Materie	6	14	22	42	28	68
B-M1	Grundlagen, Teilchen, Aggregatzustände	6	9		15		
B-M2	Thermische Eigenschaften und Teilchenmodell			7	7		
B-M3	Atomstruktur: Geladene Teilchen, Hülle und Atomkern		5	8	13	18	20
B-M4	Kerne, Radioaktivität und Elementarteilchen			7	7	(10)	16
B-M5	Festkörper und Halbleiter					(10)	16
B-M6	Materie im Universum					(10)	16
B-K	Kräfte und Wechselwirkungen	16	42	27	85	48	84
B-K1	Arten von Kräften und Wechselwirkungen; elektrischer Strom	8	22		30		20
B-K2	Kräfte im Gleichgewicht & Bewegung	6	12	10	28	10	10
B-K3	Beschreibung von Wechselwirkungen durch Felder		8	8	16	(14)	20
B-K4	Grenzen der NEWTON'schen Mechanik					10	20
B-K5	Kräfte in kontinuierlichen Medien	2		9	11	(14)	14
B-E	Energie	8	24	28	62	16	45
B-E1	Definition und Formen der Energie	8	6	10	22		
B-E2	Energieerhaltung und Energieumwandlung; Reversibilität		10	8	18	6	20
B-E3	Energieversorgung, Energietransport, Energiewirtschaft		8	10	20	10	25
B-S	Schwingungen und Wellen	18	26	35	79	34	65
B-S1	Schwingungs- und Wellenphänomene in Alltag und Technik	9	8	8	25		10
B-S2	Licht als Phänomen	9	8		17		
B-S3	Licht als elektromagnetische Welle		6	8	14	10	10
B-S4	El.magn. Strahlung & Energietransport			6	6	10	15
B-S5	Wellen und Strahlung in Medizin und IT		4	4	8		10
B-S6	Wellen und Quanten			9	9	14	20
Wahlthemen – Freiraum		8	6		14		18
Schulstunden insgesamt		56	112	112	280	112	280

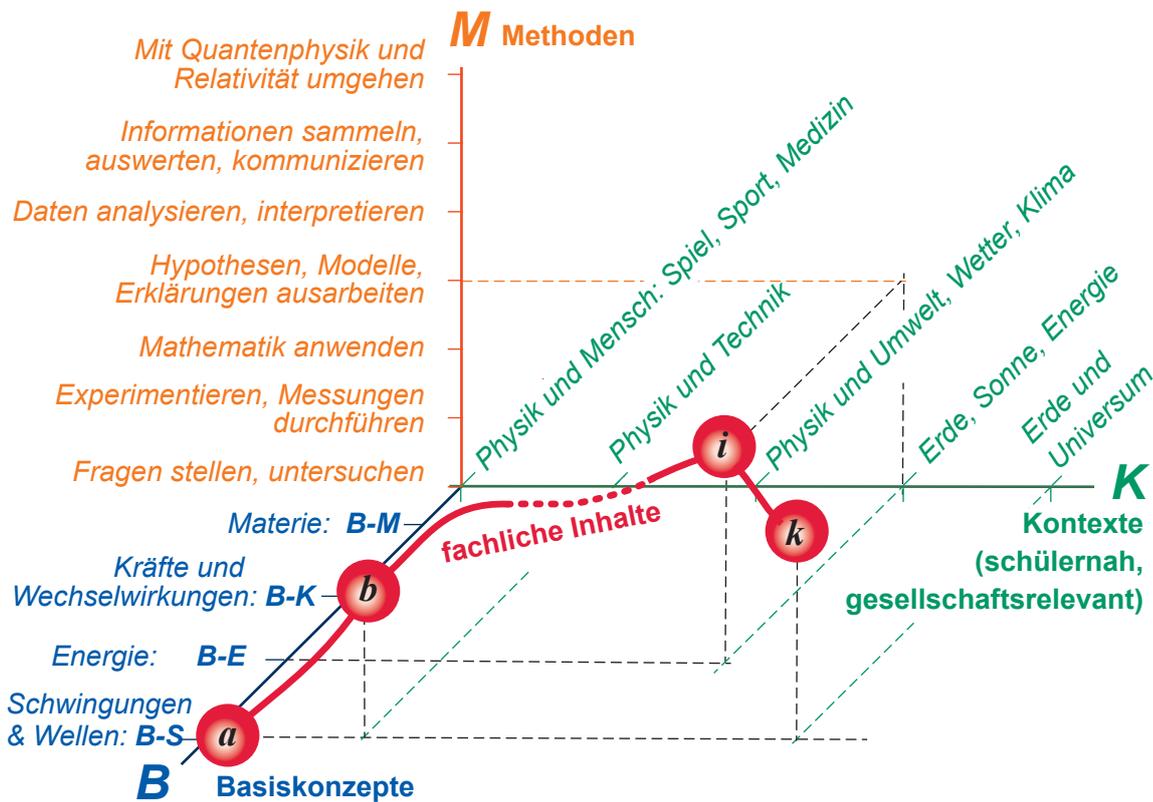


Abb. 3.1: Veranschaulichung der neuen Basiskonzepte in ihrer Mehrdimensionalität, mit den Koordinaten **B** = *Basiskonzepte*, **K** = *Kontexte* und **M** = *Methoden*; rot eingezeichnet ist ein möglicher Lehrpfad mit den Stationen *a, b ... i* und *k*; nicht dargestellt ist hier die zusätzliche Dimension „Zeit“ bzw. „Jahrgangsstufe“. Details siehe Text.

3.4.3 Zur zeitlichen Abfolge der Module

Die drei Dimensionen unseres Gesamtkonzepts für den Physikunterricht – Basiskonzepte (**B**), Kontexte (**K**) und Methoden (**M**) – kann man als die drei Achsen eines Koordinatensystems veranschaulichen. Dies ist in Abb. 3.1 skizziert. Die Abbildung soll zugleich die Vernetzung der unterschiedlichen Betrachtungsweisen illustrieren. Man kann den zeitlichen Ablauf von Lehrplänen in diesem Koordinatenraum auf unterschiedliche Weise realisieren (Zeit als Parameter), wobei – wie in Abschn. 3.2.3 beschrieben – die hier nicht dargestellten Kompetenzen *Kommunikation* und *Bewertung* stets mitzudenken und im Unterricht explizit anzusprechen sind.

Eine curriculare Abfolge können wir uns im Prinzip als Trajektorie in diesem 3D-Raum vorstellen, die im Wesentlichen in einer Ebene parallel zur **KM**-Ebene verläuft – gelegentliche Verzweigungen sind aber nicht ausgeschlossen. Die in Abb. 3.1 rot eingezeichnete Linie gibt ein hypothetisches Beispiel, das sich auf das Basiskonzept *Schwingungen und Wellen* konzentriert (Ebene durch **B-S**, parallel zur **KM**-Ebene). Sie beginnt an dem durch die rote Kugel *a* markierten Punkt mit *Experimenten* im *Kontext* von Alltagserfahrungen (z. B. schwingende Schaukel, Wellen im See, Schallwellen aus Musikinstrumenten und Lautsprechern). Dabei ist

an rein qualitative Beobachtungen zu denken. Die nächste Station (rote Kugel *b*) könnte durch *Messen* einen ersten Schritt zum *Anwenden von Mathematik* beinhalten (z. B. $T^2 \propto \ell/g$ für die Schwingungsdauer T einer Schaukel) und sich sodann technischen Anwendungen widmen (vielleicht mit dem berühmten Film vom resonanzbedingten Einsturz der Tacoma-Narrows-Bridge). Viele weitere Schritte werden sich anschließen, z. B. wird ein Wechsel zu anderen Schwerpunkten zu vollziehen sein (Licht als elektromagnetische Welle), auch ein Ausbrechen aus der jeweiligen Ebene kann sinnvoll sein und z. B. das Basiskonzept *Energie* aufrufen, um eine Modellvorstellung und Erklärung des Gleichgewichts zwischen Einstrahlung der Solarenergie und Abstrahlung der Erde auszuarbeiten (rote Kugel *i*) (dabei kann z. B. auch über den Energieerhaltungssatz gesprochen werden). In der **Sek II** wäre dann ggf. über die kosmische Hintergrundstrahlung und darauf basierende kosmologische Modellvorstellungen zu sprechen (rote Kugel *k*).

Eine durchgängige Realisierung und Darstellung des gesamten Lehrplans für die Schulphysik in der **Sek I** und **Sek II** auf ähnliche Weise dürfte freilich sehr komplex und rasch unübersichtlich werden – und würde den Rahmen dieser Studie jedenfalls weit überschreiten. Wir konzentrieren uns daher auf die vorangehend beschriebene, im Prinzip *eindimensionale Gliederung anhand der Basiskonzepte*. Bei der zeitlichen Abfolge der Module in den Lehrplänen – innerhalb einer Jahrgangsstufe (**Jg.**) ebenso wie zwischen den verschiedenen Jahrgangsstufen – müssen wir dabei berücksichtigen, dass die Basiskonzepte nicht isoliert voneinander vermittelt werden können. Begriffe und Phänomene, welche zum Verständnis der jeweiligen physikalischen Inhalte notwendig sind, müssen ja oft sinnvoll in einem anderen Basiskonzept erarbeitet werden. Man wird daher im Detail auf möglichst passfähige Übergänge zwischen den Modulen und von einem zum anderen Basiskonzept achten und sich bei diesen Übergängen letztlich an der tradierten Fachsystematik orientieren.

Die Basiskonzepte bleiben aber das bestimmende Gerüst der Gliederung aller fachlichen Inhalte. Gelegentliche Wiederholungen im Rahmen verschiedener Basiskonzepte können und sollen dabei keinesfalls gänzlich vermieden werden: Denn „*Repetitio est mater studiorum*“ (Wiederholung ist die Mutter des Studiums).²⁰ Dies gilt heute noch ebenso wie vor 1500 Jahren.

Ohne diese Übergänge hier im Detail zu begründen, stellen wir in Tab. 3.8 für jede Jahrgangsstufe eine als sinnvoll eingeschätzte Abfolge der Einzelmodule aus den vier Basiskonzepten zusammen. Detailliertere Überlegungen dazu finden sich in **Kap. B-6** der Anlage Basiskonzepte.

Ausdrücklich sei hier noch einmal darauf hingewiesen, dass die hier vorgestellte Gliederung und zeitliche Abfolge immer wieder auch das Erarbeiten und Einüben von *Methoden* einschließt und sich möglichst auf *sinnstiftende Kontexte* beziehen sollte. Der Übersichtlichkeit halber ist dies in Tab. 3.8 nicht explizit ausgewiesen.

Bei unserem Vorschlag für den Gesamtlehrplan Physik sind die Basiskonzepte das bestimmende Gerüst der Gliederung. Methoden und Kontexte sollen sinnvoll eingepasst werden. Wiederholung ist ein wichtiger Bestandteil des Lehrens und Lernens.

²⁰Wird u.a. CASIODORUS zugeschrieben (Flavius Magnus Aurelius Cassiodorus Senator, ca. 485 n.Chr. bis 580 n.Chr.)

Tab. 3.8: Als sinnvoll eingeschätzte Abfolge der Schwerpunktthemen und Module zu den vier Basiskonzepten (s. Tab. 3.7: Materie, Kräfte und Wechselwirkungen, Energie, Schwingungen und Wellen) in den Doppeljahrgängen (Jgg.) der Sek I und der Sek II. Die Modulbezeichnungen in der Tabelle sind verlinkt mit der Anlage Basiskonzepte. Modulbezeichnungen in Klammern verweisen auf Wahlpflichtmodule. Module mit mehr als 20 Std sind in Doppelspalten eingetragen.

Jgg.		inhaltlich kohärente Abfolge von Modulen zu den Schwerpunktthemen					
5/6	B-S1.6, 9 Std	B-S2.6, 9 Std	B-K5.6, 2 Std	B-K2.6, 6 Std	B-K1.6, 8 Std	B-M1.6, 6 Std	B-E1.6, 8 Std
	Phänomene und einfache Experimente	Licht als Phänomen, Grundbegriffe	Schwimmen und Schweben	Gleichgewicht, kinematische Grundbegriffe	Kraftbegriff: Einführung	Teilchen ... Grundlagen	Mech. Energie, Wärme, Temperatur
7/8	B-S2.8, 8 Std	B-K1.8, 22 Std	B-S1.8, 8 Std	B-M3.8, 5 Std	B-K1.8, 22 Std	B-K2.8, 12 Std	
	Geometrische Optik	Schwerkraft und ...	Mech. + akust. Schwingungen und Wellen	Pos. & negat. Ladungen im Atom	... Fortsetzung Kräfte auf el. Ladungen	Mechan., elektr., magnet. Kräfte – Gleichgewicht, Bewegung, Beschleunigung	
9/10	B-M1.8, 9 Std	B-S5.8, 4 Std	B-K3.8, 8 Std	B-S3.8, 6 Std El.	B-E1.8, 6 Std	B-E2.8, 10 Std	B-E3.8, 8 Std
	Teilchenmodell: Atome und Moleküle	Ultraschall & Radar in Medizin & Verkehr	Grundlagen des Feldbegriffs, Induktion	magn. Wellen + Spektrum	Mechan. & elektr. Energie, Strahlung	Energieerhaltung in der Mechanik	Elektromotor, Generator, E-Transport
9/10	B-K2.10, 10 Std	B-K3.10, 8 Std	B-K5.10, 9 Std	B-M2.10, 7 Std	B-S1.10, 8 Std	B-S3.10, 8 Std	B-S4.10, 6 Std
	Kräfte als Vektoren, Impuls	Gravitation, Himmelsmechanik	Eigenschaften von Gasen und Flüssigkeiten	Temperatur und Energie	S&W quantitativ, weitere Phänomene	Licht: Beugung und Interferenz	Strahlung der Sonne
GK	B-M3.10, 8 Std	B-M4.10, 7 Std	B-S5.10, 4 Std	B-E1.10, 10 Std	B-E2.10, 8 Std	B-E3.10, 10 Std	B-S6.10, 9 Std
	Hülle und Atomkern	Atomkerne, Radioaktivität	Optische Datenübertragung, Röntgendiagn.	Wärme, chem. Energie, Kernenergie	Wärmekraftmaschinen und Kühlschränke	Energiebilanz der Industriegesellschaft	Einführung Welle-Teilchen-Dualismus
GK	B-K2.12, 10 Std	B-K4.12, 10 Std	B-S6.12, 14 Std	B-M3.12, 18 Std	B-M3.12, 18 Std	B-K3.12, 14 Std	B-M4 oder B-M5 oder B-M6.12, 10 Std; Elementarteilchen oder Festkörper und Halbleiter oder Materie im Universum
	Impuls, Drehimpuls, Erhaltungssätze	Grenzen von NEWTON	Quantenphysik	Die Elektronenhülle	Die Elektronenhülle	Felder und Kräfte oder Grundbegriffe der Hydromechanik	
GK	B-S3.12, 10 Std	B-S4.12, 10 Std	B-E2.12, 6 Std	B-E4.12, 10 Std	B-K3.12 oder B-K5.12, 14 Std	B-K3.12 oder B-K5.12, 14 Std	
	Elektromagn. Wellen + Licht	Strahlung, Erde, Klima	Hauptsätze der Wärmelehre	Energietransport, Energiespeicherung	Felder und Kräfte oder Grundbegriffe der Hydromechanik		

Wir haben aber in Abschn. 3.3 verschiedentlich beispielhaft auf sinnvoll einzugliedernde Methoden und Kontexte hingewiesen, und in den Tabellen B-M1 bis B-S6 der Anlage Basiskonzepte werden geeignete Bezüge durchgängig in den entsprechenden Spalten ausgewiesen.

Die in den Basiskonzepten vorgestellten Inhalte sind Beispiele „möglicher“ Themen für den Unterricht, aus denen so ausgewählt werden soll, dass die „Könnenserwartungen“ erreicht werden – dabei ist die 60:40 Regel zu beachten!

Auch muss nochmals nachdrücklich betont werden, dass die in der Anlage Basiskonzepte aufgeführten Inhalte eine Liste von „möglichen“ Themen für den Unterricht darstellen, aus denen nach individueller Neigung und Interesse von Lehrern und Schülern so ausgewählt werden sollte, dass die oben beschriebenen „Könnenserwartungen“ am Ende jedes Moduls von erfolgreichen Schülern tatsächlich erreicht werden können. Bei dieser Auswahl sollte auch die 60:40 Regel beachtet werden, nach welcher 40% der in Tab. 3.8 für ein Modul veranschlagten Zeit für Unvorhergesehenes und spontane, kreative Aktivitäten im Unterricht reserviert werden sollten.

Natürlich sind Verschiebungen der jeweiligen Zeitdeputate für einzelne Module zugunsten oder auf Kosten anderer Module durchaus möglich. Dabei darf freilich die nach Tab. 3.7 verfügbare Gesamtstundenzahl pro Schuljahr nicht überschritten werden.

3.4.4 Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe (Sek II)

Das hier vorgestellte Gesamtkonzept zur Lehrplangestaltung orientiert sich an den in dieser Studie weiterentwickelten Basiskonzepten. Es zielt auf eine attraktive, fachsystematisch kohärente Unterstützung eines kumulativen Lern- und Verständnisprozesses und schließt die Vermittlung von Methoden und eine enge Verbindung der Inhalte zu schülernahen und gesellschaftsrelevanten Kontexten ein. Das Konzept gilt sowohl für die Sek I als auch für die Sek II (gymnasiale Oberstufe). Mit detaillierten Vorschlägen für Unterrichtsmodule haben wir uns dabei auf das grundlegende Anforderungsniveau (GK) konzentriert und für das erhöhte Anforderungsniveau (LK) lediglich Vorschläge für Schwerpunktsetzungen durch Stundenzahlen in Tab. 3.7 angedeutet.

Für die gymnasiale Oberstufe können aber auch alternative Ordnungsprinzipien der fachlichen Inhalte erprobt werden. Dies gilt insbesondere für die Ausgestaltung der Leistungskurse in Physik. In der Anlage Basiskonzepte B-7 stellen wir eine solche Alternative vor, die ebenfalls nicht entsprechend dem klassischen Fachkanon strukturiert ist – allerdings ohne spezifische Unterrichtsmodule und Empfehlungen für die anzusetzenden Stundenzahlen.

3.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Nachdem im vorangehenden Kapitel 2 klar wurde, dass eine umfassende Vermittlung des traditionellen Kanons physikalischer Fachinhalte im Rahmen der Schulphysik – selbst auf elementarem Niveau – unrealistisch ist, wurde in diesem Kapitel 3 ein Konzept entwickelt, um Physik in der Schule „neu zu denken“ und entsprechend zu vermitteln – und zwar sowohl in der Sekundarstufe I (Sek I) wie auch in der Sekundarstufe II (Sek II). Die wichtigsten Ideen dieses Konzepts sind im Folgenden nochmals zusammengefasst:

1. **In drei Dimensionen** sollten sich die Vermittlung von Fachinhalten und der Erwerb physikalischer Kompetenzen im Schulunterricht Physik entfalten. Wir charakterisieren diese wie folgt:

B *Basiskonzepte*, wir sprechen auch von physikalischen Kernideen, haben eine breite fachwissenschaftliche Bedeutung und spielen eine Schlüsselrolle für ein vertieftes Verständnis von physikalischen Begriffen und Phänomenen. Sie können über alle Schulstufen hinweg auf unterschiedlichem Verständnisniveau und in zunehmender Tiefe und Breite vermittelt werden. Sie stellen den „roten Faden“ im Physikunterricht dar und unterstützen so **kumulatives** Lernen.

M *Methoden* charakterisieren typisch physikalische Herangehensweisen an Naturphänomene und sind somit dem *Kompetenzbereich* „Erkenntnisgewinnung“ der **KMK** zuzuordnen.

K *Kontexte* sollen für Schüler einen sinnstiftenden Orientierungsrahmen bilden, an welchem die fachlichen Inhalte der Basiskonzepte soweit wie möglich anknüpfen sollten. Sie umfassen typische Erfahrungs- und Interessenbereiche der Heranwachsenden sowie gesellschaftlich relevante Probleme und zeigen Verknüpfungen zu anderen Naturwissenschaften und zur Technik auf.

2. Wir identifizieren vier, gegenüber den **KMK**-Standards von 2004 weiterentwickelte *Basiskonzepte*, anhand derer wir alle im Schulunterricht Physik zu vermittelnden fachlichen Inhalte gliedern:

B-M Materie

B-K Kräfte und Wechselwirkungen

B-E Energie

B-S Schwingungen und Wellen

3. Anhand dieser vier von uns vorgeschlagenen Basiskonzepte können physikalisches Grundwissen und Kompetenz in sinnvoller Breite und Tiefe kohärent vermittelt und erworben werden. Sie bilden eine Leitlinie für die unverzichtbare *exemplarische* Auswahl der zu behandelnden Inhalte. Sie sollen, dem jeweiligen Verständnisgrad der Schülerinnen und Schüler angepasst, **kumulatives** Lernen ermöglichen, indem sie über alle Schuljahrgänge hinweg den Zusammenhang fachlicher verwandter Inhalte immer wieder verdeutlichen, wobei die erworbenen Kompetenzen schrittweise vertieft werden. Methoden und Kontexte werden sinnvoll an die so selektierten Schwerpunktthemen angepasst und den Schülern bewusst gemacht.

4. Einen detaillierten Vorschlag für einen so strukturierten Lehrplan Physik für **Sek I** und **Sek II** stellen wir in der [Anlage Basiskonzepte](#) vor. Dort werden auch Verknüpfungen zwischen den Basiskonzepten und Beziehungen zu anderen naturwissenschaftlichen Fächern wie auch zur Mathematik aufgezeigt. Zugleich werden Anregungen für eine zwanglose Anbindung und Vermittlung von Methoden sowie von schülernahen bzw. gesellschaftsrelevanten Kontexten gegeben.
5. **Ziel** einer solchen Ausbildung in Physik und anderen Naturwissenschaften sollte es sein,^a dass die Schülerinnen und Schüler im Verlauf ihrer Schullaufbahn so viel Kenntnisse und Kompetenzen zu den Kernideen, Methoden und Anwendungsfeldern erwerben, dass sie sich an einschlägigen öffentlichen Debatten sachbezogen und informiert beteiligen können. Sie sollten genügend Basiswissen besitzen, um sich selbständig und nachhaltig in naturwissenschaftlichen und technischen Themenkomplexen weiterzubilden. Sie sollten wissen und würdigen, dass unser gegenwärtiges naturwissenschaftliches Verständnis der Welt das Ergebnis von vielen hundert Jahren kreativer menschlicher Anstrengung ist.

Nachdrücklich sei hier festgehalten, dass diese *Ziele für alle Absolventen der allgemeinbildenden Schulen* gelten, nicht nur für jene, die eine Karriere in den Natur- oder Ingenieurwissenschaften anstreben, und auch nicht nur für diejenigen, die ein Hochschulstudium beginnen wollen.

^aSehr frei übersetzt nach [NATIONAL RESEARCH COUNCIL \(2012\)](#), S. 9.

Überblick

In diesem Schlusskapitel blicken wir – etwas vertieft – noch einmal auf die Handlungsfelder für guten Physikunterricht, welche uns bei der Entwicklung des neuen Lehrplans in Kap. 3 begleitet und geleitet haben – in der Hoffnung damit für die Schulpraxis hilfreiche Anregungen geben zu können. Wir folgen dabei der Reihenfolge der Auflistung in Kap. 2.5.2. In Abschn. 4.1 behandeln wir das Konzept sinnstiftender *Kontexte*, in Abschn. 4.2 sprechen wir über *Nature of Science*. Dem Schlüsselthema *Interesse und Beliebtheit* (bzw. Unbeliebtheit) des Faches Physik ist Abschn. 4.3 gewidmet. Es wird in Abschn. 4.4 in Bezug auf *Mädchen* spezialisiert. *Aufgabenkultur*, *Unterschiede von Alltags- und Fachsprache*, *Anspruchsniveau*, *Unterrichtsdrehbuch* und *Physik Verstehen vs. Lernen* werden in Abschn. 4.5 behandelt. Abschnitt 4.6 zur Bedeutung des *Experiments im Physikunterricht* leitet zur Rolle der *Mathematik in der Physik* in Abschn. 4.7 über. Eng damit verbunden ist das Thema *Computer und Nutzung digitaler Medien* (Abschn. 4.8), das heute im Medienzeitalter für die Schule zunehmend wichtiger wird. Wir schließen in Abschn. 4.9 unsere Hinweise ab mit einigen Überlegungen zur Begabtenförderung. Ergänzungen zu diesen Themen findet man in [Anhang G](#).

In Kap. 2.5 hatten wir bereits einige spezifische Probleme, Herausforderungen und Chancen des Schulfachs Physik angesprochen – wobei wir den in Kap. 3 entwickelten Vorschlag für eine grundlegende Neuorientierung der *Inhalte und Kompetenzen* im Blick hatten.

In diesem letzten Kapitel wollen wir uns noch einmal vertieft mit den grundsätzlichen Schwierigkeiten, Besonderheiten und Möglichkeiten des Faches auseinandersetzen und, soweit möglich, Hinweise zu deren Überwindung bzw. sinnvoller Nutzung geben – jetzt als Anregungen für den aktuellen Unterricht in der Schule (also für Physiklehrkräfte), aber auch für diejenigen, welche die Lehrpläne konkret zu planen haben. Denn das vorangehende Kapitel skizziert ja lediglich einen Rahmen, der für die Schulpraxis noch im Detail ausgefüllt werden muss. Wir hoffen, dass die nachfolgenden Überlegungen für beide Zwecke hilfreich sein mögen.

Martin WAGENSCHNEIDER hat schon in den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts auf charakteristische Probleme des Schulfachs Physik hinge-

wiesen (s. z.B. [WAGENSCHN](#), 1995). Vieles von dem, was er gedacht und formuliert hat, ist auch heute noch gültig. Neu ist die von [SCHECKER](#) (2001) thematisierte und in Kap. 2.5 bereits angesprochene „Heterogenität“ der Schüler¹ – die seither eher noch zugenommen haben dürfte. Ob und wie weit dies mit der, ebenfalls schon erwähnten, dramatischen Entwicklung der Computertechnik und ihrer weltweiten Vernetzung korreliert, die sich auch auf die persönliche Entwicklung der Schüler auswirkt, ist eine bislang unerforschte Frage.

Völlig offen, aber kontrovers diskutiert wird auch, ob die auf den [KMK](#)-Standards von 2004 basierenden Lehrpläne zu einer spürbaren Verbesserung des Physikunterrichts in Deutschland geführt haben oder führen werden. Nach den ersten bundesweiten, kompetenzorientierten Multiple-Choice-Tests dieser Standards schreiben [SCHECKER und WIESNER](#) (2013): „Darüber, was sich in der Praxis des Unterrichts verändert hat, liegen bisher keine empirisch gesicherten Erkenntnisse vor.“ Aufschlussreich ist auch die Bemerkung „Ob schriftliche Tests [...] für ein valides Assessment in prozessorientierten Bereichen wie Experimentieren und Kommunizieren genügen, ist ein Frage der Forschung. Und: Um naturwissenschaftliche Kompetenz zu analysieren, braucht man Feldstudien [...] in den Schulen während aktueller Unterrichtsstunden, nicht Studien an Individuen [...] oder kleinen Gruppen in Schülerlaboren.“ ([KULGEMEYER und SCHECKER](#), 2014, S. 267).

Um so wichtiger ist es für die Physik unterrichtenden Lehrkräfte in der Schule, die fachspezifischen Probleme aber auch die je eigene Unterrichtspraxis ganz allgemein immer wieder selbstkritisch zu hinterfragen und nach Verbesserungsmöglichkeiten zu suchen.

Ansporn können dabei vielleicht die von [HATTIE](#) (2012) formulierten „Geisteshaltungen“ bzw. „Denkweisen“ sein, durch welche sich erfolgreiche Lehrer, Schulleiter, Verantwortliche für Lehrpläne, nachfolgend kurz *Erfolgreiche Lehrkräfte* genannt, auszeichnen:

1. „Erfolgreiche Lehrkräfte sind davon überzeugt, dass ihre grundlegende Aufgabe darin besteht, die Wirkung ihres Unterrichtens auf das Lernen ihrer Schüler und deren Leistungen zu evaluieren.
2. Erfolgreiche Lehrkräfte sind davon überzeugt, dass Erfolg und Misserfolg der Schüler beim Lernen davon abhängen, was sie als Lehrkräfte getan oder nicht getan haben. [...] Wir sind es, die für Veränderungen verantwortlich sind.
3. Erfolgreiche Lehrkräfte wollen mehr über das Lernen sprechen als über das Lehren.
4. Erfolgreiche Lehrkräfte sehen in der Bewertung ihrer Schüler eine Rückmeldung über die Wirkung ihres Unterrichtens.
5. Erfolgreiche Lehrkräfte pflegen den Dialog und nicht den Monolog.
6. Erfolgreiche Lehrkräfte freuen sich über Herausforderungen und ziehen sich niemals auf „ihr Bestes tun“ zurück.
7. Erfolgreiche Lehrkräfte sind überzeugt, dass es ihre Aufgabe ist, positive zwischenmenschliche Beziehungen im Klassenzimmer und im Lehrerkollegium zu entwickeln.

Ein wesentliches Kriterium für guten Unterricht ist, dass die Lehrer stets ihr eigenes Handeln reflektieren und bei schlechten Schülerleistungen immer wieder ihren eigenen Unterricht hinterfragen und ggf. revidieren.

¹generisches Maskulinum, siehe Bemerkung zum Sprachmodus S. 1

8. Erfolgreiche Lehrkräfte informieren alle Beteiligten über die Sprache des Lernens.“ (Siehe auch Abschn. 4.5.2.)

Mehr darüber in [Anhang G.5](#).

In den folgenden Texten stellen wir neben der Ursachenforschung konkrete Lösungsansätze vor und stützen uns dabei auch auf jüngere empirische Studien (u.a. von [MUCKENFUSS, 1995](#); [HOFFMANN et al., 1998](#); [HANNOVER und KESSELS, 2004](#); [MERZYN, 2008](#), sowie weitere, dort zitierte Quellen).

4.1 Physik in Kontexten

Der Wert des [kumulativen](#), fachliche Inhalte verbindenden Lernens im Physikunterricht – im Gegensatz zum rein additiven Hinzulernen von Einzelaspekten steht außer Frage. Ein immer wieder intensiv diskutierter und erprobter Ansatz führt über schülernahe bzw. gesellschaftsrelevante Kontexte, die wir hier noch einmal näher beleuchten wollen. In [Kap. 3.2](#) haben wir diese als eine von drei Dimensionen des curricularen Rahmens skizziert – haben uns dort aber bewusst dafür entschieden, die Strukturierung der Inhalte primär über die fachphysikalisch bestimmten Basiskonzepte zu gestalten.

Zwar bieten interessante Kontexte eine Möglichkeit zur inhaltlichen Gliederung eines von der Fachsystematik gelösten Physikunterrichts. In den Lehrplänen mehrerer Bundesländer spiegelt sich dieser Strukturierungsansatz inzwischen wider. So werden z.B. im *Neuen Kerncurriculum für Hessen* ([HESSEN, 2015](#)) die physikalischen Fachinhalte nach 9 *Inhaltsfeldern* mit Anwendungsbezug gegliedert. Diese „wurden nach Kriterien der Identitätsbildung, der Alltagsbewältigung, der Ausbildungsreife sowie der gesellschaftlichen Partizipation ausgewählt.“ (Einzelheiten s. [Anhang C.7.2](#)).

Allerdings ist es keine leichte Aufgabe, Physikunterricht anhand von Kontexten – quer zur Fachsystematik – zu gestalten. Denn die (für gelernte Physiker) klaren Zusammenhänge des fachkanonischen Physikaufbaus stellen sich in Alltagskontexten wesentlich komplexer dar und lassen sich in der Regel auf diese Weise nicht selbstverständlich aufeinander aufbauen. Schließlich ist der physikalische Aspekt eines Kontexts eben nur einer neben zahlreichen anderen. So besteht im Unterricht die Gefahr, eine „synthetische Wirklichkeit“ ([MÜLLER, 2007](#), S. 12) zu schaffen, die genau an den Physikunterricht angepasst ist, jedoch viele andere Aspekte außen vor lässt. Somit wirkt der Gegenstand für die Schüler von der Lebenswelt entkoppelt, die eigentlich gewünschte Motivation geht damit verloren. Wir hatten ähnliche Probleme bereits bei der von uns gewählten Gliederung der Fachinhalte nach Basiskonzepten in [Kap. 3](#) kennengelernt: zwar sind diese innerhalb eines Basiskonzepts fachlich eng miteinander verknüpft; dennoch erfordern sie gelegentlich Rückgriffe auf Begriffe aus anderen Basiskonzepten, was sorgfältige Abstimmung erfordert.

[MÜLLER, 2007](#) (S. 21) schlägt drei Leitlinien vor, die diesem Problem bei einer kontextorientierten Gliederung zumindest im Ansatz entgegenwirken können:²

Die Auswahl fachlich handhabbarer Kontexte gestaltet sich aufgrund der Komplexität von Alltagsphänomenen stets schwierig. Wichtig ist jedoch, dass der Kontext zu einem bestimmten Fachthema so gewählt wird, dass er dieses in besonderem Maße repräsentiert.

²Die nachfolgende Liste wurde von uns leicht gekürzt, etwas umgestellt und mit Her-

1. *Besondere Sorgfalt bei der Auswahl der Kontexte:* Sie sollen so beschaffen sein, dass ein einzelner physikalischer Inhalt sich in dem zu Grunde gelegten Kontext besonders erschließt (z. B. schräger Wurf beim Weitsprung, Trägheitsgesetz beim Thema Auffahrunfall/Sicherheitsgurt).
2. *Modellbildung und reflektierter Umgang mit Modellen:* Beim Lernen in Kontexten ergibt sich die Notwendigkeit dazu auf natürliche Weise. Ohne Modellbildung sind die Probleme einer physikalischen Analyse kaum zugänglich. Dieses ‚Zähmen der Probleme‘ durch Modellbildung ist auch charakteristisch für die Vorgehensweise von Physikern im ‚echten Leben‘.
3. *Lernen in Kontexten macht das exemplarische Lernen zu einer Notwendigkeit:* Das Einarbeiten in die Kontexte, die dazu erforderlichen narrativen Elemente, die Modellbildung und die inhärente Komplexität authentischer Probleme machen das hier beschriebene Vorgehen natürlich sehr zeitintensiv. Das bedeutet: Es muss eine Auswahl sorgfältig zu behandelnder Lerninhalte getroffen werden, anderes wird dafür vernachlässigt.

Der „schülernahe“ Kontext darf nicht bloß als interessanter Unterrichtseinstieg wahrgenommen werden.

Wichtig ist, dass sich Kontextbezüge nicht auf einen interessanten Unterrichtseinstieg beschränken. Sie müssen zeitnah behandelt werden und es darf nicht heißen „Das erklärt man euch in der Oberstufe.“ Verkommen die außerschulischen Bezüge zum Selbstzweck, ohne dass sie wirklich der Lösung eines Problems dienen oder für einen Sachverhalt von tieferer Bedeutung sind, gehen auch alle damit einhergehenden lernpsychologischen Vorteile verloren (vgl. MÜLLER, 2007, S. 16). Bleibt der sachlogische Zusammenhang zum eigentlichen Thema unklar, tragen Kontexte nicht zu strukturiertem, vernetztem und anwendungsbezogenem Wissen bei.

MUCKENFUSS (1995) gilt als ein Vorreiter der Idee des „Lernens in sinnstiftenden Kontexten“. Auch er weist auf die besondere Herausforderung der Entfaltung von Sachstrukturen in Kontexten hin: „Physikunterricht muss systematischer Unterricht bleiben, auch wenn das System im Sinne eines Gefüges aus physikalischen Teilgebieten weder das Ziel noch den Weg des Unterrichts überwiegend oder gar ausschließlich bestimmt. Welche Begriffe, Teilgebiete oder (Teil-)Theorien für den Unterricht maßgeblich sind, muss durch deren jeweilige lebenspraktische Bedeutung mitbegründet werden.“ Die Lehramtsstudie der DPG (2014) empfiehlt daher ausdrücklich die Aufnahme entsprechender Module sowohl im fachlichen wie auch im fachdidaktischen Teil des Lehramtsstudiums. Bislang werden entsprechende Fachinhalte und die damit verbundenen Aspekte der Unterrichtsgestaltung in der Ausbildung zum Lehramt häufig nur unzureichend berücksichtigt.

4.2 Natur der Naturwissenschaften – Nature of Science

Dass im Physikunterricht nicht nur physikalische Zusammenhänge gelernt, sondern auch *über* die Physik als Wissenschaft nachgedacht und die

vorhebungen versehen. Einige weitere, grundsätzliche Überlegungen zum exemplarischen Lernen werden in [Anhang G.1](#) vorgestellt.

Bedeutung und die Grenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisse hinterfragt werden sollten, ist keine neue Forderung. Im Zuge der Diskussion um naturwissenschaftliche Grundbildung hat dieses Thema jedoch neue Bedeutung gewonnen. So stellt LEDERMAN (2006) die grundsätzliche Frage „Was ist überhaupt Naturwissenschaft?“ und nennt drei Aspekte: 1. *Wissen*, 2. *Methoden* und 3. eine bestimmte *Art des Denkens* (s. auch die informative Website der neuseeländischen Regierung MBIE, 2015).

Schon die PISA-Rahmenkonzeption (PISA, 2003, S. 42) unterschied zwischen „naturwissenschaftlichem Wissen“ und „Wissen über Naturwissenschaften“ und forderte, ebenso wie spätere fachdidaktische Studien (z. B. KREMER *et al.*, 2007), das Thema *Natur der Naturwissenschaften* bzw. *Nature of Science* (NOS) explizit im Unterricht anzusprechen. Eine allgemein akzeptierte Definition dafür, was genau NOS sei, gibt es zwar nicht (LEDERMAN, 2006, S. 835f), es besteht aber ein gewisser Konsens.

So verständigten sich z.B. im Rahmen einer DELPHI-Studie 23 Experten (Naturwissenschaftler, Didaktiker, Lehrer, Erziehungswissenschaftler) darauf, dass *neun Themenfelder* (in drei Gruppen) als NOS in der Schule unterrichtet werden sollten (OSBORNE *et al.*, 2003):

1. Natur des naturwissenschaftlichen Wissens:

- Naturwissenschaft und Gewissheit
- Historische Entwicklung des naturwissenschaftlichen Wissens

2. Naturwissenschaftliche Methoden:

- Methoden und kritische Überprüfung
- Analyse und Interpretation von Daten
- Hypothesen und Vorhersagen
- Vielfalt naturwissenschaftlichen Denkens
- Kreativität (s. auch Fußnote 3)
- Naturwissenschaftliches Fragen

3. Institutionen und soziales Verhalten in den Naturwissenschaften:

- Zusammenarbeiten und Zusammenwirken bei der Entwicklung von naturwissenschaftlichem Wissen

All diese Themen können dazu beitragen, Misskonzeptionen über das, was Naturwissenschaft ist und was Naturwissenschaftler tun, aufzulösen. Sie beinhalten zugleich eine alternative Möglichkeit, Fachinhalte zu vernetzen und *kumulatives* Lernen zu stärken. Verschiedene Unterrichtsverfahren bieten sich hierbei an, um einzelne Aspekte von NOS in den Unterricht zu integrieren. KREMER *et al.* (2007) schlagen dafür sowohl einen historisch-genetischen als auch einen experimentell-forschenden Ansatz vor.

Damit aus der Beschäftigung mit der Wissenschaftsgeschichte Erkenntnisse über die Natur der Naturwissenschaften erwachsen können, muss das Nachdenken über Naturwissenschaften explizit angeregt werden. Am Beispiel historischer Entwicklungen kann insbesondere deutlich werden, dass der Erkenntnisfortschritt in den Wissenschaften nicht auf einem vorgezeichneten, irrtumsfreien Weg verläuft – ein Aspekt, der dazu beitragen kann, die

NOS in der Schule soll einen Einblick in naturwissenschaftliches Denken und Handeln vermitteln. – Was sind die besonderen Merkmale von Naturwissenschaft? Wie arbeiten Naturwissenschaftler? Wo liegen die Grenzen der Erkenntnis?

Die bewusste Reflexion von NOS-Aspekten im Physikunterricht und die Verbindung mit der Wissenschaftsgeschichte bieten eine alternative Möglichkeit, Fachinhalte zu vernetzen – auch zu Themen aus anderen Naturwissenschaften – und *kumulatives* Lernen zu unterstützen.

Physik von ihrem rein rationalen und damit in den Augen vieler Schüler lebensfremden Image zu befreien.

Das Gleiche gilt für den experimentell-forschenden Unterricht, der die Problemorientierung und die Reflexion über gewonnenes Wissen in den Fokus rückt. Wenn die Schüler im handlungsorientierten Unterricht selbst aktiv an der Gewinnung von Daten arbeiten, können sie Einblick in wissenschaftliche Arbeitsweisen gewinnen.

Ein kompetenter Umgang mit dem Thema „Nature of Science“ im Unterricht setzt voraus, dass die Lehrkraft selbst über entsprechende Kenntnisse und Einblicke verfügt. Dazu muss das Lehramtsstudium Möglichkeiten anbieten, wie in der Lehramtsstudie der [DPG \(2014\)](#) empfohlen. Einen umfassenden Überblick über die Thematik bietet die Studie von [KREMER et al. \(2007\)](#), vertiefend bietet sich der Text von [NEUMANN und KREMER \(2013\)](#) zur Lektüre an.

Im [Anhang G.2](#) präsentieren wir schließlich als hilfreiche Anregung für den Physikunterricht die oben nur kurz skizzierten Anmerkungen von [LEDERMAN \(2006\)](#) und die neun Themenfelder für [NOS](#) in der Schule nach [OSBORNE et al. \(2003\)](#) etwas ausführlicher.

4.3 Interesse am und im Physikunterricht

Um mehr Schüler für das Fach Physik zu interessieren, muss ihnen deutlich vor Augen geführt werden, wofür sie „Physik brauchen“. Etwa durch einleuchtende Beispiele für die gesellschaftliche Bedeutung von Physik, durch überraschende Erklärungen von Naturphänomenen, durch Bezüge zum menschlichen Körper, durch Staunen über die „Wunder“ des Mikro- und Makrokosmos.

Zahlreiche Studien belegen, dass der Physikunterricht in der Beliebtheitskala der Fächer bei vielen Schülern auf den hintersten Plätzen rangiert. Die negative Einstellung gegenüber dem Fach Physik ist bei den Jungen im Laufe der Sekundarstufe gleichbleibend, während sie bei den Mädchen sogar noch zunimmt. Bedenklich stimmt, dass viele Schüler das Fach nicht einfach nur weniger mögen als andere Fächer, sondern sogar explizit mit negativen Emotionen verknüpfen. Entsprechend wählen viele das Fach ab, sobald sich die Möglichkeit dazu bietet ([HEISE et al., 2014](#)).

Diese breite Abneigung hat verschiedene Gründe, die zum Teil der Gestaltung des Physikunterrichts, zum Teil aber auch der wahrgenommenen Schwierigkeit des Faches zuzuschreiben sind. Dies ist verbunden mit einer negativen Selbsteinschätzung der Schüler, insbesondere der Mädchen, in Bezug auf ihre Fähigkeit, in diesem Fach etwas leisten zu können. Auch die öffentlich geäußerten und gesellschaftlich geteilten Meinungen über Physik beeinflussen die Einstellungen der Heranwachsenden.

Trotz dieses geringen persönlichen Interesses an diesem Schulfach messen Schüler der Physik aber eine hohe Bedeutung bei. Dies führt jedoch in der Regel nicht dazu, sich mit den Inhalten näher auseinanderzusetzen zu wollen. Wenn Physikunterricht in Zukunft genuines Interesse wecken und Verständnis für Physik fördern soll, führt kein Weg daran vorbei, den Unterricht attraktiver und vor allem gut verstehbar zu gestalten. So kann auch das Selbstvertrauen der Schüler in ihre Fähigkeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht, speziell in der Physik, gestärkt werden.

In [Abschn. 4.1](#) hatten wir bereits erwähnt, dass sich die Einbettung fachlicher Inhalte in Kontexte positiv auf das [kumulative](#) Lernen auswirkt.

Umfangreiche Studien des IPN (s. z. B. HÄUSSLER und HOFFMANN, 1995) haben darauf hingewiesen, dass auf diese Weise auch das Sachinteresse am Fach Physik wesentlich gesteigert werden kann. Als interessefördernd erweist sich Physikunterricht insbesondere,

- wenn Unterrichtsinhalte an alltägliche Erfahrungen und Beispiele aus der Lebenswelt angebunden werden,
- wenn er emotional positiv getönte Komponenten beinhaltet (Stauen, Aha-Erlebnis, überraschende Naturphänomene, Erfolgserlebnisse usw.),
- wenn die gesellschaftliche Bedeutung der Physik erkennbar wird,
- wenn Bezüge zum menschlichen Körper hergestellt werden.

Unterricht, der aus der Fachsystematik heraus strukturiert wird, kommt den Interessen vieler Schüler wenig entgegen. Daher verfolgt unser in Kap. 3 entwickelter Ansatz – deutlich von der üblichen kanonischen Abfolge der Fachthemen unterschieden – anhand von physikalischen Kernideen (Basiskonzepten) eine kohärente Lernstrategie, die immer wieder an verwandtes, bereits erlerntes Wissen und Können anknüpft. Es ist aber evident, dass auch die regelmäßige Einbindung von schülernahen Kontexten für unser Konzept von großer Bedeutung ist – wie wir dies in Kap. 3.2 erläutert und in Abb. 3.1 als *Dimension K* illustriert haben. Man denke beispielsweise an Sport, Medizin, Umwelt, Klima oder Energieversorgung.

Natürlich müssen die Lehrkräfte auf solche Anforderungen bei der Gestaltung eines interessefördernden Unterrichts vorbereitet werden. Für die Lehramtsausbildung hat die DPG daher in ihrer Studie (2014) beispielhaft Vorschläge gemacht, wie solche Aspekte in das Lehramtsstudium zu integrieren sind – sowohl im fachlichen Teil, wie auch in der fachdidaktischen Ausbildung: Angehende Lehrkräfte sollten sich bereits im Studium exemplarisch mit der Physik in einer Weise auseinandersetzen, die sie später auch im Unterricht interessefördernd anwenden können: nämlich von authentischen Fragestellungen in interessanten Kontexten ausgehend. Für bereits praktizierende Lehrer muss es möglich sein und zur normalen Routine gehören, entsprechende Weiterbildungsangebote wahrzunehmen (s. auch Kap. 2.5.4).

Neben dem Interesse an den Inhalten spielt, wie schon oben angeführt, auch das Selbstvertrauen in die eigenen Fähigkeiten eine wichtige Rolle für die Entwicklung von Interesse. Nach HOFFMANN *et al.* 1998 (S. 216) muss man, „um das Fachinteresse eines Schülers vorherzusagen, [...] nicht wissen, ob er von natürlichen oder technischen Phänomenen fasziniert ist, sondern nur die Selbsteinschätzung seiner Leistungsfähigkeit im Fach Physik kennen.“ Und nach DECI und RYAN (1993) ist das Kompetenzerleben (neben dem Erleben von Autonomie und sozialer Eingebundenheit) eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung von Interesse.

Um an dieser Stellschraube des Interesses zu drehen, müssen im Physikunterricht gezielt immer wieder Gelegenheiten geschaffen werden, in denen die Lernenden sich als kompetent erleben können. Ein traditioneller, eher frontal ausgerichteter Physikunterricht ist dazu wenig geeignet.

Eine Strukturierung des Physikunterrichts nach kanonischen Fachinhalten wird als wenig motivierend empfunden.

Ganz wesentlich ist die Selbsteinschätzung der Schüler: der Vermutung, dass „ich für dieses Fach nicht begabt bin“, sollte durch gezielt herbeigeführte Erfolgserlebnisse entgegengewirkt werden.

Dem Negativimage des wenig kreativen, introvertierten und zuweilen auch eigentümlichen Physikstrebbers sollte durch positive Geschichten von erfolgreichen und zugleich sympathischen Physiker- innen und Physikern begegnet werden – möglichst durch Beispiele aus der eigenen Umgebung.

Der Bedeutung gesellschaftlich verankerter Stereotype für das Interesse am Fach sind [KESSELS und HANNOVER \(2008\)](#); [KESSELS \(2005\)](#) in verschiedenen Studien nachgegangen. Sie konnten zeigen, dass Physik als schwierig wahrgenommen wird und Erfolg im Schulfach Physik vorrangig der Begabung und weniger den Lernanstrengungen zugeschrieben wird. Dies schränkt die Bereitschaft ein, sich für das Fach zu engagieren. Zudem gelten Schüler, die Physik als Lieblingsfach angeben, bei ihren Mitschülern zwar als besonders intelligent und leistungsmotiviert, werden aber häufig zugleich als weniger attraktiv und als sozial wenig kompetent, weniger integriert und weniger kreativ eingeschätzt ([KESSELS et al., 2002](#), S. 66). Da diese Attribute nicht mit dem angestrebten Selbstbild der Jugendlichen zusammenpassen, führt das Stereotyp des begabten Physikschülers indirekt zu einer Ablehnung des Faches.³ Mit der gelegentlichen Vorstellung von interessanten, kreativen Persönlichkeiten aus Geschichte und Gegenwart von Wissenschaft und Technik kann hier vielleicht gegengesteuert werden. Darüber hinaus sollte diesen Misskonzeptionen im Unterricht durch das gezielte Herbeiführen von Situationen begegnet werden, in denen auch Schüler, die sich offensichtlich nicht für entsprechend begabt halten, unerwartet positive Ergebnisse erzielen.

Eine bedeutende Studie zum Interesse von Jugendlichen für naturwissenschaftliche und technische Inhalte ganz allgemein ist das internationale [ROSE-Projekt \(SJØBERG und SCHREINER, 2010\)](#), bei dem 15-jährige Mädchen und Jungen in 40 Ländern befragt wurden – also etwa am Ende der [Sek I](#). Es zeigt auf, dass ein differenzierter Blick auf das Interesse von Jugendlichen an wissenschaftlichen und technologischen Themen erforderlich ist, und dass scheinbar offensichtlich interessante Kontexte nicht automatisch zu besonderem Interesse für den Physikunterricht führen. Besonders bemerkenswert ist dabei die geradezu inverse Korrelation der allgemeinen Wertschätzung von [MINT-Fächern](#) mit den schulischen Erfolgen der jeweiligen Nationen bei den [PISA-Tests](#): die konkreten Auswirkungen von Naturwissenschaften und Technik auf das menschliche Leben werden dort am höchsten eingeschätzt, wo Lebensstandard und die naturwissenschaftliche Bildung am niedrigsten sind; so würden z.B. in Uganda, Ghana und Lesotho 85% der Jungen *und* Mädchen gerne Wissenschaftler oder Techniker werden. In Deutschland, England und Finnland finden dagegen weniger als 30% der Jungen und 15% der Mädchen einen wissenschaftlichen Beruf erstrebenswert.

Für deutsche und österreichische Schüler stellt das [ROSE-Projekt](#) fest, dass auch diejenigen, die sich für die [MINT-Fächer](#) in der Schule interessieren, ihre Motivation für eine intensivere Auseinandersetzung mit den Naturwissenschaften meist extrinsisch begründen – z. B. um ein Examen zu bewältigen oder aus Karriereüberlegungen heraus. Befragt nach dem geringen Interesse am naturwissenschaftlichen Unterricht wird von den Schülern zunehmend ein Unterricht gefordert, den sie für ihr Leben als relevant erachten. Auch das [ROSE-Projekt](#) bestätigt, dass naturwissenschaftlicher Unterricht verstärkte Akzeptanz bei Jugendlichen erfahren kann, wenn er

Schüler fordern einen Physikunterricht, den sie „für ihr Leben als relevant erachten“.

³Dass Physik gerade mit mangelnder Kreativität in Verbindung gebracht wird, verwundert besonders, – Geschichte und Gegenwart der Physik sind voll von gut erzählbaren Gegenbeispielen, von Michael FARADAY (1791-1867) bis zu Angela MERKEL (1954*).

von den Betroffenen als interessant und persönlich oder gesellschaftlich bedeutsam erlebt wird.

Ganz wesentlich scheint es uns, Einfluss auf das von den Medien verbreitete Bild zu nehmen,⁴ das die Öffentlichkeit von den MINT Fächern und den damit befassten Wissenschaftlern und Technikern hat. Wenn die Medien z.B. deutlich machten, dass Jugendliche mit guter MINT-Ausbildung bessere Zukunftschancen haben, so würde das auch Auswirkungen auf die Akzeptanz in der Schule haben.

4.4 Mädchen im Physikunterricht

In vielen Studien wurde festgestellt, dass das Interesse und die Leistungen von Mädchen in Physik im Schnitt deutlich geringer sind als die der Jungen. Physik ist über die gesamte Sekundarstufe hinweg das Fach, bei dem der Unterschied im Interesse von Jungen und Mädchen am größten ist. Offenbar ist dies nicht allein ein deutsches Problem (s. z. B. IOP INSTITUTE OF PHYSICS, 2014). Jedenfalls muss gerade der Physikunterricht diese Gender-Thematik wachsam im Auge behalten und nach Möglichkeit aktiv berücksichtigen. Nachfolgend fassen wir einige aus der Literatur bekannte Ursachen und Gegenstrategien zusammen, um Physiklehrkräfte entsprechend zu sensibilisieren. In Anhang G.3 haben wir als konkrete Hilfestellung für den Unterricht eine Checkliste für mädchengerechtes Verhalten nach HERZOG (1996) zusammengestellt.

Die Interessenunterschiede für Physik zwischen Jungen und Mädchen zeigen sich bereits im Grundschulalter, verstärken sich jedoch zu Beginn der Sek I. Sie äußern sich auch in unterschiedlichem Freizeitverhalten und führen zu unterschiedlichem Wahlverhalten in Kursen der Oberstufe sowie zu unterschiedlicher Studienfachwahl. Die Untersuchungen von KESSELS (2005); KESSELS und HANNOVER (2008) legen den Schluss nahe, dass es in hohem Maße tief verwurzelte stereotype Vorstellungen sind, welche die besondere Beziehung der Mädchen zur Physik bestimmen. Sie betreffen die physikalisch-technischen Betätigungen als solche und das Unterrichtsfach Physik im Besonderen. Für Mädchen scheint das im vorigen Abschnitt zum Image der Physik Gesagte besonders gravierend zu sein: es passt nicht zu einem Selbstbild, das viele als typisch weiblich betrachten.

Bereits im Vorschulalter scheinen Mädchen oft weniger Anregung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich zu erfahren. Dies führt zu unterschiedlichem Vorwissen, was bekannterweise einen entscheidenden Einfluss auf den Lernerfolg hat. Die Ursache dafür kann bei den Eltern liegen. Aber auch das soziale Umfeld, das häufig die weiblichen und männlichen Stereotype mitbestimmt, spielt hier eine wichtige Rolle. Besonders in der Pubertät, in der die Jugendlichen ihre weibliche oder männliche Identität suchen, können gesellschaftliche Zuweisungen, *wie ein Mädchen zu sein hat* und *was als weiblich oder männlich gilt*, eine besonders große Bedeutung gewinnen.

Das mangelnde Interesse der Mädchen am Physikunterricht ist überdauernd und spiegelt sich in der geringen Anzahl weiblicher Studenten in den Ingenieurwissenschaften und in der Physik wider. Auch wenn teilweise dafür gesellschaftliche Stereotypen verantwortlich sein mögen, so kann der Physikunterricht durch Stärkung des Selbstwertgefühls von Mädchen bezüglich dieses Fachs gegensteuern.

⁴Wie es z.B. die DPG mit ihrer Poster-Kampagne „Physik macht Spaß und ist überall“ eindrucksvoll versucht.

Unterschiede im Verhältnis von Jungen und Mädchen zur Physik ergeben sich aber auch aus unterschiedlichen Selbstkonzepten⁵ der Geschlechter – selbst bei Schülern mit gleichem, überdurchschnittlich hohem Leistungsniveau. Das Selbstkonzept äußert sich hier speziell in der Zuweisung von Ursachen für Erfolg und Misserfolg im Physikunterricht: Während Jungen schlechte Leistungen meist äußeren Umständen zuschreiben (besonders schwere Aufgaben, schlechte Erklärungen durch die Lehrkraft), suchen Mädchen die Ursachen tendenziell bei sich selbst. Sie werden dadurch in ihrem Selbstbild bestätigt, für Physik weniger begabt zu sein. Bei Erfolg ist das Muster genau entgegengesetzt. Während Jungen den Erfolg inneren Ursachen zuordnen (eigene Begabung), suchen Mädchen die Ursache in äußeren Umständen wie Glück, besonders leichte Aufgaben, günstige Korrektur (vgl. WODZINSKI, 2006). Auf diese Weise verstärkt sich das negative Selbstkonzept der Mädchen weiter.

Wie bedeutsam das Lehrerverhalten für die Wahl eines Physikkurses in der Oberstufe ist, zeigt eine britische Studie von MUJTABE und REISS (2013). Einer der entscheidendsten Faktoren für die Wahl eines Physikkurses ist danach die Ermutigung bzw. das Vertrauen der Lehrkraft. Doch genau in diesem Punkt ergibt sich der größte Geschlechtsunterschied innerhalb der Befragung.

In verschiedenen Untersuchungen wurden Ansätze geprüft, wie das Verhältnis der Mädchen zur Physik verbessert werden kann. Die zeitweilige Trennung von Jungen und Mädchen im Unterricht ist dabei eine denkbare Maßnahme. Im BLK-Versuch „Chancengleichheit“ (HÄUSSLER und HOFFMANN, 1998) erwies sich diese Maßnahme als besonders erfolgreich. Dabei wurde der Unterricht in jeder zweiten Stunde nach Jungen und Mädchen getrennt. Mädchen konnten dadurch erfahren, dass sie sehr wohl mit den Jungen mithalten können. (Der Unterricht folgte dabei freilich auch inhaltlich einem spezifisch ausgearbeiteten Curriculum, und die Lehrkräfte waren für die Gender-Thematik sensibilisiert worden.) Der Erfolg einer Geschlechtertrennung über eine längere Zeitspanne wird vermutlich stark davon beeinflusst, wie weit es den unterrichtenden Lehrkräften gelingt, den Mädchen nicht den Eindruck einer Sonderbehandlung zu vermitteln, der sich wiederum negativ auf das Selbstkonzept auswirken könnte.

Auch das britische *Institute of Physics* (IOP) widmet sich dem Thema **Gender Balance** auf mehreren Webseiten. Das IOP bestätigt, dass sich eine Geschlechtertrennung positiv auf das Selbstkonzept der Mädchen auswirken kann (IOP, 2012), konstatiert aber zugleich, dass es in den letzten 20 Jahren kaum Änderungen bezüglich des Ungleichgewichts beider Geschlechter gab – trotz aller Bemühungen.

Bei allem Bemühen um entsprechende Veränderungen von Inhalten und Unterrichtsstil wird man nur in begrenztem Maße die Wirkung tief verwurzelter Stereotype beeinflussen können. Wie schwer dies ist, zeigt auch

⁵„Unter *Selbstkonzept* versteht man das Gesamtsystem der Überzeugungen zur eigenen Person und deren Bewertung.“ Nach M. A. Wirtz (Hrsg.), Dorsch – *Lexikon der Psychologie* <https://portal.hogrefe.com/dorsch/selbstkonzept/> abgerufen am 20.05.2015.

eine neuere Schulbuchanalyse von STRAHL *et al.* (2012). Letztlich sind Veränderungen in den Köpfen aller notwendig, damit Mädchen, die sich für Physik und Technik interessieren, nicht länger als ungewöhnlich gelten. Man darf aber hoffen, dass sich das Problem mit dem generell zu beobachtenden gesellschaftlichen Wandel allmählich entschärfen wird.

4.5 Besondere Aspekte des Physikunterrichts

Ein kurze Einführung zu Unterrichtsmethoden im Physikunterricht wird in Anhang G.4 gegeben. Hier konzentrieren wir uns auf einige Hinweise, die uns als besonders beachtenswert oder hilfreich für die Praxis des Physikunterrichts in der Schule erscheinen.

4.5.1 Aufgabenkultur

SCHECKER und KLIEME (2001) bringen die Problematik rund um die Aufgabenkultur im Unterricht auf den Punkt: „Die Schüler haben das Lösen von Aufgaben gelernt und weniger die Bearbeitung von Problemen. [...] Ein Hauptkritikpunkt an Physik-Aufgabenstellungen liegt in der Fokussierung auf eine feststehende Lösung und einen ganz bestimmten Lösungsweg.“ Viele Aufgaben sind offenbar so angelegt, dass man explizit nach der Lösung suchen muss, die für die Lehrkraft als die Lösung gilt. Damit gehen sowohl die Relevanz als auch die Attraktivität der Aufgabe verloren (vgl. MERZYN, 2009, S.313).

Natürlich wirkt sich fehlendes Interesse am Fach Physik auch auf die Bearbeitung von Aufgaben aus. Wenn der Ehrgeiz fehlt, können Schüler sich nicht zu einer adäquaten, umfangreichen und inhaltlich genauen Bearbeitung durchringen.

Zur Verbesserung der Aufgabengestaltung schlägt z.B. SCHECKER, 2001 (S. 90) vor:

- „Aufgaben, bei denen mehr Angaben gemacht werden, als zu ihrer Lösung notwendig sind. [...] Schüler müssen überlegen, welche Angaben tatsächlich relevant sind.“
- Aufgaben, zu deren Lösung unterschiedliche physikalische Prinzipien herangezogen werden können, zum Beispiel die NEWTON'sche Dynamik oder die Energieerhaltung.
- Aufgaben, bei denen etwas mit vorgegebenen Mitteln entworfen und gebaut werden soll, zum Beispiel eine empfindliche Waage, eine tragfähige Brücke oder ein Schiff mit Wasserantrieb.
- Aufgaben, die sowohl über eine Rechnung als auch über Zeichnungen oder eine halbquantitative Argumentation gelöst werden können.
- Aufgaben, die eigenständige Recherche und Abschätzungen eingehender Parameter verlangen, zum Beispiel die Bewertung der These, man könne den gesamten Energiebedarf Deutschlands durch die täglich eingestrahlte Sonnenenergie decken.“

Weitere Anregungen gibt z.B. LEISEN (2001).

Aufgaben, die im Physikunterricht gestellt werden, sollten von unterschiedlichem Typ sein, die Schüler zu originellem Denken anregen und möglichst nicht nur auf eine einzige Weise gelöst werden können.

4.5.2 Unterschiede zwischen Alltags- und Fachsprache, Anspruchsniveau

Begriffe, wie Kraft oder Trägheit, behalten für viele Schüler lediglich die alltägliche, und eben nicht die physikalische Konnotation. Das Fachvokabular im Alltag der Schüler präsent zu machen, ist eine wichtige und zugleich schwierige Herausforderung für Lehrer.

Allgemeine didaktische Prinzipien, wie Binnendifferenzierung, Methodenvielfalt und didaktische Reduktion, können dazu beitragen, Leistungsheterogenitäten zu kompensieren.

Ein weiteres Problem, das im Physikunterricht allgemein und bei der Konzeption von Aufgaben im Besonderen viel stärker beachtet werden sollte, ist der Unterschied zwischen Alltags- und Fachsprache: Das Fachvokabular der Physik wird von Schülern als komplex wahrgenommen. Für sie ist diese Sprache häufig nur im Kontext der eigentlichen Physikstunde relevant. Das Vokabular, das z.B. in Aufgaben verwendet wird, findet also keinen Eingang in die Alltagswelt der Schüler. Wenn sie aber die physikalische Fachsprache nicht beherrschen, können sie die gestellten Aufgaben häufig nicht vollständig erfassen. Alltagserfahrungen und typische Schülervorstellungen zu physikalischen Themen lassen sich dann nicht revidieren bzw. physikalisch präzisieren. Typische Beispiele sind Begriffe wie *Kraft* und *Trägheit*: sie behalten in den Köpfen der Schüler ihre alltägliche Konnotation und werden lediglich für die Dauer einer Physikstunde modifiziert (MÜLLER, 2007, S. 14).

Grundsätzlich stellt das hohe Anforderungsniveau des physikalischen Unterrichts ein didaktisches Problem dar. Betrachtet man sowohl die Noten als auch die Schüleraussagen in der **Sek I**, so wird deutlich, dass das Fach als zu schwierig wahrgenommen wird und die Leistungen der Schüler dementsprechend – im Vergleich zu anderen Fächern – unterdurchschnittlich sind. Aus den hohen Ansprüchen resultieren dann geringere Lernerfolge, sodass die Lernbereitschaft stetig sinkt (vgl. MERZYN, 2009).

Eng damit zusammenhängend erschwert die bereits in Kap. 2.5 erwähnte, zunehmend *große Leistungsheterogenität* der Schüler den Physikunterricht zusätzlich. Im Idealfall sollte dem mit möglichst binnendifferenziertem Unterricht und Methodenvielfalt (beim Lehren und Lernen) begegnet werden – wieweit sich das in der Praxis wirklich realisieren lässt, hängt ganz von der jeweiligen Situation ab.

Insgesamt wird man um eine generelle Senkung des allgemein geforderten aber unrealistischen Leistungsniveaus am Ende der **Sek I** nicht herumkommen. SCHECKER und KLIEME (2001) formulieren das so: *„Es macht mehr Sinn, Schüler in der Sekundarstufe I erfolgreich auf ein Niveau zu führen, das sie in ihrem Verständnis naturwissenschaftlicher Zusammenhänge weiterführt, auch wenn es noch nicht im streng physikalischen Sinne vollständig korrekt ist, als einen Großteil der Schüler an einem zu hohen Anspruch an Vollständigkeit und wissenschaftlicher Korrektheit scheitern zu lassen“*.

Nun stellt sich die Frage, ob und wie man auf diese Weise auch den in Physik begabten und besonders engagierten Schülern gerecht werden kann. ZENNER (2010), seinerzeit Präsident der GDNÄ, regte hierzu an: *„Es erscheint mir daher eine Überlegung wert, zwar Regel- und Maximalstandards der naturwissenschaftlichen Bildung für die Begabten zu bewahren, sie aber um einer wahren Allgemeinbildung und damit einer umfassenderen Verbreitung von MINT [...] Bildung willen um einen zusätzlichen, einfacheren Standard für die Schüler zu erweitern, die bisher die MINT-Fächer im Rahmen ihrer Möglichkeiten abwählen.“* Ob dies wirklich zu praktikablen Lösungen für die Realität des schulischen Unterrichts führen kann, ist jedoch

offen. Jedenfalls ist Begabtenförderung ein komplexes Thema, das wir am Ende dieses Kapitels in Abschn. 4.9 noch einmal ansprechen werden.

4.5.3 Stofffülle, Themenauswahl und inhaltliche Gliederung

Die eben besprochenen Probleme werden noch verstärkt durch die übergroße Stofffülle in praktisch allen Lehrplänen der Bundesländer (bereits in der **Sek I**), die wir in Abschn. 2.3 besprochen und in Tab. 2.2 zusammengestellt haben (weitere Details in den Tabellen der **Anhänge B** und **C**). Dass für deren adäquate Bearbeitung in Anbetracht der geringen Stundenkontingente kein Raum ist, steht außer Frage. Dass sowohl das Wissen als auch die angestrebten Kompetenzen, die zum Ende der Sekundarstufe I erreicht werden sollten, bei Weitem nicht erreicht werden, wurde bereits in der **TIMS-Studie** konstatiert (s. dazu **BAUMERT et al., 1997**) und vielfach kommentiert (s. z. B. **SCHECKER und KLIEME, 2001**) – bisher liegt aber kein Hinweis dafür vor, dass sich die Situation etwa infolge der **KMK (2004)** Bildungsstandards verbessert hätte (**SCHECKER und WIESNER, 2013**). Die logische Konsequenz aus diesen Befunden ist eine drastische Reduktion der Stoffmenge und des angestrebten Kompetenzniveaus in den Lehrplänen, wie wir dies in Kap. 3 vorschlagen.

Von entscheidender Bedeutung für das Interesse am Fach Physik ist, wie z.B. **MERZYN (2009)** bemerkt, die konkrete Auswahl der Inhalte und deren fachliche Strukturierung. Problematisch sei dabei die häufig anzutreffende Orientierung der Unterrichtsinhalte an den Themen und Strukturen der Hochschulphysik. Dies sichere zwar ein gewisses Grundverständnis von allen Bereichen der Physik. Jedoch sei „eine derartige Inhaltsauswahl ziemlich weit entfernt von dem, was eine Schülermehrheit interessiert. Sie ist übrigens auch weit davon entfernt, wie Physik sich einer breiten Öffentlichkeit in den Medien präsentiert. Sie ist weit von den naturwissenschaftlichen Themen entfernt, die allgemein diskutiert werden“ (**MERZYN, 2009**). Aber bereits **MUCKENFUSS, 1995** (S. 269) forderte: „Die curriculare Grundstruktur des Physikunterrichts muss fachliche Kompetenzen, relevante Inhalte, lebenspraktische Bedeutsamkeit und darauf bezogene außerphysikalische Fähigkeiten zu einem tragfähigen Gesamtkonzept verknüpfen“ – eine wahrhaft gewaltige Herausforderung für Lehrplangestalter und Lehrkräfte im Klassenzimmer.

Jedenfalls scheint eine lediglich an den kanonischen Fachgebieten der Physik orientierte Vermittlung auf die Schüler demotivierend zu wirken und holt die Jugendlichen nicht dort ab, wo sie sich mit ihren Vorstellungen befinden. Guter Physikunterricht nutzt die jeweiligen Vorkenntnisse der Schüler und eröffnet von dort aus den Zugang zu neuen Erkenntnissen und Kompetenzen. Das in dieser Studie, in Kap. 3, vorgestellte Gesamtkonzept gründet auf den vier Basiskonzepten (**B-M** Materie, **B-K** Kräfte und Wechselwirkungen, **B-E** Energie, **B-S** Schwingungen und Wellen), welche die Fachinhalte über alle Schulstufen hinweg kohärent strukturieren. Es fordert zugleich die Verknüpfung mit schülernahen Kontexten einerseits und mit Methoden (Kompetenzen) andererseits. Es stellt einen Lösungsvorschlag für die meisten der o.g. Probleme dar. In der Praxis wird der Erfolg natürlich vor allem vom Engagement und der Kompetenz der Lehrkräfte abhängen

Stofffülle und Anforderungs-niveau des Physikunterrichts müssen deutlich reduziert und so der Realität des heutigen Schulalltags angepasst werden.

Von entscheidender Bedeutung für die Motivation der Schüler und eine Steigerung des Interesses ist eine geeignete Stoffauswahl, welche relevante, lebenspraktische Inhalte und allgemeine Schülerinteressen berücksichtigt.

– auch von deren Lernbereitschaft im Sinne von [HATTIE \(2013\)](#) (s. auch [Anhang G.5](#)).

4.5.4 Das „Unterrichtsdrehbuch“

Vielfalt der Unterrichtsmethoden, unerwartete Abläufe der Schulstunden, oder überraschende Ergebnisse von Experimenten jenseits der erwarteten Routine, können wesentlich dazu beitragen, das Interesse der Schüler zu wecken oder wach zu halten.

Angehende Lehrer und Lehrerinnen sollten im Rahmen ihrer didaktischen Ausbildung an der Universität einen möglichst großen Fundus an Unterrichtsmethoden erwerben. Andererseits wird – insbesondere in der zweiten Ausbildungsphase – häufig das Ideal einer perfekt durchorganisierten Unterrichtseinheit mit zeitlich perfekt abgestimmtem Stundenabschluss angestrebt. Die situationsabhängige Wahrnehmung der augenblicklichen Bedürfnisse der Lernenden gerät darüber leicht in Vergessenheit.

Hinzu kommen die immer wiederkehrenden Unterrichtsmuster, die monoton und wenig motivierend sind. Das typische sogenannte „*Unterrichtsdrehbuch*“, nach welchem anscheinend ein Großteil aller Physikstunden durchorganisiert wird, beginnt mit einem Demonstrationsexperiment. Es folgen Hypothesenbildung und Lösungsansätze, die im Unterrichtsgespräch gesammelt werden, ggf. die Verifikation mit einem weiteren Experiment unter Mitwirkung von Schülern, die Dokumentation von Ergebnissen an der Tafel und im Heft. Zum Abschluss der Stunde werden Anwendungsbeispiele oder weiterführende Fragen besprochen (s. z. B. [SCHECKER und KLIEME, 2001](#) (S. 116) und [MÜLLER, 2007](#) (S. 14)).⁶

Viele Stunden seien geprägt durch „enge Führung im fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch in Richtung auf ein bestimmtes, vorher feststehendes Ergebnis. Nicht das Verfahren an sich ist problematisch, sondern seine Monokultur“ ([SCHECKER und KLIEME, 2001](#)). Um diese demotivierende Eintönigkeit zu überwinden, gilt es nach [SCHECKER und KLIEME](#) (s. auch [SCHECKER, 2001](#); [LEISEN, 2003](#)) „das Muster bewusst zu machen und Alternativen zu entwickeln“, wie z. B.:

- „Einstieg über die Demonstration eines physikalischen Phänomens (z.B. eines mechanischen Resonanzphänomens) *ohne begleitende Erklärungen oder Leitfragen*; die Schüler schreiben ihre Beobachtungen auf und machen Vorschläge für mögliche Untersuchungsfragen, Messungen oder experimentelle Varianten.
- Schüler entwickeln nach einer Erarbeitungsphase selbst Aufgaben, die dann in der Klasse wechselseitig bearbeitet werden.
- Predict-Observe-Explain-Verfahren (**POE**): *Vor einem Experiment* oder einer Simulation formulieren die Schüler jeweils ihre Erwartungen über den Ausgang und halten sie schriftlich fest; das Phänomen wird beobachtet und die Ergebnisse werden festgehalten; es folgt die explizite Gegenüberstellung von Erwartungen und Erfahrungen sowie die Erarbeitung von Gründen für mögliche Diskrepanzen.

Am Beispiel des **POE**-Verfahrens kann man zeigen, wie bereits kleine Änderungen am Skript große Lerneffekte bewirken können.“ Weitere interessante Anregungen findet man bei [LEISEN \(2003\)](#).

⁶Laut Schecker basiert dies auf einem Vortragsmanuskript von J. Leisen (1999): *Lehrerbildung nach TIMSS* (Bundesfachleitertagung des [MNU](#) in Kassel).

4.5.5 Lernen, Wissen und Verstehen

Bereits in Abschn. 4.5.1 zur Aufgabenkultur wurde herausgestellt, dass es für den Lernerfolg bedeutsam ist, Sachverhalte wirklich zu verstehen und nicht nur lose aneinandergereihte Elemente zu kennen und Definitionen zu wissen.

„Die grundlegende Fähigkeit, die der Unterricht vermitteln muss, ist ein eigenes, selbständiges Erarbeiten von Einsichten, Gedankengängen und Problemlösungsstrategien. Wichtiger als Kenntnis einer Fülle von Einzelfakten ist Verständnis der für Physik charakteristischen Art des Denkens und Problemlösens, demonstriert anhand ausgewählter, typischer Beispiele.“ MERZYN (2009)

HATTIE (2012) betont interessanterweise die *Bedeutung beider Arten des Lernens und Verstehens, Oberflächenlernen und Tiefenlernen* (siehe Fußnote 19 auf S. 42).

Auch MÜLLER, 2007 (S. 15) konstatiert: „Im Physikunterricht wird angestrebt, einen möglichst großen Vorrat an Wissen und Können bereitzustellen, damit ihn die Schüler später einmal anwenden können. Aber dieses ‚später einmal‘ findet nicht in der Schule statt, und für die meisten Schüler kommt es nie.“ So bleibt das angesammelte Wissen das, was

„... in der Lernpsychologie als ‚träges Wissen‘ bezeichnet wird. Weil sie keinen Wirklichkeitsbezug erkennen können, sind die Schüler nicht in der Lage, das Gelernte auf authentische Probleme zu übertragen. Das in systematischer Form erworbene Wissen ‚passt‘ nicht ‚einfach so‘ auf konkrete Anwendungen. [...]

Heute allgemein akzeptiert ist die sogenannte konstruktivistische Auffassung vom Lernprozess. Die Grundidee lässt sich einfach formulieren: Das Lernen wird als ein aktiver Konstruktionsprozess auf Seiten der Lernenden angesehen. Wenn Lernende mit neuen Lerninhalten konfrontiert werden, werden diese nicht einfach wie auf ein leeres Blatt in ihr Gehirn geschrieben. Immer schon ist im Kopf des Lernenden eine Wissensstruktur bereits vorhanden, an die der Lernprozess anknüpfen kann und muss.“ (MÜLLER, 2007, S. 15-16)

Dies unterstreicht noch einmal die Bedeutung einer nachhaltigen Verankerung von Lerninhalten in Kontexten und Alltagserfahrungen, sodass diese auch außerhalb des Physikunterrichts Verknüpfungspunkte haben. Wir erinnern hier an den allgemeinen Bildungsauftrag der Schule: „*Schulische Bildungsziele sollten zudem auf Nachhaltigkeit und Transfer ausgerichtet werden. Sie müssen anschlussfähig sein für lebenslanges Weiterlernen, für Anforderungen in Alltag, Beruf und Gesellschaft.*“ (KLIEME *et al.*, 2006, S. 20)

Die hier kommunizierten Erkenntnisse aus der Lernpsychologie illustrieren erneut die Unverzichtbarkeit von kontinuierlicher, beruflicher Weiterentwicklung für Lehrkräfte – in dem zu Eingang von Kap. 2.5.4 skizzierten Sinne nach John HATTIE.

Neben der Kenntnis einer Reihe wichtiger Fakten und Begriffe muss der Physikunterricht vor allem das eigene, selbständige Erarbeiten von Einsichten, Gedankengängen und Problemlösungsstrategien für physikalische Beobachtungen und Problemstellungen vermitteln.

4.6 Experimentieren im Physikunterricht

Die Entwicklung der Physik und die physikalische Forschung sind untrennbar mit dem Experiment verbunden. Ohne reproduzierbare Experimente gibt es keine verlässliche oder gar quantitative Information über physikalische Naturvorgänge. Daher sind Experimente ein unverzichtbarer Bestandteil des Physikunterrichts in der Schule.

Physikalische Forschung ist untrennbar mit dem Experiment verbunden. Experimente sind auch ein unverzichtbarer Bestandteil des Physikunterrichts.

WAGENSCHNEIN spricht über die Bedeutung des Experiments im Physikunterricht sehr plastisch (WAGENSCHNEIN, 1995, S. 122): „Es bedarf der Sinne, um in der Mitte erreicht zu werden, es bedarf des Tuns, um zu ‚begreifen‘, was das ‚Ergebnis‘ sagt. [...] Man kann ein physikalisches Ergebnis nicht anders ‚erfahren‘, als dass man den Weg entlang fährt, der zu ihm hinführt.“

In den Naturwissenschaften wird das Experiment häufig – vereinfacht ausgedrückt – als eine „Frage an die Natur“ beschrieben. Experimente sind eng verknüpft mit der Theorie, aus der heraus das Experiment entwickelt wird und vor der das Ergebnis des Experiments interpretiert wird.

Im Unterricht hat das Experiment darüber hinaus noch eine Reihe weiterer Funktionen. In Bezug auf fachliche Aspekte können über Experimente (vgl. HODSON, 1993)

- physikalische Zusammenhänge erschlossen und verstanden werden (learning science),
- naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen angewandt und praktische Fähigkeiten und Fertigkeiten geschult werden (learning to do science) und
- ein Verständnis für das Wesen der Naturwissenschaft gewonnen werden (learning about science).

Demzufolge wird der Begriff „Experiment“ weiter gefasst: In Anlehnung an HACKING (1983) lassen sich Experimente im Unterricht als eine geplante Aktivität beschreiben, um ein Phänomen hervorzurufen oder eine Hypothese zu testen.

Die Bedeutung des Experimentierens für den naturwissenschaftlichen Unterricht zeigt sich allein schon daran, dass etwa zwei Drittel der Unterrichtszeit im Physikunterricht der **Sek I** mit dem Experimentieren und der Vor- und Nachbereitung zugebracht werden (TESCH und DUIT, 2004; BÖRLIN *et al.*, 2011). TESCH und DUIT unterscheiden im Rahmen von Unterrichtsbeobachtungen drei Funktionen des

Experimentierens im Unterricht, nämlich „Phänomene darstellen“, „Konzepte veranschaulichen“ und „Hypothesen testen“. Anders als vor dem Hintergrund des typischen Vorgehens in den Naturwissenschaften zu erwarten, spielt das Testen von Hypothesen im beobachteten Unterricht (Klasse 8 und 9) nur eine untergeordnete Rolle.

Neben den fachlichen Aspekten des Experimentierens, bieten Experimente im Unterricht auch die Möglichkeit, die Arbeitsformen zu wechseln und dabei

zugleich soziale Lernziele zu verfolgen, bereits Erlerntes anzuwenden und zu üben oder für ein neues Thema zu motivieren: Das Experiment,

das ein unbekanntes Phänomen zeigt, wirft für Schüler häufig die Frage auf, inwieweit das Phänomen im Einklang mit eigenen Vorstellungen und eigenen Erfahrungen steht. Diese sogenannten Schülervorstellungen, die häufig fehler- oder lückenhaft sind, gilt es, im Physikunterricht aufzugreifen und auf überzeugende Weise zu korrigieren.

Experimente eignen sich dafür in besonderem Maße, da die Schüler durch sie sinnlich erfahren, wie physikalische Vorgänge ablaufen – wobei darauf geachtet werden muss, dass die Experimente tatsächlich ‘erfahrbar’ und transparent bleiben und dass die wesentlichen Elemente des Versuchsablaufs nicht hinter einer komplizierten Technik verschwinden (s. auch Abschn. 4.8.2). Aus der Neuartigkeit der beobachteten Vorgänge oder aus dem Konflikt mit vorab vermuteten Ergebnissen entsteht so das Bedürfnis, den Sachverhalt näher zu untersuchen. Dabei können neue Vermutungen oder Hypothesen entwickelt werden, die über Experimente ganz im Sinne naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen geprüft werden können.

Nun sind, wie [HÖTTECKE und RIESS \(2015\)](#) im Licht jüngerer didaktischer Forschung zum Experimentieren bemerken, „die Praxen von Schülern und Schülerinnen im naturwissenschaftlichen Unterricht von den Forschungspraxen in den Naturwissenschaften weit entfernt.“ Und tatsächlich sind Schüler sich oft des Künstlichen eines Experiments im Rahmen des Unterrichts durchaus bewusst, da die Lösung der Frage zumindest der Lehrkraft bekannt ist oder auch im Schulbuch nachgelesen werden könnte. Diese Problematik besteht generell im Unterricht, wie schon in einem in der Folge der [TIMS-Studie](#) ausgearbeiteten Gutachten formuliert wird ([BAUMERT et al., 1997](#), S. 8): „Schüler lernen in der Schule für die Schule.“ Auch wenn den Lernenden bewusst ist, dass die Frage eigentlich schon beantwortet ist, und selbst wenn auch sie das Ergebnis des Experiments schon kennen, kann es doch wegen der Tätigkeit selbst noch interessant sein, den „Vorgang nachzuvollziehen“.

Das Experimentieren wird häufig als ein Mittel gesehen, das in jedem Fall erfolgversprechend ist. Man erwartet, dass dabei nicht nur das Experimentieren selbst gelernt, sondern auch das Fachwissen verbessert und die Mitarbeit gefördert werde. Neuere fachdidaktische Forschung belegt, dass diese Erwartung nicht haltbar ist und die Investition von Lernzeit z. B. in Schülerexperimente gut abgewogen werden muss. Es ist eine Aufgabe der fachdidaktischen Forschung, dafür Hilfestellungen zu geben und Bedingungen zu erkunden, unter denen Experimente die erwarteten Wirkungen zeigen. Da Unterricht ein komplexer Prozess ist, in dem eine Vielzahl von Faktoren gleichzeitig eine Rolle spielt, ist dies ein schwieriges Unterfangen. Bisherige Studien zeigen, dass Schülerexperimente vor allem dann an Effektivität gewinnen, wenn die Schüler beim Experimentieren immer wieder kognitiv angeregt werden, über das nachzudenken, was sie tun ([MILLAR und ABRAHAMS, 2009](#)).

In einer Video-Studie des [IPN \(SEIDEL et al., 2006\)](#) bzw. in einer jüngeren Studie von [WINKELMANN und ERB \(submitted\)](#) wurde festgestellt, dass weder eine längere Experimentierzeit noch der vermehrte Einsatz von Schülerexperimenten zu größerem Unterrichtserfolg oder größerem Interesse

Für das Experimentieren gelten die gleichen Grundsätze wie für die Integration von Kontexten. Sie dürfen keinesfalls zum Selbstzweck verkommen, sondern müssen immer möglichst passend auf die Thematik zugeschnitten sein. Dies ist den Schülern auch deutlich zu machen.

Experimente können ihre Wirkung nur entfalten, wenn deren Ziele den Schülern sehr klar bewusst gemacht werden: geht es um die Illustration naturwissenschaftlichen Arbeitens (NOS), um die Vertiefung bereits erarbeiteter Begriffe und Zusammenhänge oder um die Demonstration eines Phänomens?

der Schüler am Unterricht führt. Dagegen konnten **TESCH und DUIT (2004)** zeigen, dass bei einer Betrachtung der Unterrichtszeit, die einschließlich der Vor- und Nachbereitung auf das Experimentieren verwendet wird, durchaus ein Zusammenhang mit dem Lernerfolg besteht. Das Experimentieren ist also kein Wundermittel, das bei schlechtem Physikunterricht zu Erfolg verhilft – es ist aber andererseits ein wesentlicher Bestandteil jedes guten Physikunterrichts.

Damit Experimente die erwartete Wirkung im Hinblick auf gesetzte Ziele entfalten können, ist es notwendig, die intendierte Aufgabe eines Experiments im Unterricht auch für die Schüler explizit deutlich zu machen. Denn wenn mit dem Experiment naturwissenschaftliche Arbeitsweisen verdeutlicht werden sollen, dann sind an das Experiment ganz andere Anforderungen gestellt und andere Blickrichtungen gefragt, als wenn es darum geht, bereits erarbeitete begriffliche Zusammenhänge zu klären oder ein Phänomen zu demonstrieren. Mit den **KMK (2004)** Bildungsstandards haben die naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung eine neue Bedeutung erlangt. Während man früher der Ansicht war, dass Wissen und Fähigkeiten in diesem Bereich implizit erworben werden, indem der Unterricht die entsprechenden Vorgehensweisen nachahmt, ist man heute davon überzeugt, dass Kompetenzen im Bereich Erkenntnisgewinnung nur dann erworben werden, wenn dies explizit angesprochen und geübt wird.

Für die Grundschule gibt es bereits einige Vorschläge, wie man Kinder an das selbständige Experimentieren im Sinne eines naturwissenschaftlichen Forschungsprozesses heranzuführen und mit ihnen explizit über das Experimentieren diskutieren kann. Im Sekundarbereich ist dieses Feld noch immer vergleichsweise wenig bearbeitet (s. **WODZINSKI, 2010**).

4.7 Zur Rolle der Mathematik im Physikunterricht

Die Physik ist im Unterricht nicht als mathematische Wissenschaft, sondern als Naturwissenschaft zu behandeln.

Aber: Vertrautheit der Schüler mit der Rolle der Mathematik in der Physik zu stärken, ist entscheidend für die Entwicklung eines tieferen Verständnisses der Physik (nach **NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012, S. 65**, frei übersetzt).

Das Verhältnis zwischen Mathematik und Physik ist nicht immer frei von Spannungen und Missverständnissen. Klar ist aber, dass physikalische Erkenntnisse immer wieder der mathematischen Formulierung bedürfen. Schon Galileo GALILEI konstatierte: „Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben.“ Das drückt aus, dass für vieles in der Fachwissenschaft Physik die mathematische Formulierung die einzig adäquate ist. Andererseits wird angemahnt, dass die Physik eine Naturwissenschaft und keine mathematische Wissenschaft ist. Es gibt zahlreiche Hinweise, dass die Mathematisierung für viele Schüler eine wesentliche Lernschwierigkeit darstellt und zu einer eher negativen Wahrnehmung des Physikunterrichts beitragen kann, da Mathematik bei vielen Schülern ähnlich unbeliebt sein kann wie die Physik.

An dieser Stelle ist es sinnvoll, sich einige Gesichtspunkte zum Thema Mathematik in der Physik vor Augen zu halten. Etwa, warum Physik nicht ganz ohne Mathematik möglich ist, warum Physik aber etwas anderes ist als angewandte Mathematik, und dass es keine Übertreibungen an Mathematik im Physikunterricht geben soll.

Physik heißt, die Natur zu beobachten, die Beobachtungen zu verifizieren

und zu reproduzieren, sie in Worte zu fassen und geeignete Begriffe zu entwickeln, heißt aber auch, das Beobachtete zu quantifizieren, es zu messen. Beobachten heißt folglich auch, mit Zahlen und Maßeinheiten, also mit physikalischen Größen und mit physikalischen Begriffen umzugehen. Dies ist zur richtigen Zeit in der Schule einzuführen. Es ist Teil des Bildungsauftrags des Physikunterrichts, hiermit eine gewisse Vertrautheit zu vermitteln. Allerdings zeigen z.B. unsachgemäße Formulierungen selbst in Qualitätsmedien immer wieder, dass dieses Ziel oft nicht erreicht wird.

Physik heißt ferner, dass man Beziehungen zwischen beobachteten Größen findet. Die Formulierung solcher Zusammenhänge in der Sprache der Mathematik ist ein weiterer Wesenszug der Physik, den zu vermitteln zum Bildungsauftrag des Physikunterrichts gehört. Die Formulierung hierbei muss sich am Alter und am Abstraktionsvermögen der Schüler orientieren. Verbalisierungen und Darstellungen in Diagrammen sind früh möglich und sollten früh genutzt werden, die algebraische Formulierung in Form von Gleichungen zwischen Größen wird im Verlauf des Lernprozesses hinzukommen.

Von grundsätzlicher Bedeutung für die Physik ist es, Vorhersagen treffen zu können, auch quantitative. In diesem Sinne bedeutet physikalisch arbeiten ganz zwangsläufig auch Mathematik zu verwenden, einfache oder manchmal auch kompliziertere. Physik ist (natürlich) nicht nur Mathematik, aber ganz ohne Mathematik kann Physik nicht betrieben werden.^{7,8} Die Physik „dürfe nicht zerrechnet werden“ [DITTMANN et al. \(1989\)](#).

Das beinhaltet naturgemäß die Fähigkeit zu elementaren oder auch komplexeren mathematischen Umformungen, sei es algebraisch in Formeln oder verbal in Satzzusammenhängen ausgedrückt, ebenso wie die Fähigkeit zum Umgang mit physikalischen Größen und ihren Einheiten. Die genannten Fertigkeiten entwickeln die Schüler zum größten Teil im Mathematikunterricht – jedoch insbesondere in den unteren Jahrgangsstufen nicht immer schon zu den Zeitpunkten, in denen die Physik sich ihrer bedienen könnte. Bei der Konzipierung von Lehrplänen wird in aller Regel auf eine möglichst gute Abstimmung zwischen den beiden Fächern Physik und Mathematik geachtet. Diese aus Sicht der Physik wünschenswerte Verschränkung wird sich aber nicht immer erreichen lassen: Die Mathematik ist ein Fach mit eigenem Anspruch, eigener Struktur und eigener Schwerpunktsetzung und

Physik bedeutet, die Natur zu beobachten, die Beobachtungen zu quantifizieren, zu reproduzieren, dies in Worte und Begriffe zu fassen, und schließlich daraus Vorhersagen abzuleiten. Die Sprache dafür ist in letzter Konsequenz die Mathematik. Im Schulunterricht darf die Physik aber „nicht zerrechnet werden“.

Die Leistungsfähigkeit der Mathematik in der Physik sollte – an wenigen, eindrucksvollen Beispielen – im Physikunterricht in der Schule illustriert werden. Dabei soll nur von den jeweils verfügbaren mathematischen Kenntnissen Gebrauch gemacht werden.

⁷Die sogenannten Meraner Reformvorschläge der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte ([GDNÄ](#)) mahnten dies bereits 1905 an. Für den Physikunterricht lauteten deren Grundsätze (zitiert nach [KREMER, 1985](#), S. 84):

1. Die Physik ist im Unterricht nicht als mathematische Wissenschaft, sondern als Naturwissenschaft zu behandeln.
2. Die Physik als Unterrichtsgegenstand ist so zu betreiben, daß sie als Vorbild für die Art, wie überhaupt im Bereiche der Erfahrungswissenschaften Erkenntnis gewonnen wird, dienen kann.
3. Für die physikalische Ausbildung der Schüler sind planmäßig geordnete Übungen im eigenen Beobachten und Experimentieren erforderlich.

⁸Siehe auch [LIEBERS \(1978\)](#). Vergleiche ferner das Wirken von Martin [WAGENSCHNEIN](#) (z.B. [WAGENSCHNEIN, 1995](#)) und Abschn. 4.6.

fungiert somit nicht primär als „Dienstleister“ für die Naturwissenschaften. Die Reihenfolge der im Mathematikunterricht erarbeiteten Inhalte erwächst aus der Struktur der Mathematik, sie kann nur bedingt an die Bedürfnisse anderer Fächer angepasst werden. Hieraus ergibt sich eine problematische Frage hinsichtlich der Rolle der Mathematik im Physikunterricht: Soll man fehlende mathematische Fertigkeiten im Physikunterricht behandeln, sollen Schüler diese hier lernen und folglich auch üben, zumindest so viel, dass daraus Verfügungswissen entsteht? Auch aus Gründen einer ökonomischen Nutzung der Unterrichtszeit kann das nicht die Regel sein. Andererseits wird sich dies punktuell nicht immer gänzlich vermeiden lassen. Dann aber ist es besonders wichtig, den Physikunterricht nicht als rein mathematische Übung um ihrer selbst Willen erscheinen zu lassen. Die Funktion der Mathematik im Physikunterricht besteht vielmehr darin, ein besseres Verständnis der physikalischen Zusammenhänge zu schaffen und die Bearbeitung gewisser physikalischer Fragestellungen zu ermöglichen. So wird man beispielsweise den physikalischen Bildungsprozess nur wenig fördern, wenn man typische und nach Erlernen leicht behandelbare Aufgaben wieder und wieder rechnen lässt, wie etwa die Endtemperatur beim Mischen vorgegebener Flüssigkeitsmengen gegebener Temperaturen, wie Ströme und Spannungsabfälle in verzweigten Stromkreisen u. ä.

Die Regel soll es sein, die Art der Behandlung physikalischer Inhalte im Unterricht mit den verfügbaren mathematischen Fertigkeiten abzustimmen.

Eine Notwendigkeit, physikalische Themen aufgrund noch fehlender mathematischer Fertigkeiten wegzulassen – meist wird man hier algebraische Fertigkeiten meinen – besteht in aller Regel nicht: Die allermeisten Inhalte können in eine jeweils altersgemäße Darstellungsform gebracht werden.

In dieser Weise sollen einfache physikalische Beobachtungen und Erkenntnisse bereits früh geübt werden. Die Quantifizierung physikalischer Beobachtungen und damit einhergehend die Komplexität physikalischer Einsichten wird sich über die Jahrgangstufen hinweg im Einklang mit dem fortschreitenden Mathematisierungsverständnis vergrößern, im Sinne eines stetigen Bildungsprozesses in der Erfahrungswissenschaft Physik. In der Oberstufe, am Ende dieses Prozesses, ist es dann möglich, den Schülern die wunderbare gedankliche Klarheit und vielfältige Einheit der physikalischen Weltansicht und die zentrale Rolle der Mathematik dabei aufzuzeigen.

Vor diesem Hintergrund formulieren wir einige Grundsätze zur Rolle der Mathematik im schulischen Physikunterricht:

1. Die Physik ist im Schulunterricht nicht als mathematische Wissenschaft, sondern als Naturwissenschaft zu behandeln,⁹ in der das Beobachten und Verstehen von Naturphänomenen Ausgangspunkt und Ziel sind. Insofern ist die Physik zugleich paradigmatisch für die Erkenntnisgewinnung in den Erfahrungswissenschaften.
2. Die physikalische Bildung erfordert planmäßiges und geordnetes Üben im eigenen Beobachten und Experimentieren. Die Aufarbeitung dazu bedarf dann der Quantifizierung und damit einer gewissen Mathematisierung.

Physikalisches
Verständnis erwächst
nicht zuletzt aus dem
Beobachten und dem
Entdecken von
qualitativen
Zusammenhängen. In
der Schule genügen
häufig bereits „wenn –
dann“ oder „je – desto“
Aussagen, um das
Wesentliche zu erfassen
und Vorhersagen
machen zu können.

⁹s. Fußnote 7

3. Der Physikunterricht dient u. a. der Erarbeitung physikalischer Begriffe sowie dem Finden und Formulieren von physikalischen Zusammenhängen und Gesetzen. Diese sind stets sowohl in Worten zu erläutern und, wenn auch nicht nur, in formelhaft komprimierter Form darzustellen. Der Physikunterricht darf sich jedoch nicht im Rechnen mit (womöglich sogar unverstandenen) Formeln erschöpfen. Im Vordergrund soll stets der physikalische Inhalt der Formeln stehen.
4. Physik ist nicht nur Quantifizierung von Beobachtungen, sondern auch das Entdecken und Anwenden qualitativer Zusammenhänge. Aus Beobachtungen, aus „wenn – dann“ oder „je – desto“ Erlebnissen und daraus gefundenen Beziehungen lassen sich Abhängigkeiten und Trends erklären. Dazu gehören insbesondere Proportionalitäten zwischen Größen. Zu verstehen gilt es allgemein, ob etwas größer wird, wenn etwas anderes zunimmt oder ob es kleiner wird usw. So erwachsen mathematische Beziehungen. Aus ihnen kann man qualitative und quantitative Vorhersagen gewinnen, kann künftige Experimente ersinnen.
5. Der Physikunterricht sollte, wo immer möglich, mit dem mathematischen Niveau der jeweiligen Alters- bzw. Jgg. korreliert sein. Die Physik kommt ohne gewisse mathematische Grundkenntnisse nicht aus. Doch soll sie nicht dazu dienen, wegen ihres Eigenbedarfs mathematische Kenntnisse vorab einzuführen und zu üben. Hiervon sollte man nur in Ausnahmefällen abweichen.

Mit Blick auf die Studienanfänger im Fach Physik – wie auch in den Ingenieurwissenschaften – ist es wünschenswert, für die Schnittstelle zwischen Schule und Hochschule das aus Sicht der Hochschulen anzustrebende Bildungsniveau in Mathematik am Ende der gymnasialen Oberstufe zu formulieren.¹⁰

Mit ihrer Empfehlung zum Umgang mit den Mathematikkenntnissen von Studienanfängern der Physik (KFP, 2011) hat sich die Konferenz der Fachbereiche Physik, in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Schule der DPG, dieser Aufgabe aus Sicht der Physik angenommen. Das dort Beschriebene ist als Endziel zu verstehen. Lernwege hin zu diesem Ziel zu entwickeln, ist eine Aufgabe der Lehrpläne und der Schulen. Während des schulischen Mathematik- und Physikunterrichts kann darauf natürlich erst schrittweise zugegriffen werden. Das erst allmähliche Entstehen dieses Kenntnis- und Fähigkeitskatalogs an Mathematik im Physikunterricht ist im Auge zu behalten und zu beachten.

¹⁰Viele Hochschulen bieten Brückenkurse in Mathematik zur Vorbereitung auf das Studium an. Inzwischen hat sich ein überregionales, auch von der DPG unterstütztes Netzwerk [Online Mathematik Brückenkurs OMB+](#) etabliert.

4.8 Computer und Nutzung digitaler Medien

4.8.1 Digitale Medien und Schulunterricht

„Von den Potenzialen der Identitäts- und Persönlichkeitsbildung, der gesellschaftlichen und kulturellen Teilhabe und Mitgestaltung des sozialen Lebens ausgehend ist die Vermittlung von Medienkompetenz als eine zentrale Anforderung an Schulen anzuerkennen“, so die erste *International Computer and Information Literacy Study (ICILS 2013 Studie BOS et al., 2014)*.

Allerdings dürfte das riesige Unterhaltungs-, Ablenkungs- und Konsumangebot, dem Jugendliche heute ausgesetzt sind, nicht unwesentlich zur Verschärfung der in Kap. 2.5 umrissenen Probleme beitragen (insbes. zum geringen Interesse am Schulfach Physik und zur Leistungsheterogenität unter den Schülern). Das scheinbar allwissende Internet, das man ja jederzeit befragen könne, lässt bei Jugendlichen schnell die (sich rasch verbreitende) Illusion aufkommen, der so mühsame Erwerb von Wissen und Kompetenzen in einem so schwierigen Fach wie Physik sei doch eigentlich überflüssig.

Nicht unerwähnt sollte an dieser Stelle auch eine aktuelle Veröffentlichung zur Wirksamkeit von Computern im Schulunterricht bleiben. *FALCK et al. (2015)* haben durch Analyse vieler Studien ermittelt, dass – grob gesprochen – die positiven und negativen Effekte von Computern im Schulunterricht sich aufheben, dass sie sich aber als hilfreich für die Informationsbeschaffung erweisen.

Umso wichtiger ist in der Tat die Erarbeitung eines verantwortungsvollen und kompetenten Umgangs mit Computern, Medien und mit dem Internet – die Verbreitung der Einsicht, dass Informationsbeschaffung per Internet nur auf der Basis solider Kenntnisse und Kompetenzen in dem entsprechenden Fachgebiet sinnvoll wird, und dass Medienkompetenz weit mehr beinhaltet als den technischen Umgang mit Computern und Software. Die Schule sollte auch zu einem kritischen Umgang mit Medien und Informationsquellen anleiten, zum Hinterfragen von Quellen und Autoren ermuntern, die Schüler dabei unterstützen, die Rolle der sogenannten „Sozialen Netzwerke“ und der gigantischen Unternehmen, „Suchmaschinen“ genannt, zu analysieren usw. In jedem Fall stellt diese Entwicklung Schulen, Lehrer, Schüler und Eltern vor immense Herausforderungen.

Zwei extreme Positionen stehen sich gegenüber: *Auf der einen Seite* gibt es Schulen, die auf „totale Digitalisierung“ setzen, alle Klassenräume mit Whiteboards ausstatten und über WLAN allgemeinen Internetzugang ermöglichen; jedem Schüler steht ein Laptop oder Tablet-PC zur Verfügung. *Dem gegenüber steht* die Auffassung, dass die Internetnutzung Kindern mehr schade als nütze und gar zu „Digitaler Demenz“ (so das sehr kontrovers diskutierte Buch von *SPITZER, 2012*) führen könne; sie solle deshalb aus dem Unterricht ganz verbannt werden. Dazwischen liegt der Versuch, pragmatisch mit der Digitalisierung umzugehen (s. z. B. *FALCK et al., 2015*).

Tatsache ist, dass die meisten jungen Leute mittlerweile Smartphones besitzen und sie für private Zwecke routiniert nutzen. Die Schule darf nicht ignorieren, dass Schülern die digitale Welt eine selbstverständliche

Die Omnipräsenz der digitalen Welt macht die Vermittlung von Medienkompetenz in der allgemeinbildenden Schule heute unverzichtbar. Sie sollte fachnah und spezifisch durchgeführt und konkret im Physikunterricht erprobt werden.

Das Internet bietet mit seiner Fülle von Möglichkeiten und Informationsquellen sowohl große Chancen als auch große Risiken – speziell auch für den Physikunterricht.

Realität ist; sie sollte sich der Aufgabe stellen, *Orientierung und Anleitung zu deren sinnvoller Nutzung zu geben*. Denn es ist absehbar, dass Smartphones, Tablets oder Phablets die „guten alten“ Taschenrechner, Laptops und auch Computerräume überflüssig machen, zumal die Rechenarbeit von Applets auf eine „Cloud“ ausgelagert werden kann.

Wichtige Informationen in diesem Zusammenhang liefert die bereits erwähnte **ICILS 2013**-Studie. Sie vergleicht die „computer- und informations-bezogenen Kompetenzen“ von Schülern der 8. Jahrgangsstufe in 21 Ländern und präsentiert dazu Daten zur Ausstattung und Nutzung von Computern und Internet in Schulen. Dabei zeigt sich, dass digitale Medien in deutschen Schulen weniger verbreitet sind und noch weniger genutzt werden als etwa in Australien, Kanada oder Dänemark.¹¹ Es wird außerdem berichtet, dass die Annahme, heutige „Jugendliche würden durch das Aufwachsen in einer von neuen Technologien geprägten Welt automatisch zu kompetenten [...] Nutzern digitaler Medien, nicht zutrifft“. Umso dringlicher sei es, sie in der Schule mit einem sinnvollen Gebrauch dieser Medien vertraut zu machen.

Nutzung von Lernplattformen Derzeit spielen *Lernplattformen (Learning Management Systems, LMS)* eine wichtige Rolle. Sie sollen allen Jahrgängen und Fächern als Medien der Kommunikation dienen: zur Ablage und zum Austausch von Unterrichtsmaterial, zur Planung des Unterrichts, seiner Vor- und Nachbereitung, als Diskussionsforum – auch von zu Hause aus. Derzeit ist der Einsatz von Lernplattformen wie beispielsweise Moodle, DigiOnline oder WebWeaver in den Bundesländern sehr heterogen. Da die Nachfrage derzeit weltweit sehr hoch zu sein scheint, engagieren sich auch Konzerne wie Google mit dem Angebot „Classroom“, um an diesem lukrativen Geschäft teilzuhaben.

Webseiten wie Moodle oder DigiOnline sind wertvolle Lernplattformen, welche die Kommunikation und den Austausch von Materialien in Schule und Hochschule erleichtern.

Selbst wenn jede einzelne Lernplattform (**LMS**) geprüft und für gut befunden wurde, so muss dieser Wildwuchs Lehrern doch zu schaffen machen, zumal der Erfolg in erster Linie von ihrem engagierten Einsatz abhängt. Gravierendere Hindernisse für die Realisierung der Potenziale digitaler Medien sind aber

1. das Fehlen von technischem Personal für die Pflege und Aktualisierung der Ausstattung; allein mit dem freiwilligen Engagement interessierter Lehrer ist diese Aufgabe nicht überall zuverlässig leistbar (s. auch Kap. 2.5.3);
2. die unzureichende Vorbereitung im Lehramtsstudium auf den Umgang mit digitalen Medien im Unterricht;
3. die angesichts der Geschwindigkeit des technischen Wandels zu geringe Intensität der Fortbildung auf diesem Sektor und des Erfahrungsaustausches innerhalb der Lehrerschaft (s. auch Kap. 2.5.4).

Hinzu kommt der grundsätzliche Zweifel vieler Lehrender an der Eignung kurzlebiger Medien für die Vermittlung von Inhalten, die ein Leben lang gültig bleiben sollen.

¹¹Allerdings geht es dabei um Abweichungen, die deutlich unterhalb der Breite der Normalverteilungen liegen. Die Gymnasien in Deutschland schneiden dabei sogar überdurchschnittlich ab.

Taschenrechner und Formelsammlung gehören inzwischen zur Standardausrüstung der Schüler und Schülerinnen, aber man darf nicht davon ausgehen, dass alle Physikräume¹² mit Internetanschluss und interaktivem Whiteboard bzw. Beamer ausgestattet sind. Eher selten steht jedem Schüler ein Computer oder Tablet zur Verfügung; für den 8. Jg. gilt, dass sich in Deutschland und auch EU-weit im Mittel etwa 11,5 Schüler einen Computer teilen. Das wird sich mit der weiteren Entwicklung der Smartphonetechnik rasch ändern. Schüler können dann ihren eigenen Computer in den Physikraum mitbringen und dort wie zu Hause direkt mit dem Internet verbunden sein.¹³

Aber soll man das empfehlen? Die Aufgabe des Fachunterrichts ist vor allem, grundlegendes und brauchbares Wissen und Können (Kompetenz) in den Köpfen der Lernenden nachhaltig zu verankern. Kann der Computer dabei helfen? Oder verführt er dazu, die Köpfe von fachlichen Inhalten frei zu halten, indem er diese auf Festplatten oder das World Wide Web auslagert? Wie bei allen Werkzeugen hängt der Erfolg beim Computer davon ab, dass man ihn gekonnt einsetzt und den Umgang mit ihm beherrscht: er kann das Üben untergraben, aber auch unterstützen; er holt uns den reichen Schatz von Inhalten des Netzes aufs Display, und guter Unterricht wird dafür sorgen, dass sich Einiges davon in den Köpfen festsetzt.

In der Physik ist allerdings darauf zu achten, dass die reale Welt der Phänomene nicht verwechselt werden darf mit der virtuellen Welt, deren Fantasieprodukte manchmal attraktiver sind als realitätskonforme Darstellungen. Deshalb *müssen Experiment und Naturbeobachtung Priorität* haben und sollten am Anfang stehen. Nach und nach kann dann der Computer helfen, die dabei entwickelten Vorstellungen und Hypothesen zu formulieren, zu illustrieren und zu testen.

Internetrecherche braucht qualifizierte Vorkenntnisse, zumindest aber ein Grundgerüst an Wissen und Können. Die Schüler sollten erfahren, dass qualifizierter Unterricht ihnen dabei hilft, sich in der Datenflut zu orientieren. Sie sollten lernen, sich selbständig weiterzubilden

Das Internet als Informationsquelle für die Physiklehrer: In der Schule ist das ein weites und nicht unproblematisches Feld. Der riesige Fundus an Inhalten zu den unterschiedlichsten Themen, Lehr- und Lernhilfen, Dokumentationen, Applets, bis hin zu vorbereiteten Unterrichtseinheiten verlangt den Lehrenden ein hohes Maß an Urteilskraft ab. Können sie sich darauf verlassen, durch Stöbern im unstrukturierten Angebot des weltweiten Netzes mit Hilfe von Suchmaschinen Brauchbares zu finden? Kann dies zur Vertiefung und Belebung ihres Unterrichts beitragen? Oder sollten sie besser auf die geordneten Angebote von Verlagen zugreifen, wie **DUDEN (2014)** mit seinem *Schülerlexikon* und dem ergänzenden lern-code.de oder auf die *Digitalen Schulbücher* eines großen Konsortiums von Verlagen, auf wissenschaftliche Gesellschaften (**DPG** mit **WELT DER PHYSIK**), auf Stiftungen? Vorbildlich ist dabei die Joachim HERZ-Stiftung, die das bei Lehrern sehr beliebte Angebot der **LEIFI-PHYSIK (2013)** pflegt und nach Bundesländern, Schulstufen und Themenbereichen geordnet präsentiert. In

¹²Computerräume der Schule spielen kaum eine Rolle, da der Physikunterricht vor allem von der Geräteausstattung des Physikraums lebt.

¹³Im Augenblick ist dieses Potenzial dadurch begrenzt, dass viele Anwendungen in Java geschrieben sind, was von Apple-iPhones und iPads nicht unterstützt wird.

vielen Bundesländern gibt es darüber hinaus eine Vielzahl von guten, gebrauchsfertigen Angeboten für den Physikunterricht, die in der Regel von einschlägigen Landesinstituten gepflegt werden.

Sollen Schüler selbst aktiv im Internet recherchieren? Hier öffnet sich eine ganz eigene Problematik. Ohne strukturierte Hilfe durch die Lehrpersonen können Schüler in den Weiten des Hyperspace noch verlorener sein als ihre Lehrer. Die schlichte Aufforderung „recherchiert das doch einmal im Internet“ ohne gezielte Arbeitshilfen überfordert Schüler, zumindest zu Beginn der **Sek I**, in aller Regel erheblich. Die Literatur zu diesen Themen ist ebenso umfangreich wie widersprüchlich und erlaubt wenig konkrete Schlüsse darüber, ob und unter welchen Umständen mit oder ohne Internet besser gelernt und verstanden wird. Wir erwähnen hier lediglich beispielhaft einige Studien für den Einstieg **FALCK et al. (2015)**; **JAIRAM et al. (2014)**; **PRIEMER und PLOOG (2007)**; **PRIEMER und SCHÖN (2004)**.

Nun wurde von B. Dodge etwa ab 1995 mit *WebQuest* (**DODGE, 2007**; **WIKIPEDIA, 2013**) eine Methode entwickelt, den sinnvollen Gebrauch des Internets im Klassenverband bei der Lösung von Aufgaben zu trainieren. Die Einsicht, dass solche Hilfen unverzichtbar sind, setzt sich auch bei uns zunehmend durch. Eine hervorragende deutschsprachige Einführung gibt das *Niedersächsische Landesamt für Lernkultur und Medienbildung* **WAGNER (2009)**. Man unterscheidet (wir zitieren aus dieser Quelle und ergänzen):

1. *Internetrallye*

Vorgegeben werden den Lernenden: (i) Fragen, (ii) Internetquellen, (iii) ggf. Hinweise zu den Rechercheaktivitäten.

Die Lernenden beantworten die gestellten Fragen bzw. überprüfen/bestätigen einen vorgegebenen Sachverhalt (Man beachte: es finden sich im Internet Tausende von Beispielen zu Internetrallyes, von denen die wenigsten wirklich hilfreich sind).

2. *WebQuest* (was auch mit *Schatzsuche im Netz* übersetzt wird)

Vorgegeben werden den Lernenden: (i) Einführung in das Thema und Aufgabenstellung, (ii) Internetquellen (d.h. möglichst genau spezifizierte URLs) und andere Materialien (z.B. auch Bücher mit Seitenangaben), (iii) Hilfen und Anleitung für den Arbeitsprozess, (iv) Angaben zur Präsentation der Arbeitsergebnisse, (v) Hinweise zur Bewertung und Hilfen zur (Selbst-)Evaluation.

Die Lernenden präsentieren ihre Ergebnisse z.B. als (i) Expertenbericht, (ii) Pressemitteilung, (iii) Broschüre, (iv) Internetseite.

3. *Webprojekt (Web Inquiry Project, WIP)*

Dies ist die anspruchsvollste Form, welche ein hohes Maß an Selbständigkeit der Teilnehmer verlangt. Vorgegeben wird hierbei lediglich eine sehr allgemeine Aufgabe (z.B. „Solarenergie in Deutschland“) sowie einige thematische Aufhänger (z.B. Presseauschnitte zum Thema). Sinnvoll sind gewisse Anfangsinformationen wie die URLs einiger besonders übersichtlicher und seriöser Web-Seiten für den Einstieg.

Die Lernenden (i) formulieren Fragen, die das Thema durchleuchten und strukturieren, (ii) wählen die Vorgehensweise und einigen sich

Schüler brauchen Anleitung, um im Internet effizient und sinnvoll zu recherchieren. Die Fülle der verfügbaren Informationen ist schlicht und einfach zu groß und überfordert die Lernenden. Hilfreich sind dabei von den Lehrkräften vorstrukturierte Recherchen nach den Methoden von *Internetrallye* oder *Webquest*.

auf Recherchequellen, (iii) recherchieren im Netz Antworten und sammeln Fakten, (iv) werten gefundenes Material aus, (v) belegen die gefundenen Lösungen argumentativ, formulieren und präsentieren Begründungen.

Alle drei Varianten streben *problem- und handlungsorientiertes Lernen* mithilfe des Internets an und gehen weit über eine einfache Recherche hinaus. *Sie erfordern eine umfangreiche Vorbereitung durch die Lehrkraft. Dieser Herausforderung sollten sich gerade Physiklehrerinnen und -lehrer aktiv stellen.* Vermittelt werden sollte die Einsicht, dass man sich nicht blind auf das Internet verlassen kann, und dass man gerade für physikalisch geprägte Themen *sinnvolle Informationen nur auf der Basis eines soliden Vorwissens und Verständnisses erwerben kann.* Im Netz findet man inzwischen viele anregende, gut ausgearbeitete Beispiele.

Fazit: *Zwischen der Freiheit der Vielfalt im Netz und den Einschränkungen durch Lehrplanvorgaben und individuelles Zeitbudget hat sich ein Spannungsverhältnis entwickelt, in dem die Lehrenden und Lernenden Orientierung benötigen. Die Lehrenden brauchen darüber hinaus ein starkes Selbstbewusstsein und – viel Engagement, denn jeder Computereinsatz im Unterricht will sorgfältig überlegt und vorbereitet sein.*

Dringend wünschenswert ist daher ein strukturierter, laufend aktualisierter Wegweiser durch die wachsende Fülle der Materialien von höchst unterschiedlicher Qualität und Struktur, um den etwa 30 000 Physiklehrerinnen und -lehrern in unserem Lande das Leben wesentlich zu erleichtern. Dies sollte an einer zentralen Stelle in Deutschland geschehen (bei einer Stiftung? einem Verlag? bei der DPG? bei der KMK?), die sich dieser Aufgabe für den Physikunterricht widmet: der Sortierung und Bereitstellung bzw. Verlinkung verlässlichen Materials zur freien Nutzung im Internet. Nur so kann Nachhaltigkeit erreicht werden, wie sie etwa die American Mathematical Society mit ihrer Unterstützung von L^AT_EX seit mehreren Jahrzehnten garantiert.

Denn die Schnelllebigkeit der Computer- und Netzwelt torpediert die Verwendbarkeit der schönsten Produkte und entmutigt auf die Dauer deren Entwickler. Zu oft hat sich gezeigt, dass neue Betriebssysteme der Rechner oder auch nur neue Programmversionen alte Erzeugnisse obsolet machen.

Um nicht missverstanden zu werden: An der Nutzung digitaler Medien in der Schule und speziell im Physikunterricht führt kein Weg vorbei – ob man dies nun begrüßen oder bedauern mag. Daraus ergeben sich zahlreiche Chancen, aber auch Risiken. *Medienbildung ist daher heute eine wichtige Aufgabe der Schule*, wie in der eingangs erwähnten ICILS 2013-Studie konstatiert – sie sollte aber auf keinen Fall der Lobby von Geräte- und Softwareanbietern überlassen werden. Gerade die Physiklehrerinnen und -lehrer müssen in diesem sich stürmisch entwickelnden Feld besondere Verantwortung übernehmen, stehen sie doch neuen technischen Entwicklungen stets besonders nahe. Die Schüler dürfen dabei nicht allein gelassen werden – auch oder gerade weil sie oft mit Technik, Software und Kommunikationsnetzen viel besser umgehen zu können scheinen als ältere Generationen. Was sie

Die stetig wachsende Fülle von Lehrplattformen, Materialien und Informationen für den Physikunterricht im Internet ist für eine einzelne Lehrkraft nicht mehr überschaubar. Um eine effiziente Nutzung dieser Ressourcen zu ermöglichen, wäre eine zentrale Plattform hilfreich.

Physiklehrerinnen und -lehrer sollten aktiv Verantwortung für die Medienbildung in der Schule übernehmen. Sie gehört heute zu den wichtigen Aufgaben der Schule. Dabei geht es weniger um Technik und Software als um deren qualitätsbewusste und verantwortliche Nutzung.

aber brauchen, ist inhaltliche Führung zu einer sinnvollen, qualitätsbewussten und verantwortlichen Nutzung dieser Medien.

Zur Medienkompetenz gehören heute übrigens auch die *Grundregeln für attraktive, informative und übersichtliche Vortragspräsentationen* mit PC und Beamer – was in der Praxis keineswegs eine Selbstverständlichkeit zu sein scheint!

4.8.2 Computersteuerung von Experimenten

Gegenstand der Physik ist die reale Welt, deren Gesetzmäßigkeiten in Aufbau und Abläufen erkannt und ergründet werden sollen – durch Beobachten und Experimentieren mit eigenen Augen, eigenen Händen, eigenen Werkzeugen; jedenfalls durch eigene Anstrengung und nicht durch Berufung auf irgendeine Autorität. Nun ist aber diese Welt zu komplex, um sie als Ganzes zu erfassen. In der physikalischen Forschung werden Experimente daher heute in der Regel automatisiert und digitalisiert, um möglichst viele Daten von komplexen Prozessen zu generieren und effizient zu registrieren.

Auch für den Physikunterricht in der Schule gibt es eine Reihe kommerzieller Angebote zur *computergestützten Datenerfassung und deren Auswertung*, die über Sensoren und elektronische Messgeräte das Experiment direkt in Excel-Tabellen, graphische Darstellungen und Ausgleichsgeraden umwandelt.

Bevor man aber computergestützte Datenerfassung und -auswertung im Unterricht einsetzt, sollte man sorgfältig ihren didaktischen Nutzen prüfen:

- Solche Aufbauten tragen nur dann zum Verständnis von physikalischen Methoden und Inhalten bei, wenn sich der eigentliche Messvorgang nicht hinter einer für Schüler undurchschaubaren Hardware verbirgt („black box“).
- „Echte Experimente“ mit ihrem haptischen Erfahrungswert sind vorzuziehen: sie sollten das Messprinzip und die Funktion der benutzten Messgeräte klar erkennen lassen (z.B. die Funktion eines Drehpultmessgerätes oder die unterschiedlichen Innenwiderstände von Spannungs- oder Strommessgeräten). Dies trägt zum Verständnis von Physik wesentlich mehr bei als noch so viele schöne Messwerte und Kurven, von denen man nicht wirklich weiß, woher sie kommen.
- Das schließt keineswegs aus, elektronische Rechenverfahren (z. B. Tabellenkalkulation) überall dort sinnvoll anzuwenden, wo für die Aufbereitung der in Versuchen gewonnenen Messdaten und deren Auswertung gerechnet werden muss.

Physikalische Experimente in der Schule sollten möglichst einfach zu durchschauen und in ihren Abläufen für Schüler leicht nachvollziehbar sein.

4.8.3 Simulationen und Animationen

Ein spezielles Anwendungsfeld für digitale Medien, dem wir neben der Informationsbeschaffung besondere Bedeutung beimessen, ist die Möglichkeit mit geeigneter Software Vorgänge aus Natur und Technik im Computer zu simulieren und auf dem Bildschirm zu präsentieren.

Die Physik hat eine Tradition der Reduktion von komplexen Naturvorgängen auf überschaubare Modelle von Teilbereichen entwickelt und einen

Animationen und Simulationen bieten eine Palette von Möglichkeiten, den konventionellen Unterricht zu ergänzen, zu vertiefen und zu erweitern. Sie erlauben es z. B. an einfachen Modellexperimenten beobachtetes Verhalten um komplexere, realitätsnahe Details zu ergänzen und Parameter systematisch zu variieren.

Animationen eignen sich in besonderem Maße für Themen der modernen Physik, da deren Demonstration die konventionellen Möglichkeiten der Schulen in aller Regel übersteigt.

Schatz von „Gesetzen“ angesammelt, die in aller Regel nur Ausschnitte der Wirklichkeit beschreiben und zudem idealisierende Annahmen machen. Ein Beispiel: Das Gesetz des freien Falls (ohne Reibung) sagt für den als Massenpunkt gedachten Fußball eine Wurfparabel voraus. Bei oberflächlichem Hinsehen wird man das in etwa bestätigt finden, genauere Beobachtung führt aber dazu, Reibung und MAGNUS-Kraft in Betracht zu ziehen, denn anders lassen sich z. B. Bananenflanken nicht verstehen. Im Unterricht wird man zunächst froh sein müssen, den Schülern die einfache Parabel nahezubringen – mit ihrer Abhängigkeit von Anfangsgeschwindigkeit und -richtung. Das kann man in analytischer Strenge tun, doch wenn es „mit Bleistift und Papier“ geschehen soll, vergeht schnell der Spaß. Hier können Animationen und Simulationen das Lernen attraktiv, einprägsam und vertiefend gestalten.

Unter „Animation“ soll im Folgenden das Verwenden bewegter Bilder verstanden werden, etwa das Erzeugen eines dreidimensionalen Eindrucks durch Drehen eines Objekts oder die Modifikation einer Darstellung durch kontinuierliche Variation von Parametern. Als „Simulation“ bezeichnen wir die Durchführung von Computereperimenten an einem Modell der realen Welt, etwa die Illustration eines naturgesetzlichen Zusammenhangs oder das Verfolgen eines dynamischen Vorgangs. Die beiden Begriffe sind nicht streng trennbar und werden häufig synonym verwendet. Das Internet bietet unzählige Applets an, mit denen mehr oder weniger komplexe Sachverhalte quasi spielerisch untersucht werden können. Natürlich darf das Modell einer Simulation nicht ungeprüft für die Realität selbst genommen werden. Aber das Wechselspiel von realem Experiment und dem Versuch seiner Rekonstruktion am Computer hat hohes Potenzial für das eigene Ausprobieren, Spekulieren und Variieren durch die Schüler; es fördert den Wunsch genauer hinzuschauen, Messungen anzustellen, ggf. sogar das Modell selbst abzuändern. Es bietet den Lernenden vielfach mehr Möglichkeiten des eigenen Eingriffs als das reale Experiment im Physikraum.

Das alles gilt unter den Voraussetzungen (a) einer adäquaten Ausstattung mit Computern und Internetzugang für möglichst jeden Schüler, in der Schule wie zu Hause, und (b) einer Vertrautheit der Lehrenden mit dem Einsatz von Simulationen im Unterricht. Beides ist derzeit noch eher die Ausnahme, dürfte aber mit der Entwicklung der Technik und einer darauf reagierenden Aus- oder Fortbildung für das Lehramt bald die Regel sein.

Die Ausstattung des Physikraums einer Schule gibt vor, welche realen Experimente durchgeführt werden können. Diese sollten zunächst behutsam durch Simulationen begleitet werden. Nach und nach stellt sich dann ein Vertrauen in die Modellierung der Natur durch Gesetze ein, sodass dann auch Phänomene diskutiert werden können, die dem Experiment in der Schule nicht zugänglich sind.

So kann man damit faszinierende Phänomene der Quantenmechanik oder der Allgemeinen Relativitätstheorie anschaulich und quasi „auf einen Blick“ visualisieren, deren Rechenmodell den Schulrahmen weit übersteigt. Für den Benutzer entfällt auf jeden Fall der zeitraubende und mühsame rechnerische Aufwand; er kann sich auf das Verständnis der Phänomene und gegebenenfalls der logischen Zusammenhänge und Algorithmen konzentrieren.

Der Physikunterricht muss darüber hinaus eine Reihe von fachtypischen Schwierigkeiten bewältigen, für deren Überwindung Simulationen nützlich sein können:

1. Es gibt eine Reihe physikalischer Phänomene, von denen man in der Schule einfach einmal „gehört haben“ sollte – und zwar so, dass man sich an die damit verbundenen physikalischen Begriffe und ihre Zusammenhänge erinnert – ohne dass ein wirkliches Begreifen und Aneignen erwartet werden kann. Dafür steht ein sehr enger Zeitrahmen zur Verfügung.
2. Nur ein kleiner Teil der Schüler wird später ein naturwissenschafts- oder technisches Studium ergreifen, für das eine vertiefte Kenntnis der physikalischen Grundlagen vorausgesetzt wird. Die meisten werden einen Berufsweg wählen, für den Detailkenntnisse der Physik nicht wichtig sind, wohl aber ein gutes Verständnis des naturwissenschaftlichen Weltbilds.
3. Vertieftes physikalisches Verständnis ist mit der quantitativen, mathematischen Beschreibung der Phänomene verbunden. Die Mathematisierung erschwert für viele Schüler den Zugang so sehr, dass sie es bereits früh ablehnen, sich für Physik näher zu interessieren und ein späteres MINT-Studium damit weitgehend ausschließen.

Animationen und Simulationen ermöglichen einen einfachen Zugang zu binnendifferenziertem Unterricht, der dem Verständnisniveau verschiedener Schülergruppen angepasst ist.

Computersimulationen sind ein geeignetes Mittel, um binnendifferenziert und mit vielfältigen Methoden zu unterrichten. Dabei steht im Vordergrund der Anwendung eine Visualisierung der behandelten Phänomene, verbunden mit der Möglichkeit unter Variation von Parametern unterschiedliche Randbedingungen zu setzen und so eine ganze Familie von verwandten Erscheinungen zusammenhängend zu erfassen.

Es darf freilich nicht dahin kommen, dass die Simulation das elementare Erleben der realen Welt verdrängt. Und es sollte Wert darauf gelegt werden, dass auch bei solchen Lehrangeboten dem eigenen Tun der Schüler eine wichtige Rolle zukommt: sie sollten innerhalb der Applikation auf Entdeckungsreisen gehen können, indem sie Parameter variieren, Animationen starten, Bilder drehen. Idealerweise sollte das Medium den Nutzern (zumindest den Lehrern) erlauben, nach Bedarf und Interesse eigene Apps herzustellen. Diese Möglichkeit besteht z. B. bei den Simulationen im englischsprachigen *Open Source Physics Programme* ESQUEMBRE (2014), die allerdings für ein College-Niveau entwickelt wurden. Das Buch von RÖSS (2011) demonstriert für das Fach Mathematik, wie damit eigene Anwendungen entwickelt werden können. Die Plattform GeoGebra von HOHENWARTER (2009) wurde dagegen von Anfang an für den Schulunterricht entwickelt und hat sich für den Mathematikunterricht bereits in vielen Ländern und Landessprachen durchgesetzt GEOGEBRA TEAM (2014b,a). Auch für den Physikunterricht haben viele Lehrer bereits Beiträge geliefert.

Auch bei Lehrangeboten mit Simulationen muss dem eigenen Tun der Schüler eine wichtige Rolle zukommen. Auch darf das Erleben der realen Welt nicht durch Simulation verdrängt werden.

Auch hier gilt das, was schon zu Ende von Abschn. 4.8.3 gesagt wurde: Dringend gebraucht wird eine wegweisende, geordnete Übersicht über die schier unüberschaubare Angebotsvielfalt.

Speziell für den Schulgebrauch gibt es inzwischen wertvolle Handreichungen. Wir verweisen beispielhaft auf ein ganzes, diesem Thema

gewidmetes Heft der Zeitschrift „Unterricht Physik“, und dort insbes. auf den einführenden Artikel von [GIRWIDZ \(2013\)](#), der die wichtigsten Informationen für Einsteiger liefert.

Die Auswahl geeigneter Simulationen für den Physikunterricht erfordert einige Sorgfalt. [RICHTBERG et al. \(2013\)](#) kommunizieren in dem besagten Themenheft einen Kriterienkatalog, der für die Schulpraxis sehr hilfreich sein dürfte. Wir haben diese Liste von Auswahlkriterien in [Anhang J.1](#) übernommen.

Es gibt einige nützliche Handreichungen und Kriterien für die Auswahl geeigneter Simulationen für den Physikunterricht in der Schule. Das Angebot ist allerdings sehr groß, unübersichtlich und ändert sich rasch.

Diese Kriterien können helfen, Angebote für Simulationen im Internet sinnvoll zu bewerten und zielgerecht für den Physikunterricht einzusetzen. Links zu wichtigen Sammlungen im Internet nach [RICHTBERG et al. \(2013\)](#) haben wir im [Anhang, Tab. J.1](#), dieser Studie reproduziert. Allerdings entwickelt sich das Feld extrem schnell, und solche Angebote veralten rasch. Vertiefte Informationen erhält man im Buch von [RÖSS \(2011\)](#). Mit diesen Quellen und weiteren, welche der Interessierte im Netz rasch auffinden kann, dürften sich praktisch alle in [Tab. B.1](#) im Anhang aufgeführten Themenfelder der Schulphysik für eine Simulation erschließen; meist kann man dabei auf Algorithmen aus bereits existierenden Simulationen aufbauen.

4.9 Begabtenförderung

*„**Begabung** ist eine Dimension, die sich aus dem Zusammenspiel von Kultur und Natur, Disposition und Lernen, individueller Anstrengung und pädagogischer Förderung aufbaut. **Individualisierung**, nicht **Egalisierung** ist dafür die Leitlinie. – **Gleichheit**, die gesellschaftliche Prämisse für diese Arbeit, tritt aber ergänzend, wenn auch spannungsreich, als Kriterium hinzu. [...] Der Prozess obligatorischen schulischen Lernens soll [...] einerseits für alle Heranwachsenden zu Ergebnissen führen, die ihnen die selbständige Teilhabe an Gesellschaft und Kultur ermöglichen, und er soll zugleich einen Mindeststandard an kultureller Gemeinsamkeit, die **Basisfähigkeiten** sichern, auf die alle Gesellschaften angewiesen sind – das ist die Idee der grundlegenden Allgemeinbildung [...]“ ([KLIEME et al., 2006](#), S. 59.).*

Dieser ‚spannungsreiche‘ Gegensatz zwischen dem Anspruch auf *Individualisierung* und der Prämisse der *Gleichheit* wirkt sich gerade für den Physikunterricht besonders gravierend aus: Wie wir in [Abschn. 4.3](#) gesehen haben, gehört Physik einerseits bei vielen Jugendlichen zu den unbeliebtesten Fächern. Andererseits gibt es immer wieder Schüler, die sich besonders gerne mit Physik befassen, die also eine besondere Neigung, Begabung oder Talent¹⁴ dafür haben. Typischerweise erleben diese dann auch Erfolge, sie verstehen schneller, können besser assoziieren, erwerben rasch einen gewissen Erfahrungsschatz – was wiederum zur Förderung ihrer Begabung und ihres Talents für eben diese Fragen und Themen beiträgt.

Es ist also von zentraler Bedeutung, im obigen Sinne vertiefte physikalische Allgemeinbildung für *alle* Schüler zu vermitteln, nicht zuletzt weil Grundkompetenzen in diesem Fach für die „selbständige Teilhabe an

¹⁴Wie im aktuellen pädagogischen (deutschen) Sprachgebrauch üblich verwenden wir die beiden Begriffe praktisch synonym ([STAMM, 2014](#), S. 12 und 23).

Gesellschaft und Kultur“ heute immer wichtiger werden (man denke nur an Themen wie Energie, Klima, Umwelt, Medizintechnik).

Es ist aber auch Aufgabe der Schulen, die besonders Interessierten, Leistungsfähigen und Leistungsbereiten unter den Heranwachsenden zu erkennen, zu fördern und ihnen entsprechende Angebote zu machen, die ihnen dabei helfen, ihre individuellen Begabungen optimal zu entwickeln.

Diese Begabtenförderung muss im Unterricht, aber auch in Angeboten der Schulen außerhalb des Unterrichts ihren angemessenen Platz finden – sie kann aber auf externe Angebote nicht verzichten, welche die schulischen Aktivitäten wirkungsvoll ergänzen.

Binnendifferenzierter Unterricht, welcher den je individuellen Fähigkeiten aller Schüler gerecht werden kann, sollte (nicht nur aus diesem Grund) eine wichtige Rolle in der Lehreraus- und -fortbildung spielen. Angesichts der weiter zunehmenden Heterogenität der Lerngruppen und der zu vermittelnden Stofffülle kann er aber nur in sehr beschränktem Umfang zur Begabtenförderung beitragen.

Von großer Bedeutung sind außerunterrichtliche Angebote der Schulen, wobei sich in der Regel Lerngruppen mit sehr viel homogeneren Interessens- und Leistungsstrukturen bilden. Auch fördern solche Zusatzangebote bei den Jugendlichen die Wahrnehmung *ihrer Schule* als Lebensraum. Häufig gelingt es den Schulen gerade auf diese Weise, ihren Absolventen etwas Bleibendes für ihr weiteres Leben „auf den Weg zu geben“.

Die bereits mehrfach erwähnte DPG-Studie HEISE *et al.* (2014) hat allerdings gezeigt, dass es im Fach Physik lediglich an gut der Hälfte der Schulen außerunterrichtliche Zusatzangebote gibt. Natürlich können diese nicht allein auf der Grundlage von Idealismus erwartet werden, denn sie fordern die beteiligten Lehrkräfte in besonderem Maße. Dieses Engagement sollte selbstverständlich auf das Lehrdeputat angerechnet werden – was der Umfrage zufolge aber keineswegs immer der Fall ist.

Andererseits wurden fehlende Lehrkapazitäten bei der o.g. Studie nur selten für ein Fehlen von Zusatzangeboten verantwortlich gemacht. Es mangelt wohl eher an Informationen und Anregungen für geeignete Angebote außerhalb des eigentlichen Unterrichts. Sicher wäre es hilfreich, wenn die jeweils zuständigen Landesbehörden gute Beispiele von Zusatzangeboten in angemessener Weise würdigen und in ihrem Zuständigkeitsbereich bekannt machen würden.

Neben dem, was die Schulen zu leisten im Stande sind, kommt gerade im Bereich Begabtenförderung externen Anbietern eine große Bedeutung zu (z. B. Wettbewerbe, Sommerakademien, Ferienlager, Schüleruniversitäten, Frühstudium, Fördervereine). Wichtig dabei ist es, dass eine solche Begabtenförderung wenig Erfolg verspricht, wenn sie lediglich punktuell im Rahmen isolierter Aktionen von kurzer Dauer stattfindet. Positiv wirken Aktivitäten von mehrtägiger Dauer oder mit regelmäßig wiederkehrenden Terminen. Beispielhaft seien Initiativen wie [Light up your life](#) oder die Angebote des nationalen Excellence-Schulnetzwerks [MINT-EC](#) für seine Netzwerkschulen genannt.¹⁵

Binnendifferenzierung des Physikunterrichts kann nur in begrenztem Maß wirkungs- volle Begabtenförderung leisten. Daher sind entsprechende schulische Angebote außerhalb des regulären Unterrichts ebenso unverzichtbar wie die Unterstützung durch externe, qualitativ hochwertige Angebote.

¹⁵Die DPG ist Mitglied dieses Netzwerks

Viele Hochschulen bieten ein sogenanntes *Frühstudium* für besonders begabte Schüler an. Bereits während der Schulzeit wird dabei die Möglichkeit eröffnet, Studien- und Prüfungsleistungen der ersten Semester abzulegen, die bei einem späteren Studium angerechnet werden.

Umfassende Information über eine Vielfalt von Angeboten für die Begabtenförderung geben z.B. der sogenannte **Begabungslotse** von **KMK**, **BMBF** und Stifterverband wie auch das **KARG Fachportal Hochbegabung**.

Ein vergleichsweise einfach aufzugreifendes und zugleich sehr hochwertiges Instrument der Begabtenförderung sind Schülerwettbewerbe. Für die Physik sind hier beispielsweise **Jugend forscht** und für die Jüngeren **Schüler experimentieren**, der **bundesweite Wettbewerb Physik** des **MNU** und die **internationale Physikolympiade** zu nennen. Darüber hinaus werden oftmals auch auf der Ebene der Bundesländer Wettbewerbe angeboten.

Diese Wettbewerbe werden häufig auch durch die *Schülerforschungszentren* unterstützt, die es in allen Bundesländern gibt. Sie bieten begabten und an der Forschung interessierten Jugendlichen die Chance, außerhalb des Schulalltags nach Herzenslust im Bereich der **MINT**-Fächer zu forschen, ihre Fähigkeiten zu entdecken und weiterzuentwickeln.

Nicht unerwähnt bleiben darf hier das von der **DPG** organisierte und von der HERAEUS-Stiftung unterstützte **German Young Physicists' Tournament**, **GYPT** sowie das darauf aufbauende **International Young Physicists' Tournament**, **IYPT**, der ‚Physics World Cup‘ – auch wenn davon nur eine recht kleine Gruppe von ganz besonders motivierten und talentierten Schülern angesprochen wird. Immerhin sind daran 10 Schulen und Schülerzentren aus mehreren Bundesländern beteiligt. Besonders bemerkenswert: Zur ‚Deutschen Nationalmannschaft‘ 2015 gehören 4 Mädchen und 1 Junge.

Auch hierfür ist ein großes Engagement der Physiklehrer und der Schulen erforderlich: Erfahrungen zeigen, wie man es erwarten sollte, dass die Teilnehmerzahl an solchen Wettbewerben dort deutlich steigt, wo die Schulen im Rahmen von Arbeitsgruppen oder Schülerwerkstätten dafür Arbeitsmöglichkeiten und Lehrkräfte als Ansprechpartner bieten. Solche Fördermaßnahmen müssen verstärkt werden und können – wie bereits dargelegt – nicht allein als Zusatzbelastung auf dem Idealismus der Lehrkräfte basieren. Sie müssen entsprechend anerkannt und honoriert werden.

Auch für die Schüler ist es wichtig, dass ihr Engagement bei solchen Wettbewerben Anerkennung erfährt, und zwar im Rahmen der schulischen Leistungsbewertung. Sie demonstrieren dadurch nicht nur außergewöhnliches Interesse am Fach Physik, sondern in der Regel auch großen Ideenreichtum, Lernbereitschaft sowie überdurchschnittliche Fähigkeiten und investieren ein erhebliches Maß an Arbeit weit über die normalen schulischen Verpflichtungen hinaus. Eine entsprechende Würdigung bei der schulischen Leistungsbewertung sollte selbstverständlich sein und würde ohne Zweifel die Motivation zur Beteiligung stärken.

Für die Sekundarstufe I hat die **KMK** bereits **2012** eine Empfehlung zur Anerkennung außerschulischer Leistungen verabschiedet, welche die besondere Bedeutung solcher Lernangebote und deren Nutzung unterstreicht. Darin heißt es u.a.:

Regionale, nationale und internationale Physikwettbewerbe sind ein vorzügliches Instrument für die Begabtenförderung. Sie erfordern aber ein starkes, unterstützendes Engagement der Schulen und der Lehrkräfte.

Die Zusatzleistungen, welche die Lehrkräfte im Rahmen der Betreuung solcher Wettbewerbe erbringen, müssen honoriert werden.

Im Rahmen der schulischen Bildungsprozesse können außerunterrichtliche Aktivitäten und außerunterrichtliches Engagement anerkannt werden, wenn mit der Aktivität bzw. dem Engagement eine Lernleistung nachgewiesen wird. [...] Die Länder entscheiden im Rahmen ihrer eigenen bildungspolitischen Verantwortung darüber, in welcher Form sie eine außerunterrichtlich erbrachte Lernleistung anerkennen. [...] Die folgenden drei Formen beschreiben unterschiedliche qualitative Anforderungen an die Lernleistung und damit auch unterschiedliche weitreichende Möglichkeiten einer Anerkennung der Lernleistung:

- (1) Anerkennung als eigenständige Note (einer Fachnote gleichgestellt)*
- (2) Anerkennung als Teilleistung im Rahmen einer Fachnote*
- (3) Anerkennung in Form einer Beilage zum Zeugnis oder als Ergänzung zum Zeugnis*

Offenbar gibt es aber bislang dafür keine allgemein gültigen und öffentlich kommunizierten Verordnungen der Bundesländer. Vielfach lassen sich Hinweise darauf finden, dass Schulen die Anerkennung (bzw. Nicht-Anerkennung) intern regeln. Dafür nutzen sie unterschiedliche Möglichkeiten, wie die positive Berücksichtigung bei der Notengebung, Vermerke auf Zeugnissen oder die Anerkennung des Wettbewerbs als Ersatzleistung für eine andere Anforderung des jeweiligen Unterrichtsfachs.

Für die Sekundarstufe II besteht dagegen in allen 16 Bundesländern die Möglichkeit, „besondere Lernleistungen“ als Teil der Abiturprüfungen einzubringen. Externe Wettbewerbe, Seminare oder andere wissenschaftspropädeutische Arbeiten können anerkannt werden, sofern sie einen Bearbeitungsumfang von mindestens zwei Semestern aufweisen, eine Zuordnung zu einem Schulfach möglich ist, in dem die Bewertung erfolgen kann, und das Niveau der Lernleistung den Anforderungen der **Sek II** entspricht. Bei Wettbewerben gilt hier insbesondere, dass ein Weiterkommen in eine zweite Auswahlrunde in der Altersklasse genügt, um ein gehobenes Niveau zu sichern. Für die besondere Lernleistung muss in der Regel eine schriftliche Ausarbeitung eingereicht werden, die anschließend in einem 30-minütigen Kolloquium verteidigt wird.

In **Anhang K** geben wir eine Übersicht über die derzeit geltenden Regelungen für die Anerkennung besonderer Lernleistungen in den Bundesländern, soweit die entsprechenden Verordnungen öffentlich zugänglich sind.

Auch bei den Schülern steigt die Motivation zur Teilnahme an Wettbewerben, wenn diese bei der schulischen Leistungsbewertung angemessen berücksichtigt werden. Die Regeln hierfür sind aber uneinheitlich oder zumindest nicht hinreichend allgemein bekannt.

4.10 Empfehlungen für den Physikunterricht

In diesem vierten und abschließenden Kapitel der Studie haben wir Handlungsfelder für den Physikunterricht aufgezeigt und dabei pädagogische, didaktische, methodische und psychologische Gesichtspunkte angesprochen. Wir fassen dies in den nachfolgenden Empfehlungen zusammen:

1. **Interessante, motivierende und alltagsnahe Kontexte sollten regelmäßig in den Physikunterricht integriert werden**, um **kumulatives**, nachhaltiges Lernen zu unterstützen. Ein physikalischer Sachverhalt (Phänomen, Begriff, Gesetz) sollte aber nur dann anhand eines Kontextes veranschaulicht werden, wenn er sich auf diese Weise besonders gut erschließt. Kontexte aus der realen Welt dürfen nicht lediglich als Unterrichtseinstieg dienen. Sie sind meist sehr komplex, müssen daher modellhaft vereinfacht und so für die physikalische Betrachtung zugänglich gemacht werden. Dies muss gemeinsam mit den Schülern reflektiert werden.
2. Eine explizite Behandlung der **Natur der Naturwissenschaften (NOS)** erlaubt es, den **Physikunterricht transparenter zu gestalten**. **NOS** sollte dabei die Besonderheiten des physikalischen Wissens reflektieren, einschließlich historischer Entwicklungen, und charakteristische Methoden wie auch soziale Aspekte der Physik verdeutlichen. Die Schüler erleben dadurch eine andere Perspektive und können so Fachinhalte über **NOS** neu miteinander vernetzen.
3. **Mangelndes Interesse der Schüler am Fach Physik ist ein überdauerndes Problem. Es bedarf besonderer Anstrengungen, um überwunden zu werden.** Schülernahe Kontexte erlauben es den Schülern, an ihr Vorwissen aus der Alltagserfahrung anzuknüpfen und stärken nachweislich das Interesse an der Physik. Schüler sollten erfahren, warum Physik für sie wichtig sein kann. Aus lernpsychologischer Sicht sollte der Physikunterricht gerade für die Schüler, die sich für unbegabt halten, möglichst viele Gelegenheiten für Erfolgserlebnisse verschaffen. Auch am Image der Physiker als kreative und sozial kompetente Menschen muss gearbeitet werden.
4. **Physiklehrer und Physiklehrerinnen sollten sensibel einer strukturellen Benachteiligung von Mädchen in den MINT-Fächern entgegenwirken.** Mädchengerechte Kontexte (die erfahrungsgemäß keinen Interessenabfall bei den Jungen hervorrufen) und positives Feedback sind einfache und wirksame Strategien gegen den Interessenabfall bei Mädchen. Ziel muss es sein, mehr Mädchen für die Physik in der Oberstufe zu gewinnen, und den Anteil von Frauen in natur- und ingenieurwissenschaftlichen Berufen zu steigern. In [Anhang G.3](#) finden sich zu dieser Thematik zahlreiche weitere Anregungen für die Unterrichtspraxis.
5. **Anstatt sich an standardisierten Aufgabentypen abzuarbeiten, sollten Schüler es (wieder) lernen, physikalische Probleme zu lösen.** Die Aufgabenkultur im Unterricht muss vielfältiger und problemorientierter werden, binnendifferenzierte Lösungswege ermöglichen und so auch der Leistungsheterogenität der Schüler begegnen. Die zu vermittelnde Stofffülle muss drastisch verringert und das erwartete Leistungsniveau erheblich reduziert werden.

6. **Alternative Unterrichtsdrehbücher** können der oft beklagten Monotonie des Ablaufs von Physikstunden entgegenwirken. Wechselnde Unterrichtsmethoden und Sozialformen stimulieren Interesse und fördern Spontaneität wie auch anregende Diskussionen. Neu eingeführtes **Fachvokabular muss an das Vorwissen der Schüler anknüpfen** und in physikalisch korrekter Form wieder und wieder im Unterricht vertieft werden. Nur so können physikalische Zusammenhänge überhaupt erst verstanden werden.
7. Es gehört zum **Bildungsauftrag der Schule, die Heranwachsenden zu lehren, wie man (ein Leben lang) lernt**. Die Vermittlung von anschlussfähiger Lernkompetenz und grundlegendem *Verständnis* physikalischer Denkweisen, Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhänge **hat daher Priorität vor der reinen Wissensvermittlung**. Zumal die Anhäufung „trägen Wissens“ im digitalen Zeitalter ihre Berechtigung mehr und mehr verliert.
8. **Experimentieren gehört zum Kernbestand des Physikunterrichts**. Aber das Experiment ist kein Wundermittel, das *per se* guten Physikunterricht garantiert. In Kombination mit gründlicher Vor- und Nachbereitung unterstützt das Experimentieren aber auf besonders einprägsame Weise den *Kompetenzerwerb* in den Bereichen Erkenntnisgewinnung, Bewertung (kritische Datenanalyse, Messunsicherheiten) und Kommunikation (Präsentation der Ergebnisse).
9. **Mathematik ist unverzichtbar für die Physik. Für die Schule gilt jedoch: So viel wie nötig, aber so wenig wie möglich**. Viele physikalische Phänomene können und sollten ohne streng mathematische Formulierungen verstanden und vermittelt werden, insbes. in der **Sek I**. An besonders ausgewählten Beispielen sollte freilich die Leistungsfähigkeit der Mathematik für Analyse und Vorhersagen von Beobachtungen demonstriert werden – aufbauend auf bereits vorhandenen mathematischen Kenntnissen der Schüler. In der **Sek II** wird eine strengere Mathematisierung im Physikunterricht zunehmend sinnvoll.
10. **Auch der Physikunterricht muss Kompetenzen vermitteln, die einen reflektierten, kritischen und effizienten Umgang mit digitalen Medien und mit dem Internet ermöglichen**. Denn viele Jugendliche verbringen einen Großteil ihrer Freizeit in der digitalen Welt. Diese Lebenswirklichkeit darf die Schule nicht außer Acht lassen.
11. **Simulationen und Animationen bieten wertvolle Unterstützung für einen modernen Physikunterricht, können das Experiment bzw. die Realität aber nicht ersetzen**. Die große, stetig wachsende Fülle von Angeboten an entsprechender Software im Internet und bei kommerziellen Anbietern erfordert erhebliche Kompetenz und großes Engagement bei den Lehrkräften. **Eine zentrale Plattform**, welche speziell für den Physikunterricht diese Angebote laufend evaluiert und entsprechend kommuniziert, wäre für die Physiklehrkräfte von außerordentlichem Wert bei der effizienten Gestaltung ihres Unterrichts.
12. Es gehört auch zum Bildungsauftrag der Schule, **besondere Begabungen und Neigungen** (hier für das Fach Physik) **zu erkennen und zu fördern**. Überwiegend wird diese Förderung im Rahmen von Aktivitäten außerhalb des regulären Fachunterrichts erfolgen (z. B. Wettbewerbe), welche die Lehrkräfte unterstützen sollten. Solches Engagement (von Lehrern und Schülern) sollte in viel stärkerem Maße als bislang erkennbar kommuniziert und gewürdigt werden.

Schlussbemerkungen

Die hier vorgelegte Studie „Physik in der Schule“ der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) führt die im Frühjahr 2014 veröffentlichten Empfehlungen „Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik“ in konsequenter Weise weiter: Die jetzige Studie reflektiert die Bedeutung und den Stellenwert des Schulfachs Physik. Sie untersucht die aktuellen Rahmenbedingungen, Probleme und Chancen für die Physik in den allgemeinbildenden Schulen der 16 Bundesländer Deutschlands und stellt ein neues, fachlich kohärentes Konzept für die Auswahl und Strukturierung der Inhalte des Schulfachs Physik vor. Es soll für die Schüler physikalische Kernideen in transparenter Weise als „roten Faden“ erkennbar machen, der sie durch eine große Fülle von Fakten und Begriffen zur Beschreibung der Natur führt. Dabei sollen sie auch die Bedeutung der Physik für unsere Welt wie auch für ihr ganz persönliches Alltagsleben erfahren. Schließlich gibt die Studie zahlreiche Hinweise und Empfehlungen, die Lehrenden bei der Gestaltung ihres Physikunterrichts helfen mögen – auch dies eine Zielvorstellung, deren Sinnhaftigkeit sich in den kommenden Jahren hoffentlich erweisen wird.

Die deutsche Physikalische Gesellschaft ist zuversichtlich, dass die hier vorgestellten Überlegungen und Konzepte Eingang in die Planungen und konkreten Überlegungen bei der *Neugestaltung von Physiklehrplänen in allen Bundesländern* finden werden und so die Basis für einen attraktiveren, zukunftsweisenden und innerhalb der Bundesrepublik weitgehend kompatiblen Physikunterricht bilden können. Wir sind uns bewusst, dass dies nur in einem konzentrierten, sich über mehrere Jahre erstreckenden Prozess realisierbar sein wird – ein Prozess der sich sowohl „Bottom up“ entwickeln muss, aber auch „Top-Down“ koordiniert werden sollte. Dabei wird es verschiedene Iterationsschleifen geben, die in Erprobungsphasen zu einer schrittweisen Optimierung der vorgeschlagenen Konzepte führen sollten.

Ein besonders dringender Wunsch ist es, dass diese curricularen Entwicklungsprozesse möglichst transparent und unter Einbeziehung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft erfolgen mögen, zugleich aber auch eine breitere, sach- und fachkundige Öffentlichkeit, insbesondere aus dem Kreis der praktizierenden Physiklehrer einschließen.

Wir wollen diese Empfehlungen beschließen – ebenso wie wir dies bei der Lehramtsstudie getan haben – mit einigen übergeordneten Gesichtspunkten und Motiven, die uns auch bei der Erstellung dieser Studie geleitet haben.

Sie wurden bereits 2001 in einer „DPG-Denkschrift Physik“ (DPG, 2001) formuliert, und mögen als Grundprinzipien und Motto auch für den Unterricht im Schulfach Physik 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 entsteht kein neues Wissen, und ohne neues Wissen verkümmern Kultur und Zivilisation. 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.“

Die einleitenden **drei Thesen der Denkschrift** fokussieren auf die folgenden Kernaussagen:

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

Die Physik ist darum bemüht, das Geschehen in Natur und Technik verständlich zu machen, den Ablauf des Geschehens auf allgemeingültige Gesetze – die Naturgesetze – zurückzuführen, die Wirkung des Zufalls in seiner eigenen Gesetzlichkeit auf den Ablauf des Geschehens zu erkennen. [..] 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 der naturgesetzlichen Ordnung, an jedem Ort und zu jeder Zeit, unser volles Vertrauen schenken. Wir müssen in allem, was wir tun und planen, auf diese Ordnung aufbauen. Das ist die Botschaft.[..]“

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

[..] Für viele nichtphysikalische Disziplinen (z. B. Mathematik, Chemie, Biologie, Medizin, Technik- und Ingenieurwissenschaften) sind solide physikalische Grundkenntnisse unabdingbar. Selbst für Gebiete wie die Philosophie, die Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie, die Wirtschaft- und Finanzwissenschaften ist die Kenntnis physikalischer Arbeitsweisen und Begriffsbildungen von grundsätzlicher Bedeutung.

Wir halten es daher für unverzichtbar, dass Grundkenntnisse von der Natur in angemessener Form einem weiten Bevölkerungskreis angeboten und vermittelt werden. [..]

Die breite Vermittlung von grundlegendem physikalischen Verständnis kann nur die allgemeinbildende Schule leisten. Sie ist für viele junge Mitbürger der einzige Ort, an dem sie sich mit physikalischen Fragestellungen auseinandersetzen können. Der Unterricht im Fach Physik muss in schülernaher Form so früh wie möglich, spätestens jedoch im sechsten oder siebenten Schuljahr beginnen und in allen folgenden Jahrgangsstufen der allgemeinbildenden Schulen angeboten werden [..]“

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

[..] einerseits ermöglicht es physikalische Forschung, die Welt besser zu verstehen und neue Vorstellungen von der Welt zu gewinnen, andererseits erlaubt sie uns, neue Techniken zu entwickeln. Mit der Technik hat sich der Mensch seine tägliche Arbeit erleichtert, sie hat im ein erträgliches und lebenswertes Leben ermöglicht. Wir müssen uns allerdings bewusst dessen bewusst sein, dass die Technik auch zu Tod und Vernichtung missbraucht werden kann und bis in die jüngste Zeit in Kriegen und Terroranschlägen missbraucht worden ist. [..]

Wissenschaftler, vor allem Naturwissenschaftler, darunter auch Physiker, stehen auf Grund ihrer Kenntnisse und Einsichten in ganz besonderer Weise in der Verantwortung für viele Aspekte des menschlichen Lebens. Das gilt ganz besonders für die Bewahrung der Natur und unserer Umwelt für künftige Generationen. Sie setzen sich ein für Toleranz, Wahrhaftigkeit und die Würde in der Wissenschaft und bekämpfen ihren vorsätzlichen Missbrauch.[..]

Wissenschaftler und somit auch Physiker sind aufgefordert, immer wieder zu prüfen, ob ihre Forschung mit ihrem Gewissen und der Verfassung vereinbar sind. [..] Physiker haben immer wieder öffentlich und unüberhörbar – auch gegen die vorherrschende Meinung – die drohenden Gefahren deutlich gemacht, die in der technischen und militärischen Nutzung naturwissenschaftlicher Forschungsergebnisse liegen.“

Diesen Grundprinzipien sind sowohl die Lehramtsausbildung an den Hochschulen wie auch der Unterricht an den allgemeinbildenden Schulen verpflichtet. Die hier vorgelegte Studie versucht, Wege aufzuzeigen, wie sie den Physikunterricht in der Schule mit Leben erfüllen können.

Anhänge

Verweis auf Online-Dokumente

Die Studie „*Physik in der Schule*“ kann unter <https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien.html> als vier separate Dokumente aus dem Internet heruntergeladen werden. Dazu gehören der „*Hauptteil*“, die „*Anlage Basiskonzepte*“ und die „*Zusammenfassung*“.

Auch die in diesen Dokumenten zitierten „*Anhänge*“ mit vielen Detailinformationen und Ergänzungen zu dieser Studie können dort heruntergeladen werden. Wenn alle Dokumente im gleichen Ordner abgelegt werden, sind sie elektronisch untereinander verlinkt.

In der gedruckten Fassung von „*Physik in der Schule*“ werden „*Hauptteil*“ und „*Anlage Basiskonzepte*“ in einem Band veröffentlicht.

Auf den nächsten Seiten folgen hier lediglich *Akronyme und Glossar* sowie das *Quellenverzeichnis für den Hauptteil*.

Akronyme und Glossar

additiv: ‘man unterscheidet kumulatives und additives Lernen’, beim kumulativen Lernen wird an vorhandenes Vorwissen angeknüpft und damit ein auf Zusammenhänge basierendes, vertieftes Verständnis erreicht; beim additiven Lernen werden solche Zusammenhänge nicht genutzt, es wird „Inselwissen“ gesammelt.

ALPEN: ‘Aufgaben, Termine und geplante Aktivitäten notieren – Länge abschätzen – Pufferzeiten einplanen – Entscheidungen treffen – Nachkontrolle’, Methode zum individuellen Zeitmanagement; sie impliziert unter anderem, dass 40% der verfügbaren Zeit als Zeitpuffer reserviert werden – jeweils zur Hälfte für unerwartete bzw. spontane Aktivitäten (siehe z.B. <http://de.wikipedia.org/wiki/ALPEN-Methode>).

Best Practice: ‘Mustergültiges Vorgehen’, Nach [Wikipedia](#) stammt der Begriff aus der Betriebswirtschaftslehre und bedeutet, „dass ein bestimmtes Vorgehen allgemein als die sinnvollste Alternative anerkannt ist – man könnte auch von einem De-facto-Standard sprechen“.

BLK: ‘Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung’, bis Ende 2007 <http://www.blk-bonn.de/>; ab 2008 [GWK](#).

BMBF: ‘Bundesministerium für Bildung und Forschung’.

CPD: ‘Continuing professional development’, kontinuierliche, berufliche Weiterentwicklung – zeitgemäße Ausprägung des klassischen Fort- und Weiterbildungsgedankens; hier speziell auf die traditionelle „Lehrerfortbildung“ bezogen.

DPG: ‘Deutsche Physikalische Gesellschaft’, Physikalische Fachgesellschaft in Deutschland, <http://dpg-physik.de>.

G8: ‘Achtjähriges Gymnasium (verkürzter Bildungsgang)’.

G9: ‘Neunjähriges Gymnasium’.

GDNÄ: ‘Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte’, <http://www.gdnae.de/>.

GK: ‘Grundkurs’, einfaches Anforderungsniveau in der **Sek II**.

GWK: ‘Gemeinsame Wissenschaftskonferenz’, des Bundes und der Länder, seit 2008 <http://www.gwk-bonn.de/>; vorher **BLK**.

ICILS 2013: ‘International Computer and Information Literacy Study’, **Bos et al. (2014)**.

IOP: ‘Institute of Physics’, britisches Pendant zur **DPG**, zugleich aber auch Verlagshaus <http://www.iop.org>; beschreibt sich selbst als „a leading scientific society“.

IPN: ‘Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften’, Leibniz-Institut an der Universität Kiel.

IQB: ‘Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen’, ist eine wissenschaftliche Einrichtung der Länder an der Humboldt-Universität zu Berlin, das die Länder in der Bundesrepublik Deutschland bei der Qualitätsentwicklung und Qualitätssicherung im allgemeinbildenden Schulsystem unterstützt, <https://www.iqb.hu-berlin.de/>.

IT: ‘Informationstechnik’, englisch: Information Technology.

Jg.: ‘Jahrgang’, auch Jahrgangsstufe.

Jgg.: ‘Jahrgänge’, auch Jahrgangsstufen.

KMK: ‘Kultusministerkonferenz’, oder etwas genauer: Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, mit Sitz in Berlin und Bonn, <http://www.kmk.org/>.

kumulativ: ‘man unterscheidet kumulatives und additives lernen’, beim kumulativen Lernen wird an vorhandenes Vorwissen angeknüpft und damit ein auf Zusammenhänge basierendes, vertieftes Verständnis erreicht; beim additiven Lernen werden solche Zusammenhänge nicht genutzt, es wird „Inselwissen“ gesammelt.

LK: ‘Leistungskurs’, erhöhtes Anforderungsniveau in der **Sek II**.

LMS: ‘Learning Management System’, Lernplattform – Online Hilfe für Schule und Hochschule.

MINT: ‘Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik’, im deutschen Sprachraum übliche Abkürzung für diese Fächer, insbes. im Kontext Erziehung; im Angelsächsischen Sprachraum: Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) education.

MNU: ‘Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts’, Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e.V., <http://www.mnu.de/>.

MSA: ‘Mittlerer Schulabschluss’, in der Regel nach 10 Schuljahren am Ende der **Sek I**.

NOS: ‘Nature of Science’, Natur der Naturwissenschaft – Wissen über die Naturwissenschaften, siehe **Thema NOS in Kap. 4.2** des Hauptdokuments und **Anhang G.2**.

nWStd: ‘Nominale Zahl der Wochenstunden’, Unterrichtsstunden Physik pro Woche, ggf. summiert über die Schuljahre in der **Sek I** bzw. **Sek II** – laut Stundentafeln der Schulverwaltungen in den Ländern (s. **Anhang A**).

OECD: ‘The Organisation for Economic Co-operation and Development’, fördert politische Strategien, welche die „ökonomische und soziale Wohlfahrt der Menschen auf der gesamten Welt verbessern“; <http://www.oecd.org>.

periodisch: 'sich kontinuierlich wiederholend', in Zeit oder Raum; die *Periode* gibt den zeitlichen Abstand zwischen zwei gleichen Zuständen des Systems an, die Wellenlänge den entsprechenden örtlichen Abstand.

PISA: 'Programme for International Student Assessment', Schulstudien der OECD; <http://www.oecd.org/berlin/themen/pisa-internationaleschulleistungstudiederoced.htm>.

POE: 'Predict-Observe-Explain-Verfahren', Verfahren u.a. zum Verständnis von Schülervorstellungen (WHITE und GUNSTONE, 1992).

ROSE: 'Relevance Of Science Education', ROSE project: eine Studie, die weltweit die Haltung von 15 jährigen Mädchen und Jungen zur Bedeutung und Wirkung von Naturwissenschaft und Technik untersucht hat.

Scientific Literacy: 'im wörtlichen Sinn: Fähigkeit zum Lesen naturwissenschaftlicher Texte', 'Scientific literacy' befähigt Menschen, naturwissenschaftliche Prinzipien und Prozesse zu benutzen, um persönliche Entscheidungen zu treffen und an wissenschaftlichen Diskussionen teilzunehmen, die die Gesellschaft beeinflussen (THE NATIONAL ACADEMIES, 1996, S. ix).

Sek I: 'Sekundarstufe I', in dieser Studie zählen wir dazu die Jgg. 5 bis 10, die (zumindest teilweise) in einer weiterführenden Schule durchlaufen werden; je nach Bundesland und Schulform, können die Jgg. 5 und 6 auch in der Grundschule angesiedelt sein; Jg. 10 wird bei G8 in den meisten Bundesländern formell zur Sek II gerechnet; der Mittlere Schulabschluss (MSA) bzw. Realschulabschluss o.ä. wird in allen Ländern erst am Ende von Jg. 10 erreicht.

Sek II: 'Sekundarstufe II, z.T. auch gymnasiale Oberstufe genannt', in dieser Studie zählen wir dazu einheitlich die Jgg. 11 bis 12, obwohl bei G8 der Jgg. 10 formell meist bereits zur Sek II gerechnet wird.

TIMS-Studie: 'TIMSS, Trends in International Mathematics and Science Study', seit 1995 in vierjährigem Rhythmus durchgeführte internationale Untersuchung zu den Schulleistungen in Naturwissenschaften und Mathematik.

vStd: 'tatsächlich verfügbare Gesamtzahl der Schulstunden für Physikunterricht', summiert über die Schuljahre der Sek I bzw. Sek II nach Gleichung (2.1).

Quellenverzeichnis

ARBEITSGRUPPE SCHULE: 2010. 'Integrierter Unterricht „Naturwissenschaften“'. *Positionspapier*, 1–2, Bad Honnef: Deutsche Physikalische Gesellschaft, DPG. http://www.dpg-physik.de/dpg/gliederung/ag/ags/Positionspapier_NaWi.pdf.

BADEN-WÜRTTEMBERG: 2004. 'Bildungsplan 2004. Allgemein bildendes Gymnasium', Stuttgart: Ministerium für Kultus, Jugend und Sport des Landes Baden-Württemberg. http://www.bildung-staerkt-menschen.de/service/downloads/Bildungsplaene/Gymnasium/Gymnasium_Bildungsplan_Gesamt.pdf, letzter Zugriff: 06.02.2014; 10:05 Uhr.

BAUMERT, J., H. BAYRHUBER *et al.*: 1997. 'Gutachten zur Vorbereitung des Programms: „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“'. *BLK-Materialien: Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung*, 60, Bundesländer-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung. <http://www.blk-bonn.de/papers/heft60.pdf>, letzter Zugriff: 12.12.2014.

BAUMERT, J., E. KLIEME, M. NEUBRAND, M. PRENZEL, U. SCHIEFELE, W. SCHNEIDER, P. STANAT, K.-J. TILLMANN und M. WEISS, Hrsg.: 2001. *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske + Budrich, 530 Seiten.

- BAYERN: 2004a. 'Lehrplan für das Gymnasium in Bayern – 10 Physik', München: Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München. <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26439>, letzter Zugriff: 31.03.2014.
- BAYERN: 2004b. 'Lehrplan für das Gymnasium in Bayern – 11/12 Physik', München: Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München. <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=27147>, letzter Zugriff: 31.03.2014.
- BAYERN: 2004c. 'Lehrplan für das Gymnasium in Bayern – 5 Natur und Technik', München: Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München. <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26436>, letzter Zugriff: 29.03.2014.
- BAYERN: 2004d. 'Lehrplan für das Gymnasium in Bayern – 7 Natur und Technik', München: Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München. <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26436>, letzter Zugriff: 30.08.2015.
- BAYERN: 2004e. 'Lehrplan für das Gymnasium in Bayern – 8 Physik', München: Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München. <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26437>, letzter Zugriff: 29.03.2014.
- BAYERN: 2004f. 'Lehrplan für das Gymnasium in Bayern – 9 Physik', München: Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München. <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26438>, letzter Zugriff: 31.03.2014.
- BAYERN: 2004g. 'Lehrplan für das Gymnasium in Bayern – III Jahrgangsstufen-Lehrplan', München: Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München. <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26172>, letzter Zugriff: 29.03.2014.
- BERLIN: 2006a. 'Rahmenlehrplan. Für die gymnasiale Oberstufe. Gymnasien, Gesamtschulen mit gymnasialer Oberstufe, Berufliche Gymnasien, Kollegs. Physik', Berlin: Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport. http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/unterricht/lehrplaene/sek2_physik.pdf?start&ts=1394618126&file=sek2_physik.pdf, letzter Zugriff: 17.03.2014; 10:05 Uhr.
- BERLIN: 2006b. 'Rahmenlehrplan für die Sekundarstufe I. Jahrgangsstufe 7-10. Hauptschule Realschule Gesamtschule Gymnasium. Physik', Berlin: Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport. http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/schulorganisation/lehrplaene/sek1_physik.pdf?start&ts=1150101938&file=sek1_physik.pdf, letzter Zugriff: 06.02.2014; 10:30 Uhr.
- BERLIN: 2006c. 'Rahmenlehrplan Grundschule. Naturwissenschaften', Berlin: Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport. http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/schulorganisation/lehrplaene/gr_natur.pdf?start&ts=1157974605&file=gr_natur.pdf, letzter Zugriff: 06.02.2014; 10:30 Uhr.
- BLEICHROTH, W., H. DAHNCKE, W. JUNG, W. KUHN, G. MERZYN und K. WELTNER: 1999. *Fachdidaktik Physik*. Köln: Aulis-Verlag Deubner.
- BÖRLIN, J., C. JUNGE und P. LABUDDE: 2011. 'Charakteristika des Physikunterrichts: Ein Ländervergleich'. In: D. HÖTTECKE, Hrsg., 'Jahrestagung in Potsdam 2010', Bd. 31. Münster: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik.

BOS, W., B. EICKELMANN, J. GERICK, F. GOLDHAMMER, H. SCHAUMBURG, K. SCHWIPPERT, M. SENKBEIL, R. SCHULZ-ZANDER und H. WENDT, Hrsg.: 2014. *Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in der 8. Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich*. Münster: Waxmann, 336 Seiten. http://www.waxmann.com/fileadmin/media/zusatztexte/ICILS_2013_Berichtsband.pdf.

BRANDENBURG: 2008a. 'Rahmenlehrplan für die Sekundarstufe I. Jahrgangsstufen 7-10. Physik', Potsdam: Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg. http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/sekundarstufe_I/2008/Physik-RLP_Sek.I-2008-Brandenburg.pdf, letzter Zugriff: 30.08.2015.

BRANDENBURG: 2008b. 'Rahmenlehrplan Grundschule. Naturwissenschaften', Potsdam: Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg. http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/grundschule/Naturwissenschaften-RLP_GS_2008_Brandenburg.pdf, letzter Zugriff: 30.08.2015.

BRANDENBURG: 2011. 'Vorläufiger Rahmenlehrplan. Für den Unterricht in der gymnasialen Oberstufe im Land Brandenburg', Potsdam: Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg. http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/gymnasiale_oberstufe/curricula/2011/Physik-VRLP_GOST_2011_Brandenburg.pdf, letzter Zugriff: 30.08.2015.

BREMEN: 2006. 'Naturwissenschaften, Biologie - Chemie - Physik. Bildungsplan für das Gymnasium. Jahrgangsstufe 5-10', Bremen: Senator für Bildung und Wissenschaft. http://www.lis.bremen.de/sixcms/media.php/13/06-12-06_nat_gy.pdf, letzter Zugriff: 06.02.2014; 11:05 Uhr.

BREMEN: 2008. 'Physik - Bildungsplan für die Gymnasiale Oberstufe - Qualifikationsphase', Bremen: Senator für Bildung und Wissenschaft. http://www.lis.bremen.de/sixcms/media.php/13/PHY_GyQ_2008.pdf, letzter Zugriff: 17.03.2014; 10:00 Uhr.

DECI, E. und R. RYAN: 1993. 'Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik'. *Zeitschrift für Pädagogik*, **39**, 223–238.

DITTMANN, H., H. NÄPFEL und W. B. SCHNEIDER: 1989. 'Die zerrechnete Physik'. *Wege in der Physikdidaktik*, **1**, 41–46, Erlangen: Verlag Palm und Enke. <http://www.solstice.de/cms/upload/wege/band1/Die%20zerrechnete%20Physik.pdf>.

DODGE, B.: 2007. 'Webquest.org'. <http://webquest.org/>, letzter Zugriff: 31. Juli. 2014.

DPG: 2001. *Physik – Themen, Bedeutung und Perspektiven Physikalischer Forschung: Denkschrift zum Jahr der Physik*. Bad Honnef: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., 3. erweiterte auflage Aufl., 239 Seiten.

DPG AUTORENTEAM: 2006. *Thesen für ein modernes Lehramtsstudium im Fach Physik*. Bad Honnef: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., DPG. http://www.dpg-physik.de/static/info/lehramtsstudie_2006.pdf.

DPG-AUTORENTEAM: 2014. *Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik*. Studien der DPG. Bad Honnef: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., 117 Seiten. <http://dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien/lehramtstudie-2014.pdf>.

DUDEN: 2014. 'Lernhelfer', Berlin: Bibliographisches Institut GmbH. <http://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/>.

- ESQUEMBRE, F.: 2014. 'Open source physics: Ejs modelling', Open Source Physics; Managing Editor: Wolfgang Christian - Davidson College, USA. <http://www.opensourcephysics.org/>, letzter Zugriff: 22. Sep. 2014.
- FALCK, O., C. MANG und L. WOESSMANN: 2015. 'Virtually No Effect? Different Uses of Classroom Computers and their Effect on Student Achievement'.
- GEOGEBRA TEAM: 2014a. 'GeGebra: Multi-Platform Mathematics Software that Gives Everyone the Chance to Experience the Extraordinary Insights that Math Makes Possible', Linz: International GeoGebra Institute. <https://www.geogebra.org/>, letzter Zugriff: 16. 05. 2015.
- GEOGEBRA TEAM: 2014b. 'GeoGebra Wiki', Linz: International GeoGebra Institute. <http://wiki.geogebra.org/>, letzter Zugriff: 1. 11. 2014.
- GIRWIDZ, R.: 2013. 'Lernen mit bewegten Bildern – Animationen und dynamische Visualisierungen im Physikunterricht'. *Unterricht Physik*, **24**, 4–9.
- GOLLUB, J. P., M. W. BERTENTHAL, J. B. LABOV und P. C. CURTIS, Hrsg.: 2002. *Learning and Understanding: Improving Advanced Study of Mathematics and Science in U.S. High Schools*. Washington, D.C., USA: National Academies Press, 300 Seiten. <http://www.nap.edu/catalog/10129/learning-and-understanding-improving-advanced-study-of-mathematics-and-science>.
- GROSSMANN, S. und I. V. HERTEL, Hrsg.: 2014. *Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik*. Studien der DPG. Bad Honnef: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. (DPG), 117 Seiten. <http://studien.dpg-physik.de/>.
- HACKING, I.: 1983. *Representing and intervening. Introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press, 287 Seiten.
- HAMBURG: 2004. 'Rahmenplan Naturwissenschaft / Technik. Bildungsplan Achtstufiges Gymnasium Sekundarstufe I', Hamburg: Behörde für Bildung und Sport. <http://www.hamburg.de/contentblob/2536366/data/naturwissenschaften-technik-gy8-sek-i.pdf>, letzter Zugriff: 06.02.2014; 11:15 Uhr.
- HAMBURG: 2011a. 'Bildungsplan. Gymnasium Sekundarstufe I – Naturwissenschaften/Technik', Hamburg: Behörde für Schule und Berufsbildung. <http://www.hamburg.de/contentblob/2975652/data/naturw-technik-gym-seki.pdf>, letzter Zugriff: 8.9.2015.
- HAMBURG: 2011b. 'Bildungsplan. Gymnasium Sekundarstufe I – Physik', Hamburg: Behörde für Schule und Berufsbildung. <http://www.hamburg.de/contentblob/2373266/data/physik-gym-seki.pdf>, letzter Zugriff: 8.9.2015.
- HANNOVER, B. und U. KESSELS: 2004. 'Self-to-prototype matching as a strategy for making academic choices. why high school students do not like math and science'. *Learning and Instruction*, **14**, 51–67.
- HATTIE, J.: 2013. 'Understanding Learning: Lessons for Learning, Teaching and Research.', Wellington: Ministry of Education, New Zealand. http://research.acer.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1207&context=research_conference, letzter Zugriff: 1.12.2014.
- HATTIE, J. A. C.: 2012. *Visible Learning for Teachers: Maximizing Impact on Learning*. London, New York: Routledge.
- HÄUSSLER, P. und L. HOFFMANN: 1995. 'Physikunterricht - an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert'. *Unterrichtswissenschaft*, **23**, 107–126.
- HÄUSSLER, P. und L. HOFFMANN: 1998. 'Chancengleichheit für Mädchen im Physikunterricht - Ergebnisse eines erweiterten BLK Modellversuchs'. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, **5**, 51–67.

HEISE, H., M. SINZINGER, I. STRUCK und R. WODZINSKI: 2014. *DPG-Studie zur Unterrichtsversorgung im Fach Physik und zum Wahlverhalten der Schülerinnen und Schüler im Hinblick auf das Fach Physik*. Studien der DPG. Bad Honnef: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., 55 Seiten. <http://dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien/studie-unterrichtsversorgung-2014.pdf>.

HERZOG, W.: 1996. 'Motivation und naturwissenschaftliche Bildung. Kriterien eines „mädchengerechten“ naturwissenschaftlichen Unterrichts'. *Neue Sammlung*, **36**, 61–91.

HESSEN: 2010. 'Lehrplan Physik. Gymnasialer Bildungsgang. Jahrgangsstufen 6G bis 9G und gymnasiale Oberstufe', Wiesbaden: Hessisches Kultusministerium. http://verwaltung.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HKM_15/HKM_Internet/med/4a1/4a1704b5-267f-121a-eb6d-f191921321b2,22222222-2222-2222-2222-222222222222,true, letzter Zugriff: 2.04.2014.

HESSEN: 2015. 'Bildungsstandards und Inhaltsfelder. Das neue Kerncurriculum für Hessen. Sekundarstufe I - Gymnasium. Physik', Wiesbaden: Hessisches Kultusministerium. https://la.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HKM_15/LSA_Internet/med/a73/a7335d0c-f86a-821f-012f-31e2389e4818,22222222-2222-2222-2222-222222222222.

HODSON, D.: 1993. 'Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science'. *Studies in Science Education*, **22**, 85–142.

HOFFMANN, L., P. HÄUSSLER und M. LEHRKE: 1998. *Die IPN-Interessenstudie Physik*, Bd. 158. Kiel: IPN, Universität Kiel.

HOHENWARTER, M.: 2009. 'Dynamische Mathematik mit GeoGebra', Linz. <http://www.mathe-online.at/materialien/mhohen>, letzter Zugriff: 1. 11. 2014.

HÖTTECKE, D. und F. RIESS: 2015. 'Naturwissenschaftliches experimentieren im lichte der jüngeren wissenschaftsforschung – auf der suche nach einem authentischen experimentbegriff der fachdidaktik'. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, Online.

HÖTTECKE, D. und R. WODZINSKI, Hrsg.: 2013. *Kompetenzbereich Bewerten*, Bd. 23, Heft 134 in *Unterricht Physik*. Seelze: Friedrich Verlag, 53 Seiten.

HUMMEL, K.: 2014. 'Studie Super Abi, aber nichts dahinter, Notendurchschnitt steigt – Erstsemester wissen weniger'. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 15.6. <http://www.faz.net/aktuell/gesellschaft/studie-super-abi-aber-nichts-dahinter-12990707.html>.

IOP: 2012. 'It's Different for Girls. The influence of schools'. *IOP Report*, London: IOP Institute of Physics. http://www.iop.org/education/teacher/support/girls_physics/file_58196.pdf, letzter Zugriff: 30.8.2015.

IOP INSTITUTE OF PHYSICS: 2014. 'Girl-Friendly Physics', London. <http://girlfriendlyphysics.co.uk/>, letzter Zugriff: 15. Mai 2015.

JAIRAM, D., K. A. KIEWRA, S. ROGERS-KASSON, M. PATTERSON-HAZLEY und K. MARXHAUSEN: 2014. 'SOAR versus SQ3R: a test of two study systems'. *Instructional Science*, **42**, 409–420.

KAUERTZ, A., H. E. FISCHER, J. MAYER, E. SUMFLETH und M. WALPUSKI: 2010. 'Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I'. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, **16**, 135–153.

KESSELS, U.: 2005. 'Fitting into the Stereotype: How Gender-Stereotyped Perceptions of Prototypic Peers Relate to Liking for School Subjects'. *European Journal of Psychology of Education*, **20**, 309–323.

- KESSELS, U. und B. HANNOVER: 2008. 'When being a girl matters less: accessibility of gender-related self-knowledge in single-sex and coeducational classes and its impact on students' physics-related self-concept of ability'. *The British journal of educational psychology*, **78**, 273–289.
- KESSELS, U., B. HANNOVER, M. RAU und S. SCHIRNER: 2002. 'Ist die Physik reif für eine Image-Kampagne?' *Physik-Journal*, **11**, 65–70.
- KFP: 2011. 'Empfehlung der Konferenz der Fachbereiche Physik zum Umgang mit den Mathematikkenntnissen von Studienanfängern der Physik', Berlin: Konferenz der Fachbereiche Physik. <http://www.kfp-physik.de/dokument/KFP-Empfehlung-Mathematikkenntnisse.pdf>, letzter Zugriff: 9.9.2015.
- KLIEME, E. *et al.*: 2006. 'Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards – Expertise'. **1**, 224, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Referat Bildungsforschung. http://www.bmbf.de/pub/zur_entwicklung_nationaler_bildungsstandards.pdf, letzter Zugriff: 10.4.2014.
- KMK: 2004. 'Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss', Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf, letzter Zugriff: 19. Okt. 2015.
- KMK: 2012. 'Empfehlung zur Anerkennung und Bewertung einer auß erunterrichtlich erbrachten Lernleistung in der Sekundarstufe I (insbesondere Praktikums- und Wettbewerbsleistungen) (Beschluss der KMK vom 6. 12. 2012) ', Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2012/2012_12_06-Zertifizierung.pdf.
- KREMER, A.: 1985. *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Standesinteresse*, Bd. 9 in *Reihe Soznet – Mythos Wissenschaft*. Marburg: Redaktionsgemeinschaft Soznet, 222 Seiten.
- KREMER, K., D. URHAHNE und J. MAYER: 2007. 'Das Verständnis Jugendlicher von der Natur der Naturwissenschaften. Wege der Kompetenzförderung und Kompetenzdiagnostik'. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, **6**, 37–52.
- KULGEMEYER, C. und H. SCHECKER: 2014. 'Research on Educational Standards in German Science Education – Towards a model of student competences'. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, **10**, 257–269. <http://www.ejmste.com/Makale.aspx?kimlik=2235>, letzter Zugriff: 19. 4. 2015.
- LEDERMAN, N.: 2006. 'Nature of Science: Past, Present, and Future'. In: S. ABELL und N. LEDERMAN, Hrsg., 'Handbook of research on science education', 831–879. New York: Reprinted 2010 by Routledge.
- LEIFI-PHYSIK: 2013. 'Physik', Hamburg: Joachim Herz Stiftung. <http://www.leifiphysik.de>, letzter Zugriff: 14.3.2014.
- LEISEN, J.: 2001. 'Qualitätssteigerung des Physikunterrichts durch Weiterentwicklung der Aufgabenkultur'. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, **7**, 401–405.
- LEISEN, J.: 2003. 'Wider das Frage- und Antwortspiel. Neue Inhalte aufgabengeleitet entwickeln'. *Das Friedrich Jahresheft - Wegweiser in Schule und Unterricht*, 116–118.
- LERSCH, R.: 2010. 'Wie unterrichtet man Kompetenzen?', Wiesbaden: Hessisches Kultusministerium, Institut für Qualitätsentwicklung. http://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, letzter Zugriff: 11.2.2014.
- LIEBERS, K.: 1978. 'Zu einigen Problemen der Anwendung der Mathematik im Physikunterricht.' *Physik in der Schule*, **10**, 423.

- MBIE: 2015. 'Science Learning Hub', New Zealand: University of Waikato. <http://sciencelearn.org.nz/Nature-of-Science>, letzter Zugriff: 18. 5. 2015.
- MECKLENBURG-VORPOMMERN: 2006. 'Kerncurriculum für die Qualifikationsphase der gymnasialen Oberstufe. Physik', Schwerin: Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur. http://www.bildung-mv.de/export/sites/bildungsserver/downloads/unterricht/Rahmenplaene/Rahmenplaene_allgemeinbildende_Schulen/Physik/kc-physik-11-12-gym.pdf, letzter Zugriff: 17.03.2014; 10:15 Uhr.
- MECKLENBURG-VORPOMMERN: 2010. 'Rahmenplan Naturwissenschaften. Für die Jahrgangsstufen 5 und 6 an der integrierten Gesamtschule sowie an der Regionalen Schule', Schwerin: Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur. http://www.bildung-mv.de/export/sites/bildungsserver/downloads/Naturwissenschaften_OS_5-6_2010.pdf, letzter Zugriff: 06.02.2014; 11:40 Uhr.
- MECKLENBURG-VORPOMMERN: 2011. 'Lehrplan Physik. Für die Jahrgangsstufen 7 bis 10 am Gymnasium und der Integrierten Gesamtschule', Schwerin: Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur. http://www.bildungsserver-mv.de/download/rahmenplaene%5Crp_physik_7-10_Gym_2011.pdf, letzter Zugriff: 06.02.2014; 11:40 Uhr.
- MERZYN, G.: 2008. *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik - immer unbeliebter? Die Konkurrenz von Schulfächern um das Interesse der Jugend im Spiegel vielfältiger Untersuchungen*. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- MERZYN, G.: 2009. 'Polarisierender Physikunterricht'. *Physik in unserer Zeit*, **40**, 312–313.
- MILLAR, R. und I. ABRAHAMS: 2009. 'Practical work: making it more effective'. *School Science Review*, **91(334)**, 59–64.
- MUCKENFUSS, H.: 1995. *Lernen im sinnstiftenden Kontext: Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*. Berlin: Cornelsen, 1. Aufl. 2. druck 2006 Aufl., 358 Seiten.
- MUJTABE, T. und M. REISS: 2013. 'Inequality in Experiences of Physics Education: Secondary School Girls' and Boys' Perceptions of their Physics Education and Intentions to Continue with Physics after the Age of 16'. *Int. J. Sci. Educ.*, **35**, 1824–1845. http://www.ioe.ac.uk/Mujtaba_Reiss_Inequality_in_experiences_of_physics_education_IJSE.pdf, letzter Zugriff: 30.08.2015.
- MÜLLER, R.: 2007. 'Physik in interessanten Kontexten'. *piko*, 88, Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften. <https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/ifdn-physik/physik-in-interessanten-kontexten-rmueller.pdf>, letzter Zugriff: 05 Nov. 2013.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL: 2012. *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington D.C.: The National Academies Press, 385 Seiten. https://download.nap.edu/login.php?record_id=13165.
- NEUMANN, I. und K. KREMER: 2013. 'Nature of Science und epistemologische Überzeugungen – Ähnlichkeiten und Unterschiede'. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, **19**, 209–232.
- NGSS: 2013. 'Next Generation Science Standards (NGSS) for Today's Students and Tomorrow's Workforce (Second draft)', Washington: Archieve, Inc. in Zusammenarbeit mit NRC, NISTA, AAAS. <http://www.nextgenscience.org/>, letzter Zugriff: 12. Okt. 2015.
- NIEDERSACHSEN: 2007. 'Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 5-10. Naturwissenschaften', Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium. http://db2.nibis.de/ldb/cuvo/datei/kc_gym_nws_07_nib.pdf, letzter Zugriff: 8.9.2015.

- NIEDERSACHSEN: 2009. 'Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule - gymnasiale Oberstufe, das Fachgymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg. Physik', Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium. http://db2.nibis.de/ldb/cuvo/datei/kc_physik_go_i_2009.pdf, letzter Zugriff: 17.03.2014; 10:15 Uhr.
- NORDRHEIN-WESTFALEN: 2008. 'Kernlehrplan für das Gymnasium - Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen', Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. http://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/lehrplaene/upload/lehrplaene_download/gymnasium_g8/gym8_physik.pdf, letzter Zugriff: 06.02.2014; 12:20 Uhr.
- NORDRHEIN-WESTFALEN: 2013. 'Kernlehrplan für die Sekundarstufe II. Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Physik', Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. http://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/ph/GOST_Physik_Endfassung.pdf, letzter Zugriff: 17.03.2014; 10:15 Uhr.
- OSBORNE, J., S. COLLINS, M. RATCLIFFE, R. MILLAR und R. DUSCHL: 2003. 'What „Ideas-about-Science“ Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community'. *Journal of Research in Science Teaching*, **40**, 692–720.
- PISA: 2003. 'Programme for International Student Assessment', OECD. <http://www.oecd.org/edu/school/programmeforinternationalstudentassessmentpisa/34002454.pdf>.
- PISA2000: 2001. 'Programme for International Student Assessment (PISA2000)', Opladen: Leske + Budrich. <https://www.mpib-berlin.mpg.de/Pisa/index.html>.
- PRIEMER, B. und M. PLOOG: 2007. 'The influence of text production on learning with the Internet'. *British Journal of Educational Technology*, **38**, 613–622.
- PRIEMER, B. und L. H. SCHÖN: 2004. 'Students' text-production methods when learning with the internet'. *Psychologie in Erziehung Und Unterricht*, **51**, 89–98.
- REVIEW TEAM IOWA: 2015. *Science Standards – Review Team Report*. Des Moines, Iowa, USA: Department of Education, State Board of Education, 64 Seiten. <https://www.educateiowa.gov/sites/files/ed/documents/2015-08-06ScienceStandardsReviewTeamReport.pdf>.
- RHEINLAND-PFALZ: 1999. 'Lehrplan Physik - Sekundarstufe II', Mainz: Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz. http://lehrplaene.bildung-rp.de/no-cache/lehrplaene-nach-faechern.html?tx_abdownloads_pil%5Baction%5D=getviewclickeddownload&tx_abdownloads_pil%5Buid%5D=227, letzter Zugriff: 22. April 2014.
- RHEINLAND-PFALZ: 2010. 'Rahmenlehrplan Naturwissenschaften. Für die weiterführenden Schulen in Rheinland-Pfalz. Klassenstufen 5 und 6', Mainz: Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur. http://lehrplaene.bildung-rp.de/no-cache/lehrplaene-nach-faechern.html?tx_abdownloads_pil%5Baction%5D=getviewclickeddownload&tx_abdownloads_pil%5Buid%5D=492, letzter Zugriff: 22. April 2014.
- RHEINLAND-PFALZ: 2014. 'Lehrpläne für die Naturwissenschaftlichen Fächer. Für die weiterführenden Schulen in Rheinland-Pfalz. Biologie, Chemie, Physik. Klassenstufen 7 bis 9/10', Mainz: Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur. http://lehrplaene.bildung-rp.de/no-cache/lehrplaene-nach-faechern.html?tx_abdownloads_pil%5Baction%5D=getviewclickeddownload&tx_abdownloads_pil%5Buid%5D=903, letzter Zugriff: 12.03.2014; 12:15 Uhr.

- RICHTBERG, S., R. GIRWIDZ und L.-J. THOMS: 2013. 'Animationen und Simulationen zur Physik – Ein Überblick zu Internetquellen und Gütekriterien'. *Unterricht Physik*, **24**, 42–44.
- RÖSS, D.: 2011. *Mathematik mit Simulationen lehren und lernen: Plus 2000 Beispiele aus der Physik*. De Gruyter Studium. Berlin New York: De Gruyter.
- SAARLAND: 2005. 'Achtjähriges Gymnasium. Lehrplan für das Fach Physik. Lehrplan Klassenstufe 9', Saarbrücken: Ministerium für Bildung und Kultur. http://www.saarland.de/dokumente/thema_bildung/physik9.pdf, letzter Zugriff: 06.02.2014; 12:45 Uhr.
- SAARLAND: 2006. 'Achtjähriges Gymnasium. Lehrplan Physik für die Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe', Saarbrücken: Ministerium für Bildung und Kultur. http://www.saarland.de/dokumente/thema_bildung/PHEinfphFeb2006.pdf, letzter Zugriff: 06.02.2014; 12:45 Uhr.
- SAARLAND: 2008. 'Gymnasiale Oberstufe (GOS). Lehrplan Physik. G-Kurs', Saarbrücken: Ministerium für Bildung, Familie, Frauen und Kultur. http://www.saarland.de/dokumente/thema_bildung/PH-GOS-270711.pdf, letzter Zugriff: 17.03.2014; 10:25 Uhr.
- SAARLAND: 2012. 'Lehrplan Naturwissenschaften. Gymnasium. Klassenstufen 5 und 6. Erprobungsphase', Saarbrücken: Ministerium für Bildung und Kultur. http://www.saarland.de/dokumente/thema_bildung/LP_NW_Gym_5_und_6_Mai_2012.pdf, letzter Zugriff: 12.03.2014; 12:45 Uhr.
- SAARLAND: 2013. 'Lehrplan Physik. Gymnasium. Klassenstufen 7 und 8', Saarbrücken: Ministerium für Bildung und Kultur. http://www.saarland.de/dokumente/thema_bildung/LP_Ph_Gym_7_und_8_Mai_2013.pdf, letzter Zugriff: 06.02.2014; 12:45 Uhr.
- SACH, M. und R. WODZINSKI, Hrsg.: 2010. *Kompetenzbereich Kommunikation*, Bd. 21, Heft 116 in *Unterricht Physik*. Seelze: Friedrich Verlag, 52 Seiten.
- SACHSEN: 2011. 'Lehrplan Gymnasium. Physik', Dresden: Sächsisches Staatsministerium für Kultus und Sport. http://www.schule.sachsen.de/lpdb/web/downloads/lp_gy_physik_2011.pdf?v2, letzter Zugriff: 06.02.2014; 12:55 Uhr.
- SACHSEN-ANHALT: 2003. 'Rahmenrichtlinien Gymnasium Physik. Schuljahrgänge 6-12', Magdeburg: Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt. http://www.bildung-lsa.de/pool/RRL_Lehrplaene/physgyma.pdf, letzter Zugriff: 06.02.2014; 13:10 Uhr.
- SCHAEFER, G. und GDNÄ-BILDUNGSKOMMISSION: 2007. 'Allgemeinbildung durch Naturwissenschaften', Bad Honnef: Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. <http://www.gdnae.de/angebote/publikationen/denkschrift-2/>, letzter Zugriff: April 2015.
- SCHAEFER, G. und WITTENBERGER INITIATIVE: 2000. 'Vorschläge zur Allgemeinbildung durch Naturwissenschaften'. Techn. rep., Gesellschaft deutscher Ärzte und Naturforscher.
- SHECKER, H.: 2001. 'TIMSS – Konsequenzen für den Physikunterricht'. In: E. KLIEME und J. BAUMERT, Hrsg., 'TIMSS - Impulse für Schule und Unterricht', 87–97. Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung. http://www.fachportal-paedagogik.de/fis_bildung/volltextlink.html?Fid=829085&link=http%3A%2F%2Fwww.ssg-bildung.ub.uni-erlangen.de%2Ftimss.pdf.
- SHECKER, H. und E. KLIEME: 2001. 'Mehr Denken, weniger Rechnen: Konsequenzen aus der internationalen Vergleichsstudie TIMSS für den Physikunterricht'. *Physik Journal*, **57**, 113–117.

- SCHECKER, H. und H. WIESNER: 2007. 'Die Bildungsstandards Physik. Orientierungen – Erwartungen – Grenzen – Defizite'. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*, **56**, 5–13.
- SCHECKER, H. und H. WIESNER: 2013. 'Die Bildungsstandards Physik. Eine Zwischenbilanz nach neun Jahren'. *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule*, **62**, 11–17.
- SCHLESWIG-HOLSTEIN: 2002. 'Lehrplan für die Sekundarstufe II. Gymnasium, Gesamtschule. Physik', Kiel: Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein. <http://lehrplan.lernnetz.de/index.php?wahl=6>, letzter Zugriff: 9.05.2014.
- SCHLESWIG-HOLSTEIN: 2013a. 'Lehrplan für die Sekundarstufe I der weiterführenden allgemeinbildenden Schulen. Gesamtschule. Naturwissenschaften', Kiel: Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein. <http://lehrplan.lernnetz.de/index.php?wahl=141>, letzter Zugriff: 06.02.2014; 13:20 Uhr.
- SCHLESWIG-HOLSTEIN: 2013b. 'Lehrplan für die Sekundarstufe I der weiterführenden allgemeinbildenden Schulen. Hauptschule, Realschule, Gymnasium. Physik', Kiel: Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein. <http://lehrplan.lernnetz.de/index.php?wahl=143>, letzter Zugriff: 06.02.2014; 13:20 Uhr.
- SCHWANITZ, D.: 2002. *Bildung. Alles, was man wissen muss*. München: Wilhelm Goldmann Verlag.
- SEIDEL, T., M. PRENZEL, R. RIMMELE, I. M. DALEHEFTE, C. HERWEG, M. KOBARG und K. SCHWINDT: 2006. 'Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie'. *Zeitschrift für Pädagogik*, **52**, 799–821.
- SJØBERG, S. und C. SCHREINER: 2010. 'The ROSE project. An overview and key findings', Oslo: University of Oslo. <http://roseproject.no/network/countries/norway/eng/nor-Sjoberg-Schreiner-overview-2010.pdf>, letzter Zugriff: April 2011.
- SPITZER, M.: 2012. *Digitale Demenz*. München: Droemer Knauer, 368 Seiten.
- STAMM, M., Hrsg.: 2014. *Handbuch Talententwicklung Theorien, Methoden und Praxis in Psychologie und Pädagogik*. Bern: Verlag Hans Hanser, 590 Seiten.
- STRAHL, A., J. SPILLNER, S. GRALFS und R. MÜLLER: 2012. 'Physik für Mädchen und Jungen? - Betrachtung des Genderaspekts in Physikschulbüchern – Betrachtung des Genderaspekts in Physikschulbüchern'. *Didaktik der Physik*. <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/download/363/469>, letzter Zugriff: 30.08.2015.
- TESCH, M. und R. DUIT: 2004. 'Experimentieren im Physikunterricht: Ergebnisse einer Videostudie'. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, **10**, 51–69.
- THE NATIONAL ACADEMIES: 1996. 'National science education standards: For states, by states.', Washington, DC: The National Academies Press. http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=4962, letzter Zugriff: 22. 5. 2014.
- THÜRINGEN: 2012. 'Lehrplan für den Erwerb der allgemeinen Hochschulreife. Physik', Erfurt: Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur. <https://www.schulportal-thueringen.de/media/detail?tspi=2280>, letzter Zugriff: 30.08.2015.
- THÜRINGEN: 2015. 'Lehrplan für das Gymnasium. Mensch - Natur - Technik (MNT)', Erfurt: Thüringer Kultusministerium. <https://www.schulportal-thueringen.de/media/detail?tspi=1393>, letzter Zugriff: 21.07.2015.

- WAGENSCHNEIN, M.: 1995. *Die Pädagogische Dimension der Physik*. Aachen-Hahn: Hahner Verlagsges., 1. Neuaufl. (1. Aufl. 1962, 2. Aufl. m. kl. Erg. 1971) Aufl.
- WAGENSCHNEIN, M.: 2009. 'Bibliographie von Klaus Kohl', Hasliberg-Goldern, Schweiz. <http://www.martin-wagenschein.de/Archiv/Bibliogr.htm>, letzter Zugriff: 2.7.2014.
- WAGNER, W.-R.: 2009. 'WebQuest & Co – Die digitale Chance für Lernkultur und Medienbildung'. *Texte zur Medienbildung*, Heft 2, 1–66, Hildesheim: Niedersächsisches Landesamt für Lehrerbildung und Schulentwicklung (NiLS). http://www.nibis.de/nibis3/uploads/lchaplin/files/webquest_web_2009.pdf, letzter Zugriff: Dez. 2014.
- WEINERT, F. E., Hrsg.: 2001. *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim und Basel: Beltz, 395 Seiten.
- WELT DER PHYSIK: . Bad Honnef: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. (DPG). <http://www.weltderphysik.de/>, letzter Zugriff: Dez. 2014.
- WHITE, R. und R. GUNSTONE: 1992. *Probing Understanding*. Ocam, New York: Routledge, 196 Seiten.
- WIKIPEDIA: 2013. 'Webquest'. <http://en.wikipedia.org/wiki/WebQuest>, letzter Zugriff: 1. Dez. 2013.
- WINKELMANN und R. ERB: submitted. 'Learning in experimental school science situations: Practical work and teacher demonstrations in geometrical optics'. *Int. J. Sci. Educ.*
- WINTER, E., M. BAER, G. BERG, B. FILTZINGER, M. FRITZ, I. HERTEL, A. KRIEG, F. NEUSSER und K. REISS: 2015. *Thesen zu einer zeitgemäßen Fortbildung und Personalentwicklung von Lehrerinnen und Lehrern in den MINT-Fächern*. Empfehlungen des Nationalen MINT Forums (Nr. 4). München: Herbert Utz Verlag, 25 Seiten. http://www.nationalesmintforum.de/fileadmin/user_upload/gerke/NMF/zeitgemaesse_Fortbildung_von_MINT-Lehrerinnen_Empfehlung4.pdf.
- WODZINSKI, R.: 2006. 'Mädchen im Physikunterricht'. In: E. KIRCHER und W. SCHNEIDER, Hrsg., 'Physikdidaktik in der Praxis', 559–580. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- WODZINSKI, R.: 2010. 'Experimentieren lernen'. In: H. KÖSTER *et al.*, Hrsg., 'Handbuch Experimentieren', 153–170. Hohengehren: Schneider Verlag.
- ZENNER, H. P.: 2010. 'Naturwissenschaft und Bildung – Vereinbarkeit oder Kulturkampf?' *Techn. rep.*, Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte.

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 das „German Young Physicists' Tournament“ 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-Nr.: 978-3-9811161-8-2

Download der Studie unter:



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