

Studie

Deutsche Physikalische Gesellschaft



Physik in der Schule
Anlage Basiskonzepte

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

Anlage Basiskonzepte

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.

Januar 2016

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

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>

Inhaltsverzeichnis

B-1	Vorbemerkungen	B1
B-M	Basiskonzept Materie	B7
B-K	Basiskonzept Kräfte und Wechselwirkungen	B15
B-E	Basiskonzept Energie	B23
B-S	Basiskonzept Schwingungen und Wellen	B29
B-6	Gesamtablauf der Basiskonzepte	B37
B-6.1	Sek I, Jahrgänge 5/6	B37
B-6.2	Sek I, Jahrgänge 7/8	B38
B-6.3	Sek I, Jahrgänge 9/10	B39
B-6.4	Sek II, Jahrgänge 11/12, Grundkurs	B40
B-6.5	Abschließende Bemerkungen zum Gesamtablauf	B42
B-7	Alternative für die Sek. II	B43
B-7.1	Inhaltsbereiche	B44
B-7.2	Weitere Aspekte	B48
Anhänge	B49
Verweis auf Online-Dokumente		B49
Akronyme und Glossar		B49
Quellenverzeichnis		B52

Wir beschreiben im Folgenden die im [Hauptteil der Studie, Kapitel 3](#) und speziell in [Abschn. 3.2](#) vorgestellten (neuen) Basiskonzepte ausführlich. Ziel ist es, darauf aufbauend ein Gesamtkonzept für den Physikunterricht in [Sek I](#) und [Sek II](#) zu skizzieren, auf welches bei der konkreten Gestaltung von Lehrplänen aufgebaut werden kann. Wir betonen nochmals die zentrale Idee des hier vertretenen Gesamtkonzepts: Die vier Basiskonzepte

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

bilden das Grundgerüst für die Präsentation der fachphysikalischen Inhalte über alle [Jgg.](#) hinweg.

Jedes dieser vier Basiskonzepte soll in jedem der [Jgg.](#) ([Sek I](#) 5/6, 7/8, 9/10 und [Sek II](#) 11/12) im Unterricht präsent sein, sodass es in unterschiedlicher Tiefe, auf unterschiedlichem Verständnisniveau und ggf. mit unterschiedlichem Schwerpunkt vermittelt werden kann. Aus den nachstehend genannten, kanonischen Fachgebieten der (Schul-)Physik werden fachphysikalische Inhalte für jedes Basiskonzept exemplarisch ausgewählt.

- Optik
- Elektrizität
- Elektronik
- Mechanik
- Hydrodynamik
- Akustik
- Spezielle Relativitätstheorie
- Wärme und Temperatur
- Struktur der Materie (I. Atome, Kerne, Elementarteilchen)
- Struktur der Materie (II. Kondensierte Materie)
- Quantenphysik
- Astrophysik und Kosmologie

Hier soll für den gesamten Physikunterricht in der Schule ein Konzept skizziert werden, das die fachlichen Inhalte nach den vier Basiskonzepten strukturiert.

Bei der exemplarischen Stoffauswahl kann keine vollständige Übersicht über die typischen kanonischen Themen angestrebt werden. Vielmehr geht es um eine möglichst überzeugende, effiziente Darstellung der Basiskonzepte, also der physikalischen Kernideen.

Im Zweifelsfall geht **Tiefe vor Breite**.

Dabei liegt die Betonung auf **exemplarisch**: Wie wir in Kap. 2 gezeigt haben, ist es unmöglich, eine auch nur näherungsweise vollständige Bearbeitung dieses Fachkanons in der verfügbaren Zahl von Physikstunden zu erreichen – und sei es auf sehr bescheidenem Niveau.¹ In den folgenden Kapiteln versuchen wir, beispielhaft eine sinnvolle und in sich konsistente Auswahl von Inhalten vorzuschlagen, die notgedrungen Abschied von vielen, traditionell beliebten Themen der Schulphysik nimmt. Die tatsächlich vorgestellten Aufzählungen möglicher Inhalte mögen oft noch deutlich mehr umfassen, als in der Regel im Rahmen der angedeuteten Stundenzahlen von Schülern und Lehrern gemeinsam erarbeitet werden kann (wohlgemerkt: Schulunterricht sollte nur selten Frontalunterricht sein, der stets dazu verführt, viel Stoff „über die Köpfe hinweg“ vorzutragen).

Die vorgestellte Stoffauswahl ist also als Anregung für Lehrkräfte gedacht, die je nach Leistungsstärke und Motivation ihrer Lerngruppen daraus nochmals eine entsprechende Auswahl treffen sollten. Wir gliedern diese Stoffauswahl für jedes Basiskonzept in Schwerpunkte, die wiederum in jahrgangsbezogene Unterrichtsmodule unterteilt werden. Für jedes Modul formulieren wir – ergänzend zur Aufzählung der möglichen Inhalte – „Könnenserwartungen“ an Schüler, die dieses Modul erfolgreich erarbeitet haben (LERSCH, 2010).

Diese Könnenserwartungen beschreiben also am Ende der jeweiligen Jahrgangsstufen zu erreichende Regelstandards für ein Modul.

Die Auswahl der Themen erfolgte so, dass sie eine *möglichst effiziente und nachhaltige Vermittlung der vier Basiskonzepte* (also der physikalischen Kernideen) ermöglichen. Auch wenn dabei *keine vollständige Übersicht über die einschlägigen Themen angestrebt werden kann*, haben wir versucht, auf eine ausgewogene Berücksichtigung der Fachgebiete zu achten – im Zweifelsfall sollte Tiefe der Vorzug vor Breite gegeben werden.

In den folgenden vier Kapiteln werden die Grundüberlegungen zur *didaktischen Reduktion der Fachinhalte* gegliedert nach den vier Basiskonzepten präsentiert (die Reihenfolge entspricht Tab. B-1.1). Zunächst wiederholen wir jeweils die in Kap. 3.3 des Hauptteiles vorgestellten allgemeinen Hinweise zur Bedeutung der Basiskonzepte innerhalb der Physik und zu den empfohlenen Schwerpunkten im Rahmen der Schulphysik.

Diesen skizzenhaften Beschreibungen folgen in Tab. B-M1 auf Seite B9 bis Tab. B-S6 auf Seite B36 konkrete Vorschläge in Stichworten (z.T. auch in Formeln) dafür, mit welchen Modulen das jeweilige Basiskonzept mit seinen Schwerpunkthemen zum Gesamtlehrplan Physik beitragen könnte.

Vorangestellt werden in den tabellarischen Modulbeschreibungen (Tab. B-M1 bis B-S6) jeweils die oben erwähnten Regelstandards für den Kompetenzerwerb, die „**Könnenserwartungen**: Die Schülerinnen und Schüler ...“. Sie beschreiben konkret die von den Schülern zu erwerbenden Kompetenzen als eine Untermenge des danach skizzierten Fachwissens und Könnens, in dessen Rahmen der Unterricht erfolgen kann.

Auch die Mehrdimensionalität des von uns in Kap. 3 des Hauptteiles

¹Im Gegensatz zu dem, was bisher in den meisten Lehrplänen bewusst oder unbewusst versucht wird (siehe die Zusammenstellung in Tabelle 2.2 im Hauptteil der Studie).

Tab. B-1.1: Tabellarische Zusammenstellung der drei Dimensionen des Physikunterrichts in der Schule nach [Kap. 3.2](#) des Hauptteiles. Wir unterscheiden **B**: Basiskonzepte, **M**: Methoden und **K**: Kontexte

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

entwickelten Gesamtkonzeptes wird bei der Auflistung der Inhalte berücksichtigt. Der leichten Lesbarkeit wegen reproduzieren wir als [Tab. B-1.1](#) die Zusammenstellung der drei Dimensionen: *Basiskonzepte* (B-M bis B-S), *Methoden* (M1 bis M7) und *Kontexte* (K1 bis K5).

Neben den stichwortartigen Beschreibungen der Module geben die Tabellen für die vier Basiskonzepte auch Hinweise, wie die Schwerpunkte und Module (für jede Jahrgangsstufe) miteinander verknüpft werden sollten, und nennen Beziehungen zu anderen Schulfächern (Spalte „Basiskonzepte + Fächer“); dabei wird meist angedeutet, was vorab bekannt sein sollte, bzw. an welcher anderen Stelle die hier erworbenen Kompetenzen wichtig sein können.

In zwei weiteren Spalten werden stichwortartig Vorschläge dafür gemacht, wo die beiden anderen Dimensionen des Inhaltsraumes nach [Tab. B-1.1](#) sinnvoll eingebunden werden können (Methoden, M und Kontexte, K). Es sei hier noch einmal auf die große Bedeutung dieser beiden Dimensionen hingewiesen (siehe auch [Hauptteil, Kap. 3.2](#)).

Kontexte fördern einerseits die Motivation der Schüler und Schülerinnen und machen andererseits physikalisches Wissen und Können als lebenspraktisch relevant erfahrbar.

Tab. B-1.2: Übersicht zur Stundenplanung für die Basiskonzepte (B) mit Schwerpunktthemen: 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) (s. [Tab. 2.3](#) im Hauptteil der Studie). Stundenzahlen in Klammern im **GK** sind als Wahlpflichtmodule vorgesehen, von denen je eines pro Basiskonzept behandelt werden sollte. Die Kennzeichen der Schwerpunkte in der ersten Spalte der Tabelle sind mit den Details in den nachfolgenden Tabellen verlinkt. (Diese Tabelle ist identisch mit [Tab. 3.7](#) im Hauptteil der Studie.)

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

Dagegen beschreiben die in Tab. B-1.1 als „Methoden“ definierten Aspekte die Art und Weise, wie Physik „gemacht“ wird. Geeignete Methoden sollen in verschiedenen Zusammenhängen – möglichst in jedem Modul – geübt werden. Grundlage praktisch aller Methoden ist es, dass man zunächst die physikalischen Größen identifiziert, die es zu beobachten und zu beschreiben gilt, welche Größe dabei von welcher anderen abhängen mag, in welchen Einheiten diese Größen zu messen sind, und schließlich welche typischen Größenordnungen man zu erwarten hat. Die Vermittlung der dafür benötigten Fähigkeiten gehört zu den Aufgaben des Physikunterrichts.

In den Beschreibungen der Unterrichtsmodule werden auch Vorschläge für die jeweils anzusetzende **Zahl von Schulstunden pro Doppeljahrgang** gemacht, die in Tab. B-1.2 auf Seite B4 zusammengestellt sind. Dabei gehen wir von Gesamtstundenzahlen für das Fach Physik entsprechend den **Best Practice** Beispielen nach **Tabelle 2.3** im Hauptteil der Studie aus, die wir als notwendiges Minimum für einen zukunftsfähigen Unterricht im Fach Physik erachten – wohl wissend, dass diese Stundenzahlen derzeit in den meisten Bundesländern unterschritten werden: Wir fordern **mindestens 10 Wochenstunden Physik in der Sek I** (kumuliert über alle Jgg. 5/6, 7/8, 9/10) und einen **verbindlichen Grundkurs Physik in der Sek II** (Jgg. 11/12) von insgesamt mindestens 4 Wochenstunden.

Es handelt sich bei den in Tab. B-1.2 für jedes Modul angenommenen Stundenzahlen um grobe Abschätzungen, die als Hinweise für die Gewichte der Schwerpunkte in den jeweiligen Jahrgangsstufen dienen sollen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Inhalte nachhaltig und jeweils mit kleinen Experimenten und Anwendungsbeispielen vermittelt werden, um ein „Tiefenverständnis“ zu entwickeln.

Bei der konkreten Unterrichtsplanung sollte die bewährte goldene Regel² für jede Art von planerischer Zeiteinteilung beachtet werden: **Die *a priori* für die Realisierung einer Aufgabe angesetzte Zeit darf maximal 60% des verfügbaren Zeitbudgets ausfüllen – die restlichen 40% sind für Unvorhergesehenes und spontane, kreative Aktivitäten vorzusehen!**

Diese Regel sollte auch für den Schulunterricht als unumstößlich gelten, und zwar unabhängig von der jeweiligen Unterrichtsform (lehrerzentriert, schülerzentriert, Selbststudium, Praktikum usw.).

Wohl gemerkt: mit dieser 60:40 Regel sind ausdrücklich nicht die wenigen, in der Gesamtstundenzahl als unverplant gekennzeichneten Schulstunden gemeint – diese sind für potenzielle Erweiterungen nach Interessen und Vorstellungen von Lehrern und Schülern reserviert.

Ein Blick auf Tabelle B-1.2 macht deutlich, dass die 60:40 Regel zusammen mit der knappen Stundenzahl die vermittelbaren Fachinhalte (gewiss schmerzhaft) einschränkt – zugunsten einer dadurch erhofften Nachhaltigkeit des Lehrens und Lernens.

Daher sei nochmals darauf hingewiesen, dass die in den Tabellen B-M1 bis B-S6 beschriebenen fachlichen Inhalte z. T. recht umfangreich

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

²Diese Regel gehört zum festen Bestand von Seminaren zum Zeitmanagement für „Manager, Fach- und Führungskräfte.“ Siehe auch ALPEN-Methode.

Aus den fachlichen Inhalten, die in den folgenden Tabellen beschrieben werden, ist eine Auswahl zu treffen. Dagegen beschreiben die „Könnenserwartungen“ die Kompetenzen, die tatsächlich erworben werden sollen.

sind und als Sammlung relevanter Themen verstanden werden sollten. Die für jedes Unterrichtsmodul formulierten „Könnenserwartungen“ (LERSCH, 2010) definieren dagegen die Anforderungen an Schülerinnen und Schüler, die dieses Modul erfolgreich erarbeitet haben. Sie beschreiben also diejenigen Kompetenzen, die in der Regel tatsächlich erworben werden sollten (Regelstandards).

Die Zuordnung zu den Jahrgangsstufen entspricht meist den typischen aktuellen Lehrplänen. Wir verzichten auf eine detaillierte Auflistung aller der Inhalte, die in dem hier vorgeschlagenen Konzept nicht mehr, oder nur noch peripher angesprochen werden, weisen aber an einer Reihe von Stellen in den Beschreibungen der Module darauf hin (so etwa im Bereich der klassischen Mechanik, bei den elektrischen Stromkreisen, bei der geometrischen Optik usw.); insbesondere sollten quantitative, mathematische Formulierungen der physikalischen Zusammenhänge, Herleitungen und Lösungen 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.

In Kap. B-6 werden in der *Zusammenschau aller vier Basiskonzepte* die notwendigen und ggf. zeitkritischen Begegnungen von bestimmtem Fachwissen und Können kurz angesprochen – deren genaue Abstimmung natürlich schlussendlich Aufgabe einer detaillierten Lehrplanentwicklung sein wird, welche über den hier gegebenen Rahmen weit hinausgehen würde.

Bei der Ausarbeitung von Lehrplänen sollte stets möglichst viel Spielraum für die individuelle Gestaltung des Unterrichts durch die Lehrer und Lehrerinnen gegeben werden – weshalb die von uns aufgelisteten Inhalte auch deutlich über den tatsächlich zu vermittelnden Stoff hinausgehen. Dabei können sich aus der praktischen Erfahrung mit diesem Konzept Verschiebungen von Schulstunden und Schwerpunkten ergeben. Auch mögen sich durchaus andere exemplarische Themenbeispiele als sinnvoll erweisen. *Ein Mehr an der einen Stelle, muss aber immer durch ein Weniger an einer anderen kompensiert werden.* Die für einzelne Themen verfügbare Zahl von Schulstunden kann zwar zwischen Schwerpunkten verschoben, aber keinesfalls insgesamt erhöht werden.

Im letzten Kapitel B-7 skizzieren wir schließlich für die gymnasiale Oberstufe, insbesondere für die Leistungskurse, eine Alternative zur Gliederung der fachlichen Inhalte nach Basiskonzepten, die ebenfalls nicht fachsystematisch strukturiert ist: Wir präsentieren eine größere Auswahl möglicher Themen, die wir in drei als attraktiv empfundene *Inhaltsbereiche* gruppieren: 1. *Physik in Alltag und Technik*, 2. *Quantenphysik und moderne Technologien*, 3. *Kosmos und Elementarteilchen*. Auch diese könnten natürlich den vier Basiskonzepten zugeordnet werden.

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:

■ „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. ■

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**.

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. Weitere Begriffe und Phänomene wie Wärmemenge, Wärmeleitung und thermische Ausdehnung schließen sich an.

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. Für ein vertieftes Verständnis des Aufbaus der Materie wird das PAULI-Prinzip eingehend behandelt: als Basis für ein physikalisches Verständnis des Periodensystems der Elemente (und damit der Stabilität der Materie) und der Chemie, die wiederum Voraussetzung für alles biologische Leben ist. Es geht also um eine wesentliche Grundlage unserer Existenz schlechthin.

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 in der [Sek II](#) vermittelt werden (alternativ zu [B-M5.12](#) und [B-M6.12](#)).

B-M5 Festkörper und Halbleiter. Auch in dieses wichtige Thema kann in der [Sek II](#) aufgrund der begrenzten Stundenzahl nur als Wahlpflichtmodul (alternativ zu [B-M4.12](#) und [B-M6.12](#)) 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.

B-M6 Materie im Universum – wie die Kerne entstanden sind: Dieses ebenfalls als Wahlpflichtmodul konzipierte Schwerpunktthema vermittelt als „schülernaher Kontext“ ein kursorisches Grundwissen über die Entstehung des Kosmos, insbesondere der Atomkerne, sowie zur Entstehung des Sonnensystems (alternativ zu [B-M4.12](#) und [B-M5.12](#)).

Die nachfolgenden Tabellen geben eine Übersicht über die Inhalte, die wir für die Schwerpunkte des Basiskonzepts *B-M Materie* vorschlagen. Zu jedem der sechs Schwerpunkte gibt es jahrgangsspezifische Module, die in Spalte 1 der Tabellen entsprechend *B-M_{n,j}* nummeriert sind. Dabei steht *n* für die Nummer des Schwerpunkts entsprechend der Übersicht in Tab. [B-1.2](#), während *j* die Schuljahrgänge kennzeichnet: *j* = 6 ([Jgg.5/6](#)); *j* = 8 ([Jgg.7/8](#)); *j* = 10 ([Jgg.9/10](#)); *j* = 12 ([Jgg.11/12](#)).

Für jedes Modul präsentieren wir zunächst „Könnenserwartungen“, welche diejenigen Kompetenzen beschreiben, die in der Regel tatsächlich erworben werden sollten.¹ Es folgt eine Aufzählung möglicher Inhalte, die in der Regel noch zu umfangreich sind, um sie in der empfohlenen Stundenzahl vollständig zu erarbeiten. Hier sollten die Lehrenden 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 entsprechen.

¹Die Könnenserwartungen verstehen wir als Regelstandards.

Tabellen B-M1 bis B-M6 zum Basiskonzept *B-M Materie*:

Schwerpunkte (nach Übersicht Tab. B-1.2) und Module mit empfohlenen Stundenzahlen in der *Sek I* pro Doppeljahrgang (in der *Sek II* für den *GK*). Wahlpflichtmodule im *GK* der *Sek II* sind mit (W) und mit eingeklammerten Stundenzahlen gekennzeichnet. Jedem Schwerpunkt vorangestellt werden „**Könnenserwartungen**“ an die Schüler ([LERSCH, 2010](#)), die für einen erfolgreichen Abschluss in der Regel erwartet werden. Es folgt eine Aufzählung möglicher Inhalte. Spalte 1: Nummerierung nach Jahrgang; Spalte 2 (unten): Erforderliche Vorkenntnisse aus bzw. Verknüpfungen zu den *anderen Basiskonzepten* (Kap. B-K Kräfte und Wechselwirkungen, Kap. B-E Energie, Kap. B-S Schwingungen und Wellen) sowie aus bzw. zu den Fächern *Ch:=Chemie, Bio:=Biologie, Math:=Mathematik*; Spalte 3 (unten): Hinweise zu *M Methoden* (Tab. B-1.1); Spalte 4 (unten): Hinweise zu relevanten *Kontexten, K* (Tab. B-1.1).

B-M1	Grundlagen, Teilchen, Aggregatzustände	Sek I: 15 Std	
B-M1.6	Könnenserwartungen: 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.		
B-M1.8	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-M1.6	Grundlagen Was versteht die Physik unter einem Körper? Aggregatzustände, Eigenschaften von Stoffen: Kompressibilität, Löslichkeit, Verhalten beim Erhitzen und Kühlen. Volumenmessung von Flüssigkeiten und festen Stoffen (Messzylinder, Wasserverdrängung). Gewicht, Masse (hier noch keine Unterscheidung), Wägung, Dichte. Masse bleibt erhalten bei Umwandlungen fest → flüssig → gasförmig und bei chem. Reaktionen.	Jgg. 5/6	6 Std
B-M1.8	Teilchenmodell: Atome und Moleküle Wie groß sind die Teilchen? Ölfleckversuch, Abschätzung. BROWN'sche Molekularbewegung, Rauchkammer, Diffusion – Teilchen in dauernder zufälliger Bewegung. Atome sichtbar gemacht: Kraftmikroskop. Multiple Proportionen (DALTON) ↔ Chemie. Modellgas, Flüssigkeit, Festkörpermodell. Kräfte zwischen Teilchen (Stöße). Hinweis auf Plasmen (z.B. unsere Sonne).	Jgg. 7/8	9 Std
B-M1.10	Eigenschaften von Gasen und Flüssigkeiten In diesem Modul werden Begriffe und Phänomene behandelt, die auch für das Basiskonzept <i>B-K Kräfte und Wechselwirkungen</i> wichtig sind (dort wird es als <i>B-K5.10</i> beschrieben).	Jgg. 9/10	siehe <i>B-K5.10</i>
	Basiskonzepte + Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-M1.6	Voraussetzung für <i>B-S1.6</i> . (Noch) Keine Unterscheidung zwischen Masse und Gewicht. Ch: Elemente und Verbindungen. Bio: Anwendungen	M1, M2, M4 Beobachtung und Klassifizierung von Stoffen, Abhängigkeiten (Diagramme). Messmethoden, quantitative Beschreibung. Einheiten (SI)	K2, K3: Destillieren, Nutzung von Zustandsänderungen (Streusalz, Wärmespeicher..)
B-M1.8	Vorraussetzung: <i>B-K1.8, B-K2.8</i> , Kräfte und ihre Wirkungen. Ch: Multiple Proportionen. Bio: Verwendung eines Mikroskops, Blick in eine Zelle: Strömung, Wärmebewegung	M4: Modellbildung, Vorhersagen, Verifizierung, Test eines Modells. Reduktion der Stoffvielfalt auf wenige Bausteine → Strukturmodell	K1: Atome und Moleküle, Erklärung für Chemie (Existenz von Atomen zuerst von Chemikern ernst genommen) → Biologie. Wärmebewegung als Voraussetzung für chem. Reaktionen und lebende Zellen. K3: Erdatmosphäre.

B-M2	Thermische Eigenschaften und Teilchenmodell		Sek I: 7 Std
B-M2.10	Könnenserwartungen: 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-M2.10	Temperatur und Energie Temperaturmessung, thermische Ausdehnung, Wasseranomalie, Wärmemenge. Temperatur als Maß für die mittlere Bewegungsenergie der Teilchen. Temperaturnullpunkt und absolute Temperatur. Ungeordnete Teilchenbewegung und innere Energie. Änderung der inneren Energie bei Wärmezufuhr. Was ändert sich? Wärmeleitung: Energie kann übertragen werden: Modellbeschreibung im Gas und Festkörper.	Jgg. 9/10	7 Std
	Basiskonzepte + Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-M2.10	Baut auf B-E2.8 auf; es folgt B-E1.10 (eng aufeinander abstimmen); Bio: Vorgänge in lebenden Zellen; Ch: Energiebilanz bei chem. Reaktionen	Messgrößen (T, innere Energie) auf empirischer Basis und ihre fundamentale Bedeutung M2, M4 Erweiterung der Modellvorhersagen	K1: Thermische Energie und Leben. K2, K4: Energieversorgung

B-M3	Atomstruktur: Geladene Teilchen, Hülle und Atomkern		Sek I: 13 Std Sek II: 18 Std
B-M3.8	Könnenserwartungen: 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.		
B-M3.10	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).		
B-M3.12	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.		

Fortsetzung nächste Seite ↗

B-M3.8	Positive und negative Ladungen im Atom Elektronen und Ionen: Reibungselektrizität, elektrische Ströme in Elektrolyten, Elektrolyse (Wasser), FARADAY-Konstante, Batterien; Glühemission von Elektronen, MILLIKAN-Versuch: Es gibt eine Elementarladung.	Jgg. 7/8	5 Std
B-M3.10	Hülle und Atomkern Wiederholung: Das Periodensystem der Elemente; Moleküle. Das RUTHERFORD-Experiment. Masse, Ladung und Größe der Atomkerne (Z , A). Atomkerne: Protonen und Neutronen, Isotope. Atomhülle: Elektronenzahl und chemische Eigenschaften. Größenordnung der Bindungsenergie der Elektronen im Atom. Vom Atom zum Molekül.	Jgg. 9/10	8 Std
B-M3.12	Die Elektronenhülle Signale aus der Atomhülle: Linienspektren der Atome. Anregung der Hülle: FRANCK-HERTZ-Versuch. BOHR'sches Atommodell: Wichtiger Schritt hin zur Quantenmechanik, Erfolge und Probleme. Grenzen des BOHR'schen Modells: Unschärferelation; warum fällt bei H das Elektron nicht in das Proton? Teilchen haben auch Wellencharakter. Orbitale als Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen (zahlreiche Applets im Internet erlauben eine quantenmechanisch korrekte Darstellung); Spin als weitere Eigenschaft der Elektronen. PAULI-Prinzip und Symmetrie: Fundamental für die Welt, so wie wir sie kennen. (Aufbau der Elektronenhülle aller Elemente, Regeln für Besetzungszahlen).	Jgg. 11/12	18 Std
Forts.	Basiskonzepte + Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
	enge Abstimmung mit Ch ist sehr wünschenswert für alle drei Module		
B-M3.8	es folgt B-K1.8 (elektrische Ladung, Spannung, Gleichströme, Kraft auf Ladung); photoelektrischer Effekt erst in B-S6.10	M7: Schritte zur inneren Struktur der Atome: Verfeinerung des Modells. Elektr. geladene Teilchen als Grundbausteine aller Materie. Materie und elektrische Phänomene	K2: Elektrizitätslehre, Ströme, Quellen und Speicher elektrischer Energie; Elektrotechnik
B-M3.10	Baut auf B-K1.8 auf (COULOMB-Gesetz), B-S6.10 (Welle-Teilchen-Dualismus), sowie Ch (Periodensystem der Elemente, chemische Eigenschaften)	M4: Reduktion der Stoffvielfalt auf wenige Atomsorten; M7: Entdeckung der Atomkerne und deren Kenngrößen	K2: Strukturuntersuchungen auf atomarem Niveau; wichtig für Chemie, Biologie und Technik
B-M3.12	Modul schließt an B-S6.12 an: Photonen bei Emission und Absorption, $W = h \cdot f$. El. magn. Spektrum. Baut auf B-K1.8 , B-K2.8 und B-K3.8 auf (Gravitation, Zentrifugalkraft, Rotationsenergie, Planetenbahnen). Ch: Elemente und Verbindungen, Periodensystem, Orbitale, Chemische Bindung.	M1, M2: Spektroskopie als universelle Technik in allen Naturwissenschaften und techn. Anwendungen. M7: Grundlegende Erkenntnis: Konzept von Teilchenbahnen als Näherung. Unschärferelation als eine Säule der Quantenphysik. Aufbau und Stabilität der Materie nur durch die Quantenmechanik erklärbar.	K1, K2: Basis eines fundamentalen Verständnisses chemischer Eigenschaften und Prozesse; Leben ohne die Quantisierung der Energie nicht möglich, wegen des Schutzes biologischer Information und Zellen gegen thermische Zerstörung. RÖNTGEN-spektrometrischer Stoffnachweis.

B-M4	Kerne, Radioaktivität und Elementarteilchen		Sek I: 7 Std, Sek II: (10) Std
B-M4.10	<p>Könnenserwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>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.</p>		
B-M4.12	<p>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.</p>		
B-M4.10	Atomkerne und Radioaktivität	Jgg. 9/10	7 Std
	<p>Signale aus dem Atomkern, natürliche Radioaktivität, Art und Eigenschaften der Kernstrahlung, Beobachtungen mit einem Zählrohr, Zerfallsgesetz (qualitativ) und Altersbestimmung. Einfache Kernreaktionen (Beispiele für Kernspaltung und Kernfusion, speziell unsere Sonne); Größenordnung der bei Kernreaktionen freigesetzten Energie. Warum gibt es eine endliche Zahl von stabilen Kernen; Umgang mit radioaktiven Substanzen.</p>		
B-M4.12	Elementarteilchen (W)	Jgg. 11/12	(10) Std
	<p>Materie und Antimaterie; Kernbetazerfall; Umwandlung von Masse in Energie und umgekehrt (Positron-Elektron Annihilation und Paarerzeugung). Hochenergetische (GeV) Elektronen-Streuung an Protonen (1969) zeigen Quark-Struktur. Räumliche Auflösung eines Teilchenmikroskops und Teilchenenergie (Verweis auf B-S3.12). Prinzip moderner Kreisbeschleuniger, Führungsmagnete, elektrische Resonatoren zur Beschleunigung; Energie und Geschwindigkeit der Teilchen in modernen Beschleunigern (siehe B-K3.12) z.B. LHC bei CERN. Warum sind moderne Beschleuniger Collider? Teilchendetektoren am Bsp. LHC oder HERA (online Materialien und Applets). Quarks als Bausteine von Protonen und Neutronen; es gibt keine freien Quarks. Wesentliche Aussagen des Standardmodells; relative Stärke der fundamentalen Wechselwirkungen. Offene Fragen der aktuellen Forschung: woraus besteht die dunkle Materie? Warum ist die Gravitationskraft so klein? Warum blieb nach dem Urknall von der erzeugten Materie nur ein Billionstel und praktisch keine Antimaterie übrig?</p>		
	Basiskonzepte + Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-M4.10	Wichtig für B-E1.10 und B-E3.10: Energiequellen auf der Erde; Ergänzung zu B-K1: starke Kraft wirkt nur auf nächste Nachbarn	M1, M2, M7: Beobachtung von Strahlung, für die wir keine Sensoren besitzen, Entwicklung neuer Messmethoden für andere Fachgebiete	K4, K5: Altersbestimmung In der Archäologie und Geophysik; Nutzung von Tracern in der Medizin und Geologie; Strahlenbehandlung.
B-M4.12	Voraussetzung B-M4.10 und B-K4.12; verwandte Inhalte in B-M5.12; ergänzend zu B-K1 (dort nur Gravitation & COULOMB-Kraft, hier starke und schwache Kraft);	M4, M7: Gibt es eine Grenze der Teilbarkeit? Derzeitige Antwort: abhängig von der Auflösung der Instrumente.	K1: Positronentomographie (PET) z.B. bei der Krebserkennung. K5: Blick ins frühe Universum, Anschluss an aktuelle Forschung

B-M5	Festkörper und Halbleiter		Sek II: (10) Std
B-M5.12	<p>Könnenserwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>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.</p>		
B-M5.12	<p>Festkörper und Halbleiter (W)</p> <p>Kristalle, Kristallmodell, das Bändermodell für die Elektronenergien. Leiter, Isolatoren, Halbleiter; welche Stoffe sind Leiter? Das freie Elektronenmodell für Leiter, warum ist der elektrische Widerstand temperaturabhängig? Störungen der Kristallstruktur durch thermische Schwingungen der Atome und Kristalldefekte. Dotierte Halbleiter: Halbleiterdiode, speziell Photodiode und LED; Feldemissionstransistor. Anwendungen mit kleinen Experimenten (z.B. einfache Schaltkreise nach Skizze löten): Photodiode, Photovoltaik, elektronische Schalter (Transistoren).</p>	Jgg. 11/12	(10) Std
	<p>Basiskonzepte + Fächer (Ch, Bio, Math)</p>	<p>Methoden (M)</p>	<p>Kontexte (K)</p>
B-M5.12	<p>Alternativ zu B-M4.12 bzw. B-M6.12</p>	<p>M1, M2: Einfache Experimente zur Photovoltaik; Schülerversuche mit Elektronik (Schaltung löten). M4 Bändermodell.</p>	<p>K2: Umfassende Bedeutung von Halbleitern und Mikroelektronik. K4 Photovoltaik als Basis künftiger Energieversorgung.</p>

B-M6	Materie im Universum		Sek II: (10) Std
B-M6.12	<p>Könnenserwartungen: 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.</p>		
B-M6.12	<p>Wie die Kerne entstanden sind (W)</p> <p>Urknall und die ersten 3 Minuten: Strahlung, Temperatur, Expansion als Funktion der Zeit. Entstehung von Protonen, Neutronen, Elektronen und danach Heliumkernen aus der Energie des Photonfeldes. Die Materie im Universum besteht zu etwa 75% aus Wasserstoff (H) und zu 25% aus Heliumkernen (He). Daraus bilden sich später die ersten Sterne. Sie gewinnen Energie durch Fusion von H zu He (z.B. unsere Sonne). Sterne im Endstadium: Fusion schwerer Kerne bis zum Eisen. Supernovaexplosion für schwere Sterne und Erzeugung der schweren Elemente. Die relative Häufigkeit der Kerne im Sonnensystem. Alter des Sonnensystems.</p>	Jgg. 11/12	(10) Std
	<p>Basiskonzepte + Fächer (Ch, Bio, Math)</p>	<p>Methoden (M)</p>	<p>Kontexte (K)</p>
B-M6.12	<p>Alternativ zu B-M4.12 bzw. B-M5.12 (Grundlagen dazu hier einführen). Baut auf B-M4.10 auf.</p>	<p>M1: Beobachtungen statt geplanter Experimente; M4: Annahme, dass auf der Erde beobachtete Naturgesetze im ganzen Universum gelten. M7: Eigenschaften kleinster Teilchen und Entwicklung des Kosmos.</p>	<p>K4, K5: Erde, Astrophysik und Kosmologie; Entstehung der Erde und viele weitere (noch offene) Fragen zur Kosmologie.</p>

Basiskonzept

Kräfte und Wechselwirkungen

B-K

Im Rahmen des Basiskonzepts *Kräfte und Wechselwirkungen* werden die wichtigsten Grundbegriffe der Mechanik und der Elektrizität (einschl. Magnetismus) eingeführt. Mechanische und elektrische Kräfte und Wechselwirkungen und die 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 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. Gerade hier sollten möglichst viele Schülerexperimente durchgeführt werden. Die erarbeiteten Begriffe und die beobachteten Phänomene werden über die Schuljahre hinweg zunehmend präzisiert. Messen und Messgenauigkeit gehören ebenso wie eine sichere Einschätzung von Größenordnungen zu den wichtigen im Zusammenhang mit diesem Basiskonzept zu vermittelnden Kompetenzen.

Alle Kräfte zwischen Objekten (d.h. Teilchen, Systemen von Teilchen, Körpern) haben ihre Ursache in nur *vier fundamentalen Wechselwirkungen*: 1. *Gravitation*, 2. *Elektromagnetismus*, 3. *schwache* und 4. *starke Wechselwirkung*. In der Schulphysik kann diese Erkenntnis jedoch nur über mehrere Jahrgangsstufen hinweg Schritt für Schritt vermittelt werden. Die folgenden Schwerpunktthemen werden behandelt.

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. Dabei erleben die Schüler Zug um Zug (noch ohne strenge Formulierung des Wechselwirkungsprinzips), dass jede Kraft eine Gegenkraft hervorruft.

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

In den **Jgg. 7/8** werden Schwerkraft und Kräfte zwischen elektrischen Ladungen anschaulich eingeführt und an Beispielen erläutert. Masse und

elektrische Ladung (Erhaltungssätze) werden besprochen; darauf aufbauend folgen Strom, Spannung und Widerstand, die zunächst mit einfachen, mechanistischen Modellen plausibel gemacht werden. Am Ende soll ein sicherer Umgang mit diesen Begriffen (OHM'sches Gesetz) und ihren Einheiten stehen. Wichtig ist, dass die verschiedenen Wirkungen des elektrischen Stroms besprochen werden (Wärme, Licht, Magnetismus, Elektrolyse). Auf detaillierte Rechenübungen zu Stromkreisen wird man angesichts der engen Stundentafeln verzichten.

B-K2 Kräfte im Gleichgewicht – Kräfte und Bewegung: Kinematische Grundbegriffe werden bereits in den [Jgg. 5/6](#) eingeführt (auch das Trägheitsprinzip wird erwähnt). Für das Verständnis spielen Reibungskräfte eine entscheidende Rolle. In den [Jgg. 7/8](#) werden die Beobachtungen zunehmend quantitativ beschrieben (Bewegungsgleichung). Gleichgewicht und Stabilität von Systemen von Objekten und der Einfluss mehrerer Kräfte können bereits hier erstmals besprochen werden. Magnetische Kräfte auf Ladungen und Ströme können mit einfachen Experimenten veranschaulicht werden.

Der Vektorcharakter von Kräften wird in den [Jgg. 9/10](#) behandelt und erlaubt u.a. eine Präzisierung des Gleichgewichtsbegriffs. In diesem Zusammenhang können auch Impuls und Impulserhaltung behandelt werden. Die Bedeutung von „Erhaltungssätzen“ sollte hier thematisiert werden, nachdem bereits in den [Jgg. 7/8](#) Massen-, Ladungs- und Energieerhaltung behandelt wurden (s. [B-E1](#) und [B-E2](#), Basiskonzept *Energie*). Auch eine generelle Einführung in Kreisbewegungen sollte hier erfolgen – nicht zuletzt vorbereitend für die Himmelsmechanik in [B-K4.10](#).

In der [Sek II](#) wird schließlich der Impulsbegriff vertieft. Auf anschauliche Weise wird hier auch der Drehimpuls eingeführt und die Erhaltungssätze für Impuls und Drehimpuls werden erarbeitet.

B-K3 Beschreibung von Wechselwirkungen durch Felder: Der Feldbegriff für elektrostatische und magnetostatische Kräfte soll erstmals in den [Jgg. 7/8](#) anschaulich erklärt werden. (Er wird u.a. im Basiskonzept [B-S Schwingungen und Wellen](#) benötigt.) In diesem Zusammenhang soll auch die elektromagnetische Induktion eingeführt werden,¹ die bei der Behandlung von Generatoren (und Motoren) in Modul [B-E3.8](#) unverzichtbar ist.

In den [Jgg. 9/10](#) werden Gravitation und Kräfte zwischen Punktladungen und ihre Abstandsabhängigkeit behandelt. Dabei wird der Feldbegriff vertieft (Flächen gleicher potenzieller Energie können verstanden werden). Darauf aufbauend und im Anschluss an das in [B-K2.10](#) Gelernte kann in die Grundlagen der Himmelsmechanik eingeführt werden.

In der [Sek II](#) können als Wahlpflichtmodul [B-K3.12](#) Felder quantitativ für Gravitation und elektromagnetische Wechselwirkung vertieft behandelt werden (alternativ zu [B-K5.12](#)). Dabei können verschiedene Anwendungsaspekte beispielhaft besprochen werden.

¹An dieser Stelle bietet sich ein besonders eindrucksvoller Exkurs in die Geschichte der Physik über die Person FARADAYS an (s. z. B. [BÖNT, 2009](#)).

B-K4 Grenzen der NEWTON'schen Mechanik: Dieses für die **Sek II** konzipierte Modul soll eine erste Einführung in zwei zentrale Bereiche der modernen Physik geben: in die Quantenphysik einerseits (das ganz Kleine) – mit Schwerpunkt Drehimpulsquantisierung, insbes. in Hinblick auf die Atomphysik in **B-M3** – und in die spezielle Relativitätstheorie andererseits (das ganz Große), deren wichtigste Grundannahmen und Konsequenzen diskutierend eingeführt werden sollten.

B-K5 Kräfte in kontinuierlichen Medien: Bereits in den **Jgg. 5/6** kann auf elementare Weise das Thema Schwimmen und Schweben besprochen 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 ein Wahlpflichtmodul **B-K5.12** in die Hydro-mechanik einführen (alternativ zu dem konventionell intensiv bearbeiteten Thema „klassische Felder“ in Modul **B-K3.12**). Wie sich dies (bis hin zu den Grundlagen des Fliegens) realisieren lässt, muss jedoch die Praxis ergeben.

Die nachfolgenden Tabellen geben eine Übersicht über die Inhalte, die wir für die Schwerpunkte des Basiskonzepts *B-K Kräfte und Wechselwirkungen* vorschlagen. Zu jedem der fünf Schwerpunkte gibt es jahrgangsspezifische Module, die in Spalte 1 der Tabellen entsprechend **B-K n . j** nummeriert sind. Dabei steht n für die Nummer des Schwerpunkts entsprechend der Übersicht in Tab. **B-1.2**, während j die Schuljahrgänge kennzeichnet: $j = 6$ (**Jgg.5/6**); $j = 8$ (**Jgg.7/8**); $j = 10$ (**Jgg.9/10**); $j = 12$ (**Jgg.11/12**).

Für jedes Modul präsentieren wir zunächst „Könnenserwartungen“, welche diejenigen Kompetenzen beschreiben, die in der Regel tatsächlich erworben werden sollten.² Es folgt eine Aufzählung möglicher Inhalte, die in der Regel noch zu umfangreich sind, um sie in der empfohlenen Stundenzahl vollständig zu erarbeiten. Hier sollten die Lehrenden 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 entsprechen.

²Die Könnenserwartungen verstehen wir als Regelstandards.

Tabellen B-K1 bis B-K5 zum Basiskonzept *B-K Kräfte und Wechselwirkungen*:

Schwerpunkte (nach Übersicht Tab. B-1.2) und Module mit empfohlenen Stundenzahlen in der **Sek I** pro Doppeljahrgang (in der **Sek II** für den **GK**). Wahlpflichtmodule im **GK** der **Sek II** sind mit (W) und mit eingeklammerten Stundenzahlen gekennzeichnet. Jedem Schwerpunkt vorangestellt werden „**Könnenserwartungen**“ an die Schüler (**LERSCH, 2010**), die für einen erfolgreichen Abschluss erforderlich sind. Es folgt eine Aufzählung möglicher Inhalte. Spalte 1: Nummerierung nach Jahrgang; Spalte 2 (unten): Erforderliche Vorkenntnisse aus bzw. Verknüpfungen zu den *anderen Basiskonzepten* (Kap. **B-M** Materie, Kap. **B-E** Energie, Kap. **B-S** Schwingungen und Wellen) sowie aus bzw. zu den Fächern *Ch:=Chemie, Bio:=Biologie, Math:=Mathematik*; Spalte 3 (unten): Hinweise zu *M Methoden* (Tab. B-1.1); Spalte 4 (unten): Hinweise zu relevanten *Kontexten, K* (Tab. B-1.1).

B-K1	Arten von Kräften und Wechselwirkungen; elektrischer Strom		Sek I: 30 Std
B-K1.6	Könnenserwartungen: 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.		
B-K1.8	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-K1.6	Einführung Ausgehend von der Alltagssprache der Schüler, die den Begriff Kraft in vielerlei Bedeutung benutzen (z. B. <i>Entschlusskraft, Federkraft, Muskelkraft</i>), wird allmählich der physikalische Begriff Kraft eingeführt. Kräfte erkennt man an ihrer Wirkung. Einfache Versuche mit Ziehen, Drücken, Stoßen. Ein Objekt (z.B. meine Hand) wirkt auf ein anderes mit einer Kraft ein (z.B. auf einen Ball, einen Tisch). Der Ball bewegt sich, der Tisch drückt zurück. Erste Erfahrungen zum Wechselwirkungsprinzip; sehr wichtig: Reibungskräfte, die schrittweise reduziert werden (z.B. Luftkissenbahn); was passiert, wenn keine Kräfte wirken? Schwerkraft und Federkräfte werden erprobt (qualitativ HOOKE'sches Gesetz); Federwaage.	Jgg. 5/6	8 Std
B-K1.8	Schwerkraft und Kräfte auf elektrische Ladungen Massen ziehen sich an; die größte Masse in unserer Umgebung ist die Erde. Von welchen Parametern hängt die Anziehungskraft ab? Begriff Masse vertiefen. Masse und Gewicht. Elektrische Ladung als korrespondierende Größe zur Masse einführen (Reibungselektrizität, Elektrostatik) – kombinieren mit Modul B-M3.8 (mikroskopische Sicht). Elektrischer Strom, Spannung und Widerstand werden mit simplen mechanischen Modellen plausibel gemacht (Wasserströmung, Stauhöhe, Rohrquerschnitt). Einfache Experimente zum Vertrautmachen mit den Begriffen. OHM'sches Gesetz. Wovon hängt der Widerstand ab? Einheiten. Einfache Rechnungen: keine Stromkreisdetails, aber Strom- und Spannungsmessung verstehen. Wirkungen des elektrischen Stroms (Wärme, Licht, Magnetismus, Elektrolyse). Zusatz: Masse und Ladung als Erhaltungsgrößen.	Jgg. 7/8	22 Std
	Basiskonzepte (B) & Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-K1.6	B-K2.6 geht voraus	M1, M2, M4 – erste Einführung ins Messen und in Maßsysteme, physikalische Größen	K1 Physikalische Kräfte im täglichen Leben
B-K1.8	Baut auf B-M1.6 (Masse) auf, eng verb. mit B-M3.8 ; wichtig für B-S1.8	M2, M3 Einfache, quantitative Experimente in Mechanik und Elektrik und mathemat. Beschreibung	K2 Elektrischer Strom im Alltag

B-K2	Kräfte im Gleichgewicht – Kräfte und Bewegung	Sek I: 28 Std, Sek II: 10 Std	
	Könnenserwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...		
B-K2.6	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).		
B-K2.8	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.		
B-K2.10	ermitteln zeichnerisch aus drei Kraftpfeilen die resultierende Kraft; erkennen Situationen von stabilem und metastabilem Gleichgewicht; erläutern den Begriff Impuls und können den Impulserhaltungssatz anwenden.		
B-K2.12	erläutern die physikalischen Größen Impuls und Drehimpuls; erklären die Erhaltungssätze für Impuls und Drehimpuls; kennen die Begriffe Trägheitsmoment und Rotationsenergie.		
B-K2.6	Gleichgewicht, Kinematische Grundbegriffe	Jgg. 5/6	6 Std
	Kräfte im Gleichgewicht, Weg – Zeit – Geschwindigkeit. Einheiten. Geschwindigkeitsmessung. Rolle der Reibungskraft. Erstes NEWTON'sches Axiom. Physikalische Idealisierungen, Modelle – diese für Kinder in diesem Alter sehr schwer fassbaren Zusammenhänge und Begriffe müssen gründlich besprochen und geübt werden.		
B-K2.8	Mechanische, Elektrische, Magnetische Kräfte – Gleichgewicht, Bewegung, Beschleunigung	Jgg. 7/8	12 Std
	Trägheit, Masse, Beschleunigung, Bewegungsgleichung qualitativ. Freier Fall; auf detaillierte Behandlung des schrägen Wurfs oder der schiefen Ebene kann verzichtet werden. Welche Rolle spielt die Reibungskraft beim Beschleunigen und Bremsen? Kraftpfeile. Kräfte auf bewegte elektrische Ladungen im Magnetfeld. Strom und Magnetfeld.		
B-K2.10	Kräfte als Vektoren, Bewegungsgleichung, Impuls und Impulserhaltung	Jgg. 9/10	10 Std
	Bewegungsgleichung quantitativ ($F = m \cdot a$); Vektorcharakter von Kraft, Geschwindigkeit, Impuls. Addition von Vektoren. Bezugssysteme. Kraft und Impuls: $F = \Delta p / \Delta t$. Kreisbewegung, Zentrifugalkraft. In besonders leistungsstarken Jahrgängen: LORENTZ-Kraft vektoriell.		
B-K2.12	Impuls und Drehimpuls, Erhaltungssätze	Jgg. 11/12	10 Std
	Wiederholung von linearem Impuls und Impulserhaltungssatz. Bezugssysteme. Einführung des Drehimpulses mit Vorführung des Drehstuhls mit Schwungrad. Rotationsenergie.		
	Basiskonzepte (B) & Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-K2.6	Kinematik vor B-K1.6 (Kraftbegriff), noch keine Mathematik außer $v = s/t$	M1 Bewegte und ruhende Objekte, M2 Einheiten (messen) m, sec, m / sec, Alternative Einheiten, M4 Modell Reibungsfreiheit.	K1 Kräfte im tägl. Leben, Gleichgewichte. K2 Verkehr (Geschwindigkeit, Trägheit)
B-K2.8	nach B-K2.6 und B-K1.8	M2 einfache Schülerexperimente; M3, M4 Vorhersage von Bewegungsabläufen	K1, K2 Beschleunigung im Verkehr
B-K2.10	Zentrales Kapitel zur Mechanik, wird ergänzt durch B-K3.10	M3, M4, M5: quantitative Vertiefung, Erhaltungssätze	K1 Stabilität von Gegenständen, K2 Bedeutung von Statik in der Technik
B-K2.12	Baut auf B-K2.10 auf; Vorauss. für B-K4.12	M1, M4 Drehstuhlexp., M7 Vorbereitung für B-K4.12	K2 Quantemech. und Relativität in der mod. Technik, K5 Raumfahrt

B-K3	Beschreibung von Wechselwirkungen durch Felder		Sek I: 16 Std, Sek II: (14) Std
B-K3.8	Könnenserwartungen: 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.		
B-K3.10	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.		
B-K3.12	berechnen die Bahn eines geostationären Satelliten; beschreiben, was elektromagnetische Induktion ist; benennen quantitative Zusammenhänge dafür; erklären einen Transformator oder einen elektrischen Schwingkreis.		
B-K3.8	Grundlagen des Feldbegriffs, Induktion	Jgg. 7/8	8 Std
Anschauliche Einführung von Feldern in der Elektrostatik und Magnetostatik: Feldlinien am Bandgenerator bzw. mit Eisenfeilspänen sichtbar gemacht. Was beschreiben die so gewonnenen Feldlinien. Feld im Plattenkondensator, Feld einer Spule; erste qualitative Versuche zur elektromagn. Induktion.			
B-K3.10	Gravitation & COULOMB-Kraft; Himmelsmechanik	Jgg. 9/10	8 Std
Abstandsabhängigkeit von Gravitations- und COULOMB-Kraft ($F \propto 1/r^2$), Orte gleicher potenzieller Energie bei Zentralkräften. Kreisbewegung im Gravitationsfeld, die KEPLER'schen Gesetze, Planeten und Sonnensystem, Erdbahn (Geschwindigkeit, Abstand von der Sonne, Umlaufzeit, Massen von Erde und Sonne). Raketen, Satelliten, Raumfahrt.			
B-K3.12	Felder und Kräfte (W)	Jgg. 11/12	(14) Std
Einführung des Formalismus, Gradientenbegriff usw. Anwendungen. Ergänzungen zur Raumfahrt (z.B. Internationale Raumstation, geostationäre Satelliten, Voyager-Mission). Vergleich und Zusammenhang elektrischer und magnetischer Felder, vertiefte Behandlung der magnetischen Induktion.			
	Basiskonzepte (B) & Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-K3.8	Baut auf B-E1.8 auf; Voraussetzung für B-S3.8	M1 einfache Demo. Experimente, M4 Modell der Feldlinien, M3 math. Beschreibung in einfachen Fällen	K2, K3 Felder in unserer Umwelt
B-K3.10	Schließt an B-K2.10 an.	M1 bis M5 Sternbeobachtung, historische Entwicklung, Auswertung astronomischer Daten	K5 Unsere Erde, unser Planetensystem ...
B-K3.12	Ergänztes B-K2.10	M2, M3 Abschätzung von Größenordnungen von Feldern bei Sendemasten für den Mobilfunk. M4 Einsatz von Animationen z. B. zur Planetenbewegung sinnvoll	K2 Grundlage der Elektrotechnik, Rundfunktechnik, Raumfahrt

B-K4	Grenzen der NEWTON'schen Mechanik		Sek II: 10 Std
B-K4.12	<p>Könnenserwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>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 $\Delta E = \Delta m c^2$.</p>		
B-K4.12	<p>Grenzen der NEWTON'schen Mechanik</p> <p>Physik des ganz Kleinen: Welche Größen sind (wann und wie) quantisiert? Speziell Betrachtung des Drehimpulses. Einführung des Eigendrehimpulses (Spin) von Elektron, Proton, Neutron und Atomkernen (Fermionen und Bosonen).</p> <p>Physik des ganz Großen, speziell der sehr großen Geschwindigkeiten: Grundbegriffe der relativistischen Mechanik, Konstanz der Lichtgeschwindigkeit c in jedem Bezugssystem und in jeder Richtung. Wo treten Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit auf. Grundüberlegungen zur speziellen Relativitätstheorie und die wichtigsten Konsequenzen: Masse und Energie sind äquivalent $E = mc^2$. Eine wichtige Rolle in der speziellen Relativitätstheorie spielt der sog. LORENTZ-Faktor $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$. Die relativistische Energie eines bewegten Teilchens der intrinsischen Masse m wird damit $E = \gamma mc^2$, und der relativistische Impuls $\vec{p} = \gamma m \vec{v}$.^(*) Beide gehen für $v \rightarrow c$ gegen unendlich: Die Lichtgeschwindigkeit c ist also eine Grenzgeschwindigkeit: Teilchen mit Masse bewegen sich stets mit Geschwindigkeiten kleiner als c. Zeitdilatation, LORENTZ-Kontraktion. In besonders interessierten Klassen: Schwarze Löcher.</p>	Jgg. 11/12	10 Std
	Basiskonzepte (B) & Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-K4.12	Baut auf B-K2.12 auf; wichtig für B-M3.12	M7 vom Kleinsten zum Größten	K2 Quantemech. und Relativität in der mod. Technik, K5 Raumfahrt

(*) Mit der sog. relativistischen Masse $m_{rel} = \gamma m$ kann man auch schreiben: $E = m_{rel} c^2$ sowie $\vec{p} = m_{rel} \vec{v}$ und sagt, dass die Masse mit der Geschwindigkeit zunähme. In der modernen theoretischen Physik wird diese Sprechweise allerdings meist nicht mehr gebraucht, da die (intrinsische) Masse m LORENTZ invariant ist.

B-K5	Kräfte in kontinuierlichen Medien		Sek I: 11 Std, Sek II: (14) Std
B-K5.6 B-K5.10 B-K5.12	<p>Könnenserwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>erklären, warum ein Stein im Wasser untergeht, aber ein Schiff schwimmt.</p> <p>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.</p> <p>beschreiben Stömungsgeschwindigkeit 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.</p>		
B-K5.6	<p>Schwimmen und Schweben</p> <p>Archimedisches Prinzip, elementare Behandlung.</p>	Jgg. 5/6	2 Std
B-K5.10	<p>Eigenschaften von Gasen und Flüssigkeiten</p> <p>Anstelle von Kräften betrachten wir hier den Druck: Messung, Modellbeschreibung, ideales Gas (BOYLE-MARIOTTE), Druck Simulationen/Applets, Mol, AVOGADRO-Konstante, Größenordnungen illustrieren. Alltagserfahrungen z.B. Blutdruck, Luftdruck (Experiment). Kompressibilität, Oberflächenspannung, Zähigkeit.</p>		Jgg. 9/10 9 Std
B-K5.12	<p>Grundbegriffe der Hydromechanik (W)</p> <p>Elementare Einführung. Gesetze von VENTURI und BERNOULLI mit Experimenten, bei sehr engagierten Lerngruppen: Physik des Fliegens</p>		Jgg. 11/12 (14) Std
	Basiskonzepte (B) & Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-K5.6	Voraussetzung: B-K1.6 wichtig für die folgenden Module	M1 einfache Exp. zum Auftrieb, M4	K1, K2 Grunderlebenis im tägl. Leben, Schiffe, Flugzeuge
B-K5.10	wichtig für B-M2.10 Voraussetzung ist B-K2.10: Stöße, Impulsänderung. Ch: Abstimmung wichtig	M4 (Modell): quantitative Vorhersagen u. Grenzen. M7: Quantisierung der Masse \Leftrightarrow Teilchen	K3 Meteorologie, Hoch-, Tiefdruck, Strömungen; K1: Wasser-Druck, -Versorgung, Blutdruck
B-K5.12	Voraussetzung ist B-K5.10	M1 Wasserstrahlpumpe, M3 quantitative Beschreibung von Strömungen	K2 Verkehr: turbulente Strömung, $K \propto v^2$; Grundlagen des Fliegens

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)¹ 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.

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 ausführlich behandelt werden). In der mikroskopischen Betrachtungsweise gibt es nur kinetische Energie (Bewegung von Teilchen) und potenzielle Energie.

In den Jahrgängen (**Jgg.**) 5/6 werden zunächst der Temperatur- und der Energiebegriff rein phänomenologisch/makroskopisch vermittelt. Die CELSIUS-Skala wird eingeführt. Möglichst frühzeitig (**Jgg.** 7/8) soll aber die mikroskopische Betrachtungsweise eingeführt werden. In den **Jgg.** 9/10 werden die verschiedenen Betrachtungsweisen und Formen der Energie unterschieden und quantifiziert.

Die Äquivalenz von Masse, m , und Energie nach EINSTEIN, $E = mc^2$, wird spätestens in den **Jgg.** 9/10, im Nachgang zur Behandlung von Kernreaktionen (**B-M4.10**), eingeführt. Aus dieser „Quelle“ bezieht z. B. auch

■ 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. ■

¹Rein formal kann man die gesamte Masse des Systems mit $E = mc^2$ als Teil der Gesamtenergie betrachten.

unsere Sonne ihre Energie, die sie als Strahlungsenergie in den Weltraum (und auch auf die Erde) transferiert.

B-E2 Energieerhaltung und Energieumwandlung; Reversibilität: Der Energieerhaltungssatz kann am anschaulichsten an mechanischen Beispielen erläutert und begründet werden (Jgg. 7/8), wobei die Begriffe kinetische und potenzielle Energie und der Energieerhaltungssatz eingeführt werden. Aus mechanischer Energie kann Wärmeenergie werden, z.B. wenn Reibung eine wesentliche Rolle spielt. Ein elementarer Temperaturbegriff wurde bereits in B-E1.6 eingeführt.

Daran schließt sich in Jgg. 9/10 eine Einführung in die Wärmelehre an, die bereits auf Grundbegriffe (Temperatur, Wärme) aus B-M2 aufbauen kann. Wie funktionieren Wärmekraftmaschinen, und Kühlschränke. Typische Größenordnungen für Energie und Leistung werden veranschaulicht (Reibungswärme, Bergsteigen, Leistung von Autos, PS vs. kW). Bei der Umwandlung von mechanischer und elektrischer Energie in Wärme wird der Begriff der Irreversibilität plausibel gemacht – der jedoch keine Verletzung des Energiesatzes bedeutet. Dies sollte gründlich thematisiert und in der Sek II vertieft werden. Je nach Verständnisgrad der Lerngruppe werden die Hauptsätze der Thermodynamik behandelt, evtl. der CARNOT-Prozess), und die Unmöglichkeit des *Perpetuum Mobiles* erster und zweiter Art.

B-E3 Energieversorgung, Energietransport, Energiewirtschaft: Hier soll der Bezug zu aktuellen Fragen der Zeit hergestellt werden. Wie wird Energie transportiert? Energie kann nicht „erzeugt“ werden, wie in der Alltagssprache immer wieder fälschlich behauptet wird, sondern wird nur von einer in eine andere Form umgewandelt (Jgg. 7/8). Der Energiebedarf der Bundesrepublik Deutschland wird untersucht; verschiedene Energieträger werden bewertet (Jgg. 9/10). In der Sek II werden die Potenziale der „regenerativen“ Energieversorgung bewertet. Die Problematik der Energiespeicherung wird thematisiert.

Die nachfolgenden Tabellen geben eine Übersicht über die Inhalte, die wir für die Schwerpunkte des Basiskonzepts *B-E Energie* vorschlagen. Zu jedem der drei Schwerpunkte gibt es jahrgangsspezifische Module, die in Spalte 1 der Tabellen entsprechend B-En.j nummeriert sind. Dabei steht *n* für die Nummer des Schwerpunkts entsprechend der Übersicht in Tab. B-1.2, während *j* die Schuljahrgänge kennzeichnet: $j = 6$ (Jgg.5/6); $j = 8$ (Jgg.7/8); $j = 10$ (Jgg.9/10); $j = 12$ (Jgg.11/12).

Für jedes Modul präsentieren wir zunächst „Könnenserwartungen“, welche diejenigen Kompetenzen beschreiben, die in der Regel tatsächlich erworben werden sollten.² Es folgt eine Aufzählung möglicher Inhalte, die in der Regel noch zu umfangreich sind, um sie in der empfohlenen Stundenzahl vollständig zu erarbeiten. Hier sollten die Lehrenden 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 entsprechen.

²Die Könnenserwartungen verstehen wir als Regelstandards.

Tabellen B-E1 bis B-E3 zum Basiskonzept **B-E Energie:**

Schwerpunkte (nach Übersicht Tab. B-1.2) und Module mit empfohlenen Stundenzahlen in der **Sek I** pro Doppeljahrgang (in der **Sek II** für den **GK**). Jedem Schwerpunkt vorangestellt werden „**Könnenserwartungen**“ an die Schüler (**LERSCH, 2010**), die für einen erfolgreichen Abschluss erforderlich sind. Es folgt eine Aufzählung möglicher Inhalte. Spalte 1: Nummerierung nach Jahrgang; Spalte 2 (unten): Erforderliche Vorkenntnisse aus bzw. Verknüpfungen zu den *anderen Basiskonzepten* (Kap. **B-M** Materie, Kap. **B-K** Kräfte und Wechselwirkungen, Kap. **B-S** Schwingungen und Wellen) sowie aus bzw. zu den Fächern *Ch:=Chemie, Bio:=Biologie, Math:=Mathematik*; Spalte 3 (unten): Hinweise zu *M Methoden* (Tab. B-1.1); Spalte 4 (unten): Hinweise zu relevanten *Kontexten, K* (Tab. B-1.1).

B-E1	Definition und Formen der Energie		Sek I: 24 Std
B-E1.6	Könnenserwartungen: 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.		
B-E1.8	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.		
B-E1.10	erläutern die Begriffe Schmelz-, Lösungs- und Verdampfungswärme; erklären die „Energiegewinnung“ aus Kernspaltung und Kernfusion.		
B-E1.6	Mechanische Energie, Wärme, Temperatur	Jgg. 5/6	8 Std
	Rein phänomenologische Einführung des Energiebegriffs im Alltag; Energie in der Physik. Ein Stein wird auf verschiedene Höhen gehoben ... und fallen gelassen: schon dabei kann man qualitativ etwas über Arbeit, potenzielle und kinetische Energie erfahren. Was wird aus dieser Energie? Bei der Reibungswärme kann man sogar fühlen, wie eine Art Energie in eine andere umgewandelt wird (Energie wird nicht verbraucht!). Phänomenologische Einführung des Temperaturbegriffs; Definition der CELSIUS Skala.		
B-E1.8	Mechanische & elektrische Energie, Strahlungsenergie	Jgg. 7/8	6 Std
	Kinetische und potenzielle Energie sowie Arbeit werden quantitativ beschrieben. Schwungrad als Energiespeicher. Leistung, Messgrößen, Einheiten, Größenordnungen. Energie einer Ladung im elektrischen Feld (elementare Einführung des Feldbegriffs). Kondensatoren und Batterien. Erste Hinweise auf Strahlungsenergie: Energie wird auch in Wellen transportiert (z.B. Strahlung der Sonne; Schall aus Großlautsprechern).		
B-E1.10	Wärmeenergie, chemische Energie, Kernenergie	Jgg. 9/10	10 Std
	Grundbegriffe der Wärmelehre, Temperatur und Wärmemenge, absolute Temperatur. Mischtemperatur, Verdampfungswärme, Schmelzwärme (einfache Experimente dazu). Kernenergie: Äquivalenz von Masse, m , und Energie nach EINSTEIN $E = mc^2$. Dies ist die „Quelle“, aus der auch unsere Sonne (und damit die Erde) ihre Energie bezieht.		
	Basiskonzepte (B) & Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-E1.6	Verbindung zu B-M1.6 und B-K1.6	M3 Einfache Rechenbeispiele zur Umwandlung mechanischer in Wärmeenergie	K1 Reibungsenergie im täglichen Leben, K2 Energie eines schnellen Autos.
B-E1.8	enger Bezug zu B-M1.8; Voraussetzung für B-K3.8; Vertiefung folgt in B-S3.10 und	M1, M2 Umwandlung mechanischer in elektrische Energie und umgekehrt?	K1: Strahlentherapie, K2 Kondensator als Energiespeicher für Fahrradbeleuchtung. K4: Strahlung der Sonne
B-E1.10	im Anschluss an B-M4.10 behandeln. Ch: Definition chemischer Energie?	M3 Rechenbeispiele zur Energiegewinnung durch Kernspaltung und Fusion	K1 Wärmehaushalt des Menschen K2 Versorgung mit mechanischer und thermischer Energie im täglichen Leben

B-E2	Energieerhaltung und Energieumwandlung Reversibilität		Sek I: 18 Std, Sek II: 6 Std
B-E2.8 B-E2.10 B-E2.12	<p>Könnenserwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>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.</p> <p>erklären, was eine Wärmekraftmaschine ist; ordnen den Begriff Wirkungsgrad richtig ein.</p> <p>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.</p>		
B-E2.8	<p>Energieerhaltung in der Mechanik</p> <p>Mechanische Energieerhaltung und Anwendungen (z. B. Geschwindigkeit nach Fall eines Körpers aus einer Höhe). Potenzielle und kinetische Energie. Hebelgesetz (Goldene Regel der Mechanik) und einfache Maschinen; kann aus Energieerhaltung (genauer Arbeit) mit $W = F \cdot s$ plausibel gemacht werden. Die Rolle von Reibungskräften.</p>	Jgg. 7/8	10 Std
B-E2.10	<p>Wärmekraftmaschinen und Kühlschränke</p> <p>Elementare Grundlagen der Wärmelehre. Wie funktioniert im Prinzip eine Dampfmaschine? Alternativ: Otto-Motor. Leistung, Wirkungsgrad. Irreversibilität bei der Energieumwandlung (Energieentwertung); Erläuterungen im Teilchenmodell.</p>	Jgg. 9/10	8 Std
B-E2.12	<p>Die Hauptsätze der Wärmelehre</p> <p>Hier sollte der Schwerpunkt auf dem 2. Hauptsatz liegen. Energieentwertung vs. Reversibilität. Einfache Veranschaulichungen zur Unmöglichkeit des Perpetuum Mobiles erster und zweiter Art. Bei besonders engagierten Lerngruppen: Einführung von Entropie.</p>		Jgg. 11/12 6 Std
	<p>Basiskonzepte (B) & Fächer (Ch, Bio, Math)</p>	<p>Methoden (M)</p>	<p>Kontexte (K)</p>
B-E2.8	<p>Ein Schlüsselbeispiel für Technikgrundlagen, eng verbunden mit B-K2.8, Voraussetzung für B-E3.8</p>	<p>M1-M4 einfaches Experiment, einfache Mathematik, überzeugende Modellbildung, M4: Energieerhaltungssatz als Hilfsmittel.</p>	<p>K1 Menschlicher Knochenbau; K2 Grundprinzip für viele techn. Geräte (z.B. Zange, Flaschenzug, Balkenwaage).</p>
B-E2.10	<p>folgt auf B-M2.10, eng abstimmen. Grundlage für Technik</p>	<p>M1 Demoversuche zum Stirlingmotor.</p>	<p>K2 wie im Prinzip alle Motoren funktionieren.</p>
B-E2.12	<p>vertieft B-E2.10, Grundlage für Technik.</p>	<p>M3 Mathematik zur Beschreibung von Maschinen; $p - V$ Diagramm. M4 Wirkungsgrad der idealen Wärmekraftmaschine. Realität. M4 Erhaltungssätze.</p>	<p>K2, K4 Energiebedarf und Wirkungsgrad.</p>

B-E3	Energieversorgung, Energietransport, Energiewirtschaft		Sek I: 20 Std, Sek II: 10 Std
B-E3.8	<p>Könnenserwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>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.</p>		
B-E3.10	<p>beschreiben anhand von Tabellenmaterial die Energiebilanz der Bundesrepublik und bewerten die verschiedenen Energieträger; vergleichen diese mit der eingestrahlteten Sonnenenergie; erklären, warum fehlende Energiespeicher ein Problem darstellen.</p>		
B-E3.12	<p>bewerten moderne Energiekonzepte (z.B. Energiewende) und ihren Einfluss auf Umwelt und Klima quantitativ und vergleichen Alternativen.</p>		
B-E3.8	<p>Elektromotor und Generator – Woher kommt die Energie?</p> <p>Wie wird aus elektrischer Energie mechanische Energie und umgekehrt. Wechsel- und Drehstrom. Energiequellen; Messgrößen; in welcher Form wird Energie transportiert? Wozu braucht man Hochspannungsleitungen? Wirkungsgrad, verschiedene Transportformen. Was bedeutet es physikalisch, wenn man sagt, Energie wird „verbraucht“ oder gar „verschwendet“?</p>	Jgg. 7/8	8 Std
B-E3.10	<p>Energiebilanz einer Industriegesellschaft</p> <p>Wieviel Energie braucht die Bundesrepublik? Die Welt? – In welcher Form? Regenerative vs. fossile Energie-„Erzeugung“. Kernspaltung, Kernfusion. Photovoltaik. Windräder. Problematik der Energiespeicherung.</p>	Jgg. 9/10	10 Std
B-E3.12	<p>Energietransport und Energiespeicherung</p> <p>Hier sollten die Themen der vorangehenden Module auf anspruchsvollem Niveau und an ein oder zwei ausgewählten Beispielen vertieft werden, z. B. Hochspannungsgleichstromübertragung; Wirkungsgrad von Windrädern; Prinzip von Wärmepumpen; Geothermie, Strom aus der Wüste, Fusionsreaktoren usw.</p>		
	<p>Basiskonzepte (B) & Fächer (Ch, Bio, Math)</p>	<p>Methoden (M)</p>	<p>Kontexte (K)</p>
B-E3.8	knüpft an B-K3.8 (Induktion) an, Ch: Voraussetzung K4.8, chemische „Energiequellen“	M1 und M2 einfache Modellaufbauten; M4: Erhaltungssatz.	K1 jeden betreffend, K2 Basis für Elektrotechnik, K3 Energieverbrauch und Umwelt
B-E3.10	Bio, Ch, Techn geht alle Disziplinen an.	M5, M6 recherchieren, vergleichen, Diagramme aufstellen, bewerten	K3 Einfluss des Energieverbrauchs auf Umwelt und Klima
B-E3.12	dito	dito	dito

Basiskonzept

Schwingungen und Wellen

B-S

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, z.B. beim Schaukeln auf dem Spielplatz oder als Wasserwellen in der Badewanne. Schwingungen von Musikinstrumenten und die Ausbreitung von Schallwellen erleben wir ebenso wie Licht- und Radiowellen täglich – in der Regel ohne sie als solche wahrzunehmen (man denke z. B. an die Farben von Seifenblasen und Schmetterlingsflügeln, das Abendrot und das Blau des Himmels, bildgebende Verfahren in der Medizin oder Informationsübertragung im Internet). Auch der Zugang zur Quantenmechanik führt über den Welle-Teilchen-Dualismus.

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

In der Schulphysik spielen Schwingungs- und Wellenphänomene bislang allerdings eine erstaunlich nebensächliche Rolle und werden – bis auf mechanische und akustische Phänomene – in der Regel erst in der Oberstufe eingehender behandelt, obwohl Schwingungen und Wellen in der Alltagswelt häufig zu beobachten sind und bereits 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 – z. B. für den sonntäglichen Spaziergang am See, bei dem man durch Steinwurf die Ausbreitung von Wasserwellen studieren und mit zwei Steinwürfen bereits dem Phänomen der Interferenz auf die Spur kommen kann. Die folgenden Schwerpunkte sollten behandelt werden.

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 als leicht zu demonstrierende Bewegung durch eine Pendelreihe von miteinander gekoppelten Fadenpendeln. Echte Wellen sind z. B. als Wasserwellen leicht beobachtbar und besonders einprägsam (**Jgg.** 5/6). Auch akustische Wellen können sichtbar gemacht werden. Im Laufe der Schuljahre sollen diese Begriffe und Phänomene zunehmend quantitativ behandelt werden (**Jgg.** 7/8), in den **Jgg.** 9/10 gilt dies auch für Interferenz, DOPPLER-Effekt und Resonanzphänomene.

B-S2 Licht als Phänomen: Das zentrale Schwerpunktthema ist das „Licht“ (gemeint ist in der Regel das gesamte elektromagnetische Spektrum). In den Jgg. 5/6 geht es um Licht, Schatten und Reflexion, sodann um Grundzüge der geometrischen Optik (Jgg. 7/8) – ohne in eine detaillierte mathematische Behandlung von Brechung, Linsen und Abbildungen einzutreten.

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](#).

B-S4 Elektromagnetische Strahlung und Energietransport: In Jgg. 9/10 werden Strahlungsenergie der Sonne und Energiebilanz Erde-Sonne eingeführt. Das Spektrum von Sonnenlicht wird qualitativ untersucht (sichtbares Maximum, UV- bzw. IR-Strahlung). 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.

B-S5 Wellen und Strahlung in Medizin und IT: Dieses wichtige, aber aus Zeitgründen knapp gehaltene Zwischenthema beschäftigt sich in der [Sek I](#) mit den Anwendungen von Schwingungen und Wellen in Technik und Medizin, mit besonderem Fokus auf bildgebende Verfahren und Informationstechnologie (IT), also u.a. mit der Rolle von elektromagnetischen Wellen beim Kodieren und Transportieren von Daten.

B-S6 Wellen und Quanten: Der Zugang zur Quantenmechanik sollte bereits in den Jgg. 9/10 über den Welle-Teilchen-Dualismus erschlossen werden, der anhand einfacher Beugungsphänomene von sichtbarem Licht und der Registrierung von Photonen veranschaulicht werden kann. In der [Sek II](#) wird dies vertieft und mit den Themen im Basiskonzept „Materie“ zusammengeführt.

Die nachfolgenden Tabellen geben eine Übersicht über die Inhalte, die wir für die Schwerpunkte des Basiskonzepts *B-S Schwingungen und Wellen* vorschlagen. Zu jedem der sechs Schwerpunkte gibt es jahrgangsspezifische Module, die in Spalte 1 der Tabellen entsprechend B-S n . j nummeriert sind. Dabei steht n für die Nummer des Schwerpunkts entsprechend der Übersicht in Tab. [B-1.2](#), während j die Schuljahrgänge kennzeichnet: $j = 6$ (Jgg.5/6); $j = 8$ (Jgg.7/8); $j = 10$ (Jgg.9/10); $j = 12$ (Jgg.11/12).

Für jedes Modul präsentieren wir zunächst „Könnenserwartungen“, welche diejenigen Kompetenzen beschreiben, die in der Regel tatsächlich erworben werden sollten.¹ Es folgt eine Aufzählung möglicher Inhalte, die in der Regel noch zu umfangreich sind, um sie in der empfohlenen Stundenzahl vollständig zu erarbeiten. Hier sollten die Lehrenden 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 entsprechen.

¹Die Könnenserwartungen verstehen wir als Regelstandards.

Tabellen B-S1 bis B-S6 zum Basiskonzept *B-S Schwingungen und Wellen*:

Schwerpunkte (nach Übersicht Tab. B-1.2) und Module mit empfohlenen Stundenzahlen in der *Sek I* pro Doppeljahrgang (in der *Sek II* für den *GK*). Jedem Schwerpunkt vorangestellt werden „**Könnenserwartungen**“ an die Schüler (*LERSCH, 2010*), die für einen erfolgreichen Abschluss erforderlich sind. Es folgt eine Aufzählung möglicher Inhalte. Spalte 1: Nummerierung nach Jahrgang; Spalte 2 (unten): Erforderliche Vorkenntnisse aus bzw. Verknüpfungen zu den *anderen Basiskonzepten* (Kap. B-M Materie, Kap. B-K Kräfte und Wechselwirkungen, Kap. B-E Energie) sowie aus bzw. zu den Fächern *Ch:=Chemie, Bio:=Biologie, Math:=Mathematik*; Spalte 3 (unten): Hinweise zu *M Methoden* (Tab. B-1.1); Spalte 4 (unten): Hinweise zu relevanten *Kontexten, K* (Tab. B-1.1).

B-S1	Schwingungs- und Wellenphänomene in Alltag und Technik		Sek I: 25 Std
	Könnenserwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...		
B-S1.6	beobachten Schwingungen und beschreiben sie als <i>periodischen</i> Vorgang, kennen den Begriff Schwingungsdauer; erzeugen Wasserwellen durch Störung der Wasseroberfläche; identifizieren Wellenlänge und Amplitude.		
B-S1.8	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.		
B-S1.10	beschreiben Wellen als <i>periodischen</i> Vorgang in Ort <i>und</i> 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-S1.6	Phänomene und einfache Experimente	Jgg. 5/6	9 Std
	Am Anfang stehen einfache Experimente; z.B. Schwingungsdauer von Schaukeln, Uhrpendeln, Tonhöhe und Frequenz einer Saite oder eines Rohres (wovon hängen sie ab, wovon nicht?); Wasserwellen: Schulung der Beobachtungsfähigkeit (Wellenwanne, Hausaufgabe für Wochenendspaziergang am See: verfolgen von Wellenausbreitung und ggf. Interferenz); Akustische Wellen vor einem großen Lautsprecher, Echo (Reflexion von Schall), Schallgeschwindigkeit (einfaches Bsp.: Gewitter, Blitz und Donner).		
B-S1.8	Mechanische + akustische Schwingungen & Wellen	Jgg. 7/8	8 Std
	Quantitative Beobachtungen: funktionale Zusammenhänge durch graphische Darstellung, wir tragen T^2 als Funktion der Pendellänge auf; $T^2 \propto \ell$, aber nicht abhängig von der Masse – im Gegensatz: Federpendel $T^2 \propto k/m$, Begriff Frequenz $f = 1/T$, Bestimmung der Wellenlänge als Funktion der Frequenz in der Akustik $\lambda \cdot f = c$. Qualitative Beschreibung des DOPPLER-Effekts (was hören wir, wenn die Feuerwehr vorbeifährt). Qualitative Beschreibung der Interferenz von Wellen (Wellenwanne, zwei Steine in ruhige Wasserfläche werfen). Größenordnungen von Wellenlängen und Frequenzen.		
B-S1.10	Quantitative Beschreibung und weitere Phänomene	Jgg. 9/10	8 Std
	Wellen als <i>periodischer</i> Vorgang in Ort und Zeit: Interferenzphänomene in Mechanik und Akustik vertiefen; wo gibt es Maxima bzw. Minima? Energietransport in Wellen. DOPPLER-Effekt quantitativ. Alternativ: Resonanzphänomene (z.B. Musikinstrumente, Tacoma-Narrows-Bridge-Film).		
	Basiskonzepte + Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-S1.6	Benötigt kaum Vorkenntnisse; B-S2.6 kann daran bereits anknüpfen; B-K2.6 und B-K1.6 können folgen.	M1, M2, M5 auf elementarem Niveau angesprochen	an Erfahrungen K1 anknüpfen, Beobachtung schärfen, erweitern
B-S1.8	Hinweis auf B-S2 und B-S3 geben, Verbindung zu B-K2.8. Math: einfache Funktionen	M2: Internationales Maßsystem, SI (Dimensionsanalyse)	(z.B. Sichtbarkeit einer „Wellenlänge“?). Vielfältige Bedeutung in K2 besprechen.
B-S1.10	Math: Kenntnis der trig. Funktionen hilfreich	M1, M4 Was bedeutet „die Schallmauer durchbrechen?“	K4: Tsunami, Erdbebenwellen

B-S2	Licht als Phänomen		Sek I: 17 Std
B-S2.6	Könnenserwartungen: 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.		
B-S2.8	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-S2.6	Grundbegriffe Licht und Schatten, geradlinige Ausbreitung von Licht; Reflexion und Brechung – einfache Experimente (z. B. Lochkamera), Licht und Farbe (Prisma, Farbzerlegung vs. Addition – weiße LED, erste Einführung – Lichtstreuung).	Jgg. 5/6	9 Std
B-S2.8	Geometrische Optik Versuche mit Spiegeln; Brechungsgesetz qualitativ; Totalreflexion; Bildentstehung an Linsen: qualitative Erklärung, Fokus, Sammel- und Zerstreuungslinsen, Strahlengänge – keine quantitative Bearbeitung der Linsengleichung, die traditionell einen breiten Raum einnimmt. Funktionsweise von Brillen und Lupen, das menschliche Auge; Teleskope.	Jgg. 7/8	8 Std
	Basiskonzepte (B) + Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-S2.6	Direkt im Anschluss an B-S1.6: Ähnlichkeit Licht-Schall (Reflexion, Echo, Geschwindigkeit, Bsp. Blitz und Donner); noch keine Mathematik, $\alpha_{ein} = \alpha_{aus}$	M1: Versuche mit Licht und Schatten; M2: Messunsicherheit bei Abb. mit Linsen.	K2: Hinweis auf große Bedeutung für IT, Lichtsignale als einf. Bsp.; K3: Warum ist der Himmel blau? Und das Abendrot rot?
B-S2.8	Hinweis auf B-S3.8; Math: trig. Funktionen erst in 9/10; also rein qualitative Darstellung	M4: Lichtstrahl als Modell	K1: das menschliche Auge als Bsp. für Linse, Kurz- und Weitsichtigkeit, Brillen

B-S3	Licht als elektromagnetische Welle		Sek I: 14 Std Sek II: 10 Std
B-S3.8	Könnenserwartungen: 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.		
B-S3.10	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.		
B-S3.12	benutzen die Abbildungsgleichung für dünne Linsen; behandeln Beugungs- und Interferenzexperimente quantitativ; erklären Mikroskop und Fernrohr und deren Auflösungsvermögen.		
B-S3.8	Elektromagnetische Wellen und Spektrum Anschließend an B-K3.8: einfache Versuche mit Schwingkreisen und HERTZ'schem Dipol, Wellenausbreitung (phänomenologisch). Das Spektrum der elektromagnetischen Wellen (Wellenlängen und Frequenzen, Phänomene, Erzeugung und Anwendungsfelder).	Jgg. 7/8	6 Std
B-S3.10	Beugung und Interferenz HUYGEN-FRESNEL-Prinzip, DOPPLER-Effekt, quantitative Beschreibung der Beugungsbilder am Doppelspalt (YOUNG). Beugungsgitter, Interferenzfilter, Farben der Schmetterlinge, Öllachen, Seifenblasen; Einführung in das Auflösungsvermögen optischer Instrumente. DOPPLER-Effekt.	Jgg. 9/10	8 Std
B-S3.12	Elektromagnetische Wellen und Licht Hier soll wiederholt und quantitativ vertieft werden, was in B-S2 und B-S3 in der Sek I rein qualitativ behandeltet wurde – von der geometrischen Optik, über eine quantitative Beschreibung von Wellen, Beugung und Interferenz bis hin zum Auflösungsvermögen optischer Instrumente. Einige Quellen für elektromagnetische Wellen (Radio, Mikrowelle, TV, WLAN usw., evtl. Grundprinzip des Lasers).		
	Basiskonzepte (B) & Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-S3.8	Baut auf B-K3.8 auf (Elektr. und magnet. Felder, Induktion).	M2 und M4	K2 Radio, TV, Mikrowelle, IR, Internet
B-S3.10	anknüpfen an B-S1.10; Math: trigonometrische Funktionen wären hilfreich; Bio: Farben in der Natur durch Interferenz.	M5 Experimente und Modellierung von einfach zu beobachtenden Phänomenen (Bsp. DOPPLER-Effekt)	K1+K3 vielfältige Interferenzphänomene in Alltag und Natur; K3 Energieversorgung durch Photovoltaik.
B-S3.12	Verbindung mit B-S1.10 vgl. Schallmauer vs. CERENKOV-Strahlung, Auflösungsvermögen	M2 und M5: experimentieren und analysieren	K2: zahlreiche techn. Anwendungen

B-S4		Elektromagnetische Strahlung und Energietransport		Sek I: 6 Std Sek II: 10 Std
	Könnenserwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...			
B-S4.10	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.			
B-S4.12	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 CO ₂ -Anteils in der Atmosphäre; bewerten die aktuell diskutierten Klimaziele (2 °C).			
B-S4.10	Die Strahlung unserer Sonne	Jgg. 9/10	6 Std	
	Strahlung unserer Sonne – ein Bsp. für PLANCK'sche Strahlungsverteilung (qualitativ, wo liegt das Maximum als Funktion der Temperatur), Strahlungsintensität oberhalb der Atmosphäre (Solarkonstante): STEFAN-BOLTZMANN-Gesetz (Strahlung $\propto T^4$). Temperatur auf der Sonnenoberfläche, Strahlungsbilanz Erde-Sonne, fiktive Erdtemperatur ohne Treibhausgase; Einführung in die Rolle der Treibhausgase. Effizienz von Glühbirnen vs. LED als Lichtquellen.			
B-S4.12	Elektromagnetische Strahlung auf der Erde, Klima, Umwelt	Jgg. 11/12	10 Std	
	Formulierung des Intensitätsbegriffs, Strahlungsintensitäten verschiedener Quellen (vom Mobilfunk über Mikrowelle bis WLAN), Größenordnungen, Abstandsabhängigkeit; Sonnenspektrum oberhalb der Erdatmosphäre und auf der Erdoberfläche (Rolle der Atmosphäregase, speziell CO ₂ , Wasserdampf, Methan; Treibhauseffekt). Klima und Wetter, Einflussgrößen. CO ₂ Konzentration während der Erdgeschichte, während der letzten 200 und der letzten 50 Jahre (antropogener Treibhauseffekt). 2 °C Klima-Ziel.			
	Basiskonzepte (B) & Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)	
B-S4.10	knüpft an B-S3.8 an; komplementär zu B-E3.10	M3 STEFAN-BOLTZMANN-Gesetz $\propto T^4$ bestimmt Erdtemperatur; M2, M4, M5: Größenordnungen abschätzen, Einheiten.	K3 Klima, Wetter, Kyoto-Protokoll; K4 Energiepolitik.	
B-S4.12	Baut auf B-S3.12 auf; komplementär zu B-E3.12	M6: Informationen sammeln und bewerten	K3: Wetter, Klima, Umwelt	

B-S5	Wellen und Strahlung in Medizin und IT		Sek I: 8 Std
B-S5.8	Könnenserwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ... wissen, was Ultraschall ist; beschreiben das Geschwindigkeitsradar der Polizei und Ultraschall in der Medizin; berechnen sinnvolle Frequenzen für medizinische Anwendungen.		
B-S5.10	erklären, wie optische Datenübertragung funktioniert; beschreiben das Prinzip einer Röntgenaufnahme.		
B-S5.8	Ultraschall und Radar in Medizin und Verkehr Hier sollen einige wichtige Anwendungsbeispiele von Wellen in kompakter Form behandelt werden, z. B.: Ultraschall-Echo, Schwangerschaftsdiagnostik, Radar (auch DOPPLER-Radar). Therapeutischer Einsatz von Ultraschall.	Jgg. 7/8	4 Std
B-S5.10	Optische Datenübertragung und Röntgendiagnostik Fortsetzung wichtiger Anwendungsbeispiele von Wellen in Medizin und Technik: z.B. WLAN; Infrarotsensorik; Datentransport mit el. magn. Wellen, Glasfaserkabel (Totalreflexion). RÖNTGEN-Diagnostik in Medizin und Technik; Computertomogramm (CT); Magneto-Resonanz-Tomographie (MRT).		
	Basiskonzepte (B) & Fächer (Ch, Bio, Math)	Methoden (M)	Kontexte (K)
B-S5.8	B-S1.8 Ultraschall, DOPPLER-Effekt.	M1, M2: Einfache Demonstrationsexperimente.	K1: Prinzip der medizinischen Ultraschalldiagnostik.
B-S5.10	B-S3.8 Optische Glasfasern (Totalreflexion), B-S3.10 Licht als el.magn. Welle. B-M3.10 Röntgenstrahlung (Erzeugung genauer in Oberstufe); Bio: Hinweis auf Strahlenschutz	M3, M4: Digitale Speicherung von Bildern und Musik, Kodierung und Dekodierung von Daten.	K2: Optische Datenübertragung und Internet. K1, K2: Prinzip der medizinischen und technischen Diagnostik mit RÖNTGEN-Strahlung.

B-S6	Wellen und Quanten		Sek I: 9 Std Sek II: 14 Std
B-S6.10	<p>Könnenserwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>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.</p>		
B-S6.12	<p>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: $\lambda_e \simeq d$).</p>		
B-S6.10	<p>Einführung in den Welle-Teilchen-Dualismus</p> <p>Das, was bislang über Wellen gelernt wurde, öffnet nun endlich die Türen zur modernen Physik. Es geht darum, den Schülern zumindest eine Ahnung von den Grundlagen der modernen Quantentheorie zu geben. Am Anfang sollten wieder Experimente stehen (in der Regel (mindestens teilweise) als Video)*: Das Beugungsbild eines Laserstrahls am Doppelspalt wird a) auf konventionelle Weise registriert und b) durch Teilchenzählung im extrem abgeschwächten Licht (dazu vorzüglichen Videos im Web)*. Von hier aus lässt sich die Wahrscheinlichkeitsdeutung der QM auf einfachem, anschaulichem Niveau verständlich machen. Photoelektrischer Effekt sollte qualitativ erarbeitet werden. Die DE BROGLIE-Wellenlänge wird phänomenologisch eingeführt und die Unschärferelation wird diskutiert. Grundkonzept eines Elektronenmikroskops.</p>	Jgg. 9/10	9 Std
B-S6.12	<p>Quantenphysik</p> <p>Im Grunde ganz ähnliche Inhalte, weitere Experimente (z.B. COMPTON-Effekt), jetzt auch mit der entsprechenden Mathematik; DE BROGLIE, HEISENBERG'sche Unschärferelation, Gedankenexperimente, Grundidee der SCHRÖDINGER-Gleichung, Wellenfunktion und Wahrscheinlichkeitsinterpretation, Photonen als Bosonen.</p>		Jgg. 11/12 14 Std
	<p>Basiskonzepte (B) & Fächer (Ch, Bio, Math)</p>	<p>Methoden (M)</p>	<p>Kontexte (K)</p>
B-S6.10	<p>Folgt auf B-S1.10 und B-S3.10: Beugung am Doppelspalt mit mechan. Wellen (Wellenwanne) und Licht. Math: Vermittlung einiger Grundbegriffe zur Wahrscheinlichkeit <i>ad hoc</i>.</p>	<p>M1 Photonen zählen, M3 keine Differenzialgleichung, aber plausible Annahmen zur Wellenlänge im Potenzial. M4 Modelle für Licht, M7 Grundlagen der Quantisierung</p>	<p>Grundfragen unseres Naturverständnisses an der Grenze zur Philosophie; K1 und K2 Erwähnung von e-Mikroskopie und e-Beugung in Biologie, Medizin und Technik, Lithographie und IT</p>
B-S6.12	<p>mit B-M3.12 zusammenführen</p>	<p>M4 Energieerhaltung bei Absorption und Emission, M7 BOHR'sches Atommodell und Wellenfunktion, Quantisierung der Energie, Emission von elektromagnetischer Strahlung</p>	<p>Grundlegendes Naturverständnis</p>

* siehe z. B. [DIMITROVA und WEIS \(2008\)](#); am Ende der Website zu dieser Arbeit findet man ein sehr schönes Video. Das Experiment wird (erwartungsgemäß) auch mit ‚echten‘ Einzelphotonenquellen bestätigt (siehe [JACQUES et al., 2006](#); [ROCH et al., 2015](#), eindrucksvolles Video).

Wir haben bereits darauf hingewiesen, dass die Schwerpunkte der vier Basiskonzepte nicht unabhängig voneinander vermittelt werden können. Vielmehr gibt es zahlreiche Verbindungen und Abhängigkeiten zwischen den oben skizzierten Modulen in den einzelnen Jahrgängen (Jgg.), auf die wir in den obigen tabellarischen Übersichten zu den fachlichen Inhalten spezifisch hingewiesen haben (jeweils in der Mitte der Tabellen, erste Spalte). Daher muss die Abfolge der Module sorgfältig geplant werden: Meist ist die erfolgreiche Vermittlung und Erarbeitung eines Moduls nur möglich, wenn die Schüler und Schülerinnen über einen gewissen Fundus an Kompetenzen verfügen. Dieses Faktenwissen und Begriffsverständnis muss ebenso wie die notwendige Erfahrung mit Experimenten und mit dem Einsatz von mathematischen Hilfsmitteln oder die Fähigkeit physikalische Sachverhalte zu formulieren usw. in vorangehenden Modulen erworben und geübt worden sein. Die zeitliche Abfolge der Module innerhalb einer Jahrgangsstufe ist also nur selten willkürlich wählbar und sollte so gestaltet werden, dass jeweils alle notwendigen Voraussetzungen zumindest bekannt sind und nach Möglichkeit bereits zu den routinemäßig verfügbaren Kompetenzen gehören. Auch ist zu beachten, dass in einer Reihe von Fällen mehrere Module (z. T. im Rahmen verschiedener Basiskonzepte) recht ähnliche Inhalte behandeln und sich gegenseitig ergänzen. Sie können also je nach Schwerpunktsetzung ggf. sogar zusammengelegt werden.

Die zeitliche Abfolge der in den vorangehenden Tabellen skizzierten Module muss sorgfältig geplant werden.

Nachfolgend skizzieren wir einen Pfad für eine unseres Erachtens mögliche und sinnvolle Abfolge der Module, bei der diese schlüssig aufeinander aufbauen können. Eine kompakte Übersicht dieser Abfolge gibt Tab. B-6.1 auf Seite B41, die auch als Tab. 3.8 im Hauptteil der Studie reproduziert wird.

Erinnert sei hier noch einmal daran, dass die genannten Schulstundenzahlen im Sinne der 60:40 Regel zu lesen sind: 60% der Zeit sollten für den Stoff verplant werden, 40% der Zeit sollten für Unvorhergesehenes und Spontanes vorgehalten werden.

B-6.1 Sek I, Jahrgänge 5/6

In den Jgg. 5/6 wird Physik meist im Verbund *Naturwissenschaften* oder *Naturwissenschaften und Technik* u.ä. gelehrt. Es sollte aber darauf geachtet

werden, dass wichtige physikalische Grundbegriffe und Methoden frühzeitig und so sicher erarbeitet und erprobt werden, dass sie in späteren Jahrgängen ohne Problem wiedererkannt und vertieft werden können. In den oben skizzierten Inhalten der vier Basiskonzepte sind insgesamt 48 Schulstunden für diese Einführung vorgesehen. Weitere 8 Std stehen für ergänzende Themen und Vertiefungen zur Verfügung, welche von den Lehrkräften nach Bedarf genutzt werden können. Als mögliche, zusammenhängend vermittelbare Abfolge der Module schlagen wir vor:

Zum Auftakt des Doppeljahrgangs 5/6 sollte man mit einem schülernahen Thema beginnen. Traditionell ist das oft „Licht und Schatten“ (hier Modul [B-S2.6](#)). Wir schlagen statt dessen Modul [B-S1.6 Phänomene und einfache Experimente \(Schwingungen und Wellen in Alltag und Technik\)](#) (9 Std) vor, wo Schwingungen, Wasserwellen und einfache akustische Phänomene eingeführt werden, was an die Erfahrungswelt der Schüler direkt anknüpft und sie zu weiterer aktiver Naturbeobachtung anregt. Wenn danach Modul [B-S2.6 Grundbegriffe zu Licht als Phänomen](#) (9 Std) folgt, so kann man bereits zu diesem Zeitpunkt darauf hinweisen, dass es sich bei Licht ebenfalls um ein Wellenphänomen handelt, auch wenn das hier noch nicht vertieft werden kann.

Folgen könnte ein ganz kurzer Abstecher zu [B-K5.6 Schwimmen und Schweben](#) (2 Std), womit ein auch für ganz junge Schüler schon faszinierendes Phänomen zumindest angesprochen wird (ARCHIMEDES). Daran könnte sich eine erste Begegnung mit der Mechanik anschließen im Modul [B-K2.6 Gleichgewicht, Kinematische Grundbegriffe](#) (6 Std). Daran mag sich die Frage anschließen, wie Bewegung entsteht, sodass man – sehr vorsichtig und von Alltagsbegriffen ausgehend – an das Modul [B-K1.6 Einführung in Arten von Kräften und Wechselwirkungen](#) (8 Std) gehen könnte, um einen ersten Einblick in die physikalische Begriffswelt zu geben. Nahtlos kann dies durch den sehr kurzen Exkurs [B-E3.6 Energie im täglichen Leben](#) (2 Std) ergänzt werden. Darauf aufbauend könnte das Modul [B-M1.6 Grundlagen zu Teilchen und Aggregatzuständen](#) (6 Std) erstmals den Teilchenbegriff einführen. Modul [B-E1.6 Mechanische Energie, Wärme](#) (6 Std) bildet schließlich einen guten Abschluss des Doppeljahrgangs.

Die restlichen, frei verfügbaren 8 Std sollten bedarfsgerecht so gestaltet werden, dass in ihnen besonders schwer zu vermittelnde Begriffe noch einmal aufgegriffen und vertieft werden.

B-6.2 Sek I, Jahrgänge 7/8

Am Anfang könnte das Modul [B-S2.8 Geometrische Optik](#) (8 Std) stehen, das lediglich Modul [B-S2.6](#) voraussetzt. Danach könnte, ebenfalls recht konventionell, der mechanische Teil von Modul [B-K1.8 Schwerkraft und Kräfte auf elektrische Ladungen](#) (22 Std) folgen, wobei man sinnvollerweise vor dem Übergang zur Elektrizität Modul [B-S1.8 Mechanische u. akustische Schwingungen und Wellen](#) (8 Std) einschieben könnte. Bevor man dann zu Modul [B-K1.8](#) zurückkommt und Elektrizität behandelt, sollte ein früher, kurzer und sehr phänomenologischer Blick ins Innere der Atome stehen:

Modul *B-M3.8* führt *positive und negative Ladungen im Atom* ein (5 Std). Nach Abschluss des elektrischen Teils von Modul *B-K1.8* schließt sich nahtlos *B-K2.8 Mechanische, Elektrische, Magnetische Kräfte – Gleichgewicht, Bewegung, Beschleunigung* (18 Std) an.

Auf dieser Basis kann sodann *B-M1.8 Teilchenmodell: Atome und Moleküle* (9 Std) behandelt werden. Daran könnte sich gut ein kurzer Exkurs zu den Anwendungen im Rahmen des Moduls *B-S5.8 Ultraschall und Radar in Medizin und Verkehr* anschließen (4 Std). Sodann sollte Modul *B-K3.8 Grundlagen des Feldbegriffs, Induktion* (8 Std) erarbeitet werden. Dies ist zugleich die Vorbereitung für Modul *B-S3.8 Elektromagnetische Wellen und Spektrum* (6 Std), sodass diese beiden Module auch sinnvoll kombiniert werden können.

An dieser Stelle sind wir gut vorbereitet, um das bisher Gelernte aus dem Blickwinkel Energie zu betrachten. Wir können in direkter Abfolge alle Module der *Jgg. 7/8* behandeln, die aufeinander aufbauen: *B-E1.8 Mechanische und elektrische Energie, Strahlungsenergie* (6 Std), *B-E2.8 Energieerhaltung in der Mechanik* (10 Std) und *B-E3.8 Elektromotor und Generator – Woher kommt die Energie?* (8 Std). Alternativ können die Module zum Basiskonzept *Energie* auch sinnvoll mit den Modulen *B-K1.8* und *B-K2.8* verbunden werden.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, einzelne Aspekte im Rahmen der noch frei verfügbaren 6 Std zu vertiefen.

B-6.3 Sek I, Jahrgänge 9/10

Dieser Doppeljahrgang könnte mit drei wichtigen Schwerpunktthemen aus der Mechanik beginnen, alle zum Basiskonzept Kraft und Wechselwirkungen gehörig: Modul *B-K2.10 Kräfte als Vektoren, Impuls und Impulserhaltung* (10 Std), was ergänzt wird durch Modul *B-K3.10 Gravitation und COULOMB-Kraft; Himmelsmechanik* (8 Std), gefolgt von Modul *B-K5.10 Eigenschaften von Gasen und Flüssigkeiten* (9 Std). Anschließen könnte sich der mikroskopische Blick auf den Temperaturbegriff, der im Modul *B-M2.10 Temperatur und Energie* (7 Std) behandelt wird.

Danach sollten drei Module zum Basiskonzept *Schwingungen und Wellen* folgen, und zwar *B-S1.10 Quantitative Beschreibung und weitere Phänomene in Alltag und Technik* (8 Std) und *B-S3.10 Beugung und Interferenz (von Licht)* (8 Std), die in den *Jgg. 7/8* gut vorbereitet wurden.

Daran könnte sich Modul *B-M3.10 Hülle und Atomkern* (8 Std) anschließen, wobei z.T. offene Fragen aus den vorangehenden Modulen beantwortet werden, was dann durch Modul *B-M4.10 Atomkerne und Radioaktivität* (7 Std) zu ergänzen wäre. Damit sind die Schüler auch vorbereitet auf weitere Anwendungsaspekte, die Modul *B-S5.10 Optische Datenübertragung und Röntgendiagnostik* (4 Std) ergänzend zu *B-S5.8* einführt.

Sinnvoll folgen dann die gut aufeinander abgestimmten Module *B-E1.10 Wärmeenergie, chemische Energie, Kernenergie* (10 Std), *B-E2.10 Wärmekraftmaschinen und Kühlschränke* (8 Std) und *B-E3.10 Energiebilanz einer Industriegesellschaft* (10 Std).

Als krönender Abschluss folgt eine erste Einführung der Quantenphysik mit Modul *B-S6.10 Einführung in den Welle-Teilchen-Dualismus* (9 Std). Für Wahlthemen lässt das sehr dichte Programm leider keinen Raum.

B-6.4 Sek II, Jahrgänge 11/12, Grundkurs

Die Hoffnung, man könne in der **Sek II** die meisten der noch offenen physikalischen Kernfragen nun gründlich vertiefen, lässt sich bei genauer Durchsicht der Themen und sorgfältiger Abwägung zwischen möglicher Breite und Tiefe leider nicht erfüllen. Wir geben der größeren Tiefe den Vorrang und schlagen daher an zwei Stellen Wahlthemen vor: im Basiskonzept *Materie* und bei *Kräften und Wechselwirkungen*. Unter den vorgeschlagenen Modulen könnte nach Interessenlage von Lehrkräften und Schülern sehr bewusst gewählt werden. Auch parallele Kurse mit unterschiedlichen Schwerpunkten sind in der **Sek II** durchaus realisierbar.

Beginnen könnte jeder dieser Grundkurse mit den beiden aufeinander abgestimmten Modulen *B-K2.12 Impuls, Drehimpuls, Erhaltungssätze* (10 Std) und *B-K4.12 Grenzen der NEWTON'schen Mechanik* (10 Std) zum Basiskonzept *Kräfte und Wechselwirkungen*. Hier werden auch Grundlagen für die im folgenden zu behandelnden Quantenphänomene erarbeitet. Modul *B-S6.12 Quantenphysik* (14 Std) vertieft das bereits in den **Jgg. 9/10** zu diesem Schwerpunkt Gelernte, und (darauf aufbauend) könnten mit Modul *B-M3.12 Die Elektronenhülle* (18 Std) solide Grundlagen für ein physikalisches Verständnis der Atomstruktur gelegt werden – ohne bereits in spektroskopische Details eindringen zu wollen. Hieran würde sich zwanglos eines der Wahlpflichtmodule anschließen: *B-M4.12 Elementarteilchen* oder *B-M5.12 Festkörper und Halbleiter* oder *B-M6.12 Materie im Universum – wie die Kerne entstanden sind* (jeweils 10 Std).

Folgen könnten die Module *B-S3.12 Elektromagnetische Wellen und Licht* (10 Std) und *B-S3.12 Elektromagnetische Strahlung auf der Erde, Klima, Umwelt* (10 Std). Aus dem Blickwinkel Energie runden schließlich die Module *B-E2.12 Die Hauptsätze der Wärmelehre* (6 Std) und *B-E3.12 Energietransport und Energiespeicherung* (10 Std) das Programm ab. Beide bauen auf das in den **Jgg. 9/10** in den entsprechenden Schwerpunkten Gelernte auf.

Abschließend wäre eines der Wahlmodule *B-K3.12 Felder und Kräfte* oder *B-K5.12 Grundbegriffe der Hydromechanik* (jeweils 14 Std) zu behandeln – beide umfassen wichtige Themen der Physik, aus denen man wegen der begrenzten Zeit aber eine Auswahl treffen muss, um sie in angemessener Tiefe behandeln zu können.

Tab. B-6.1: Als sinnvoll eingeschätzte Abfolge der Schwerpunktthemen und Module zu den vier Basiskonzepten (s. Tab. B-1.2: **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-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		
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		
	Elektromagn. Wellen + Licht	Strahlung, Erde, Klima	Hauptsätze der Wärmelehre	Energietransport, Energiespeicherung	Felder und Kräfte oder Grundbegriffe der Hydromechanik		

B-6.5 Abschließende Bemerkungen zum Gesamtablauf

Die hier skizzierte Abfolge der verschiedenen Module zu den vier Basiskonzepten ist *ein möglicher Vorschlag*, der eine konsistente, fachlich aufeinander aufbauende Erarbeitung der Inhalte aus vorangehenden Kapiteln ermöglicht. Natürlich *sind auch bei dieser zeitlichen Abfolge Alternativen möglich* – ebenso wie bei der Stoffauswahl.

Das hier vorgestellte Konzept hat somit den Charakter einer *Machbarkeitsstudie*, die weiter ausgearbeitet werden muss. Insbesondere sind die Verbindung von fachlichen Inhalten mit Methoden und Kontexten in den Tabellen nur angedeutet und müssen im Detail ausgearbeitet werden. Ein solches Gesamtkonzept muss schließlich durch eine intensive Erprobungsphase laufen – ehe daraus ein tatsächlich verbindlicher Rahmenlehrplan für das Schulfach Physik werden kann. Das überschreitet naturgemäß den Rahmen und Zeithorizont der hier vorgelegten Studie bei Weitem.

Alternative für den Physikunterricht in der Sekundarstufe II

B-7

In den vorangehenden Ausführungen haben wir einen konkreten Vorschlag für einen Physiklehrplan vorgestellt, der die Fachinhalte über die gesamte Schulzeit, also sowohl in allen Jahrgängen der **Sek I** wie auch in der **Sek II** ausschließlich anhand der in dieser Studie weiterentwickelten vier Basiskonzepte strukturiert. Die beiden anderen Dimensionen des in **Abb. 3.1** im Hauptteil der Studie illustrierten Inhaltsraumes (K: schülernahe und gesellschaftsrelevante Kontexte und M: Methoden) werden in dieser Gliederung im Rahmen einzelner Themen angesprochen, wenn sie sich sinnvoll in den jeweiligen Inhalt einfügen und möglichst den Lernprozess unterstützen. In den tabellarischen Übersichten werden darüber hinaus zu jedem Unterrichtsmodul Vorschläge zur Einbindung von Methoden und Kontexten in den inhaltlichen Rahmen gemacht.

Den Schwerpunkt der obigen Überlegungen bildete dabei die **Sek I** und der Grundkurs in der **Sek II**. Für das erhöhte Anforderungsniveau (**LK**) in der gymnasialen Oberstufe haben wir dabei keine detaillierte Ausarbeitung von Unterrichtsmodulen vorgelegt – letztlich sollte in diesem Rahmen große Gestaltungsfreiheit bestehen. Lediglich in der Übersichtstabelle **B-1.2** wurde angedeutet, welche Schwerpunkte ein Leistungskurs mit welchen Stundenzahlen setzen könnte.

Nun ist die konkrete zeitliche Abfolge der Fachinhalte in den vorgestellten Lehrplänen nicht ausschließlich durch die Basiskonzepte zu bestimmen, wie wir in Kap. **B-6** besprochen haben. Und so ist auch die vorgestellte Gliederung des mehrdimensionalen Inhaltsraums anhand der Basiskonzepte keineswegs die einzig mögliche. Im Folgenden soll daher für die gymnasiale Oberstufe eine alternative Strukturierung anspruchsvoller Inhalte vorgestellt werden, die sich ebenfalls nicht an der reinen Fachsystematik orientiert, sondern stärker an Kontexten. Auf der Basis der in der **Sek I** bereits erarbeiteten physikalischen Grundkenntnisse ermöglicht auch diese in sich kohärente und übersichtliche Struktur ein sinnvolles exemplarisches Lehren und **kumulatives** Lernen. Eine detaillierte Ausarbeitung von Unterrichtsmodulen mit zugeordneten Stundendeputaten wird hier nicht vorgestellt. Die Inhalte sind z.T. sehr anspruchsvoll und dürften sich insbesondere für den Aufbau von attraktiven Physikleistungskursen eignen.

B-7.1 Inhaltsbereiche

Der Vorschlag gliedert die Physik der gymnasialen Oberstufe in drei Inhaltsbereiche, die sich ebenfalls nicht direkt an der Fachsystematik orientieren, sondern physikalische Phänomene auf drei sehr *unterschiedlichen Längenskalen* zusammenfassen. Gleichzeitig erfüllen sie in besonders einleuchtender Weise Nähe zu schülernahen und gesellschaftsrelevanten Kontexten und verdeutlichen die praktische wie auch die intellektuelle Relevanz des erworbenen physikalischen Wissens.

1. PHYSIK IN ALLTAG UND TECHNIK
2. QUANTENPHYSIK UND MODERNE TECHNOLOGIEN
3. KOSMOS UND ELEMENTARTEILCHEN

Physik in Alltag und Technik verbindet die Ansprüche, einerseits die Welt, die uns umgibt, zu erklären und andererseits das bedeutende Themenfeld der Technik angemessen in den Physikunterricht zu integrieren.

Quantenphysikalische Effekte sind Grundlage für eine Vielzahl moderner Technologien (Halbleitertechnologie, Laser, Solarzellen, usw.), mit denen verdeutlicht werden kann, wie bedeutend die Physik für unsere moderne Gesellschaft ist. Gleichzeitig ist die Quantenphysik ein Beispiel für Naturgesetze, die nicht unmittelbar anschaulich erschließbar sind und des Einsatzes gezielter Experimente und geeigneter Modelle bedürfen.

Der Kosmos fasziniert seit jeher die Menschen und sollte in der Schule ausreichend genutzt werden, um Interesse für die Physik zu wecken. In diesem dritten Bereich geht es nicht zuletzt darum, sich ein Bild von unserer Welt zu machen. Hier erscheint es möglich, die Hochenergiephysik mit Astrophysik und Astronomie zu verbinden.

1 PHYSIK IN ALLTAG UND TECHNIK

Mit den **Schwerpunkten: Wärme, Felder und Wellen**

- Der Inhaltsbereich ist eigentlich eine Fortsetzung von Themen, die in der **Sek I** behandelt wurden, und ergänzt diese.
- Es geht um physikalische Phänomene, die sich auf der Längenskala des Menschen abspielen, die mit unseren Sinnen wahrnehmbar sind und die für technische Anwendungen eingesetzt werden.
- Die Leitideen Felder und Wellen aus den „Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (EPA)“ der **KMK (2004)** können übernommen werden und werden durch den Bereich Wärme ergänzt.

WÄRME

Der Inhaltsbereich betrifft Kernfragen über die Entwicklung der Gesellschaft, da Energieversorgung, deren Entwicklung und der Einfluss auf das Klima aktuelle Herausforderungen der Menschheit sind. Wesentliche Aspekte dieser Themen greifen auf physikalische Sachverhalte und ihre technischen Anwendungen zurück.

- Wärmekraftmaschinen: Kreisprozesse, Anwendung Verbrennungsmotoren, Wirkungsgrad, Wärmepumpe
- Entropie: Energieverbrauch als Energieentwertung, Perpetuum mobile II. Art
- Energieversorgung: Kraftwerke, Energiespeicherung,
- Energietransport Klima: Klimamodellierung, Treibhauseffekt

FELDER

Zum Feldkonzept führt eine Theoriebildung, die gemeinsam mit den zu diesem Themenbereich gehörenden Experimenten die typische Vorgehensweise der Physik zeigt. Das Verdeutlichen des Zurückführens der Fernkräfte auf lokale Größen im Raum ermöglicht dabei neben dem Lernen von Physik auch ein Lernen über Physik (Nature of Science, **NOS**, siehe auch [Anhang G.2](#)). Anwendungen ergeben sich bei der Bewegung von Körpern in Feldern und bei der Ausweitung auf den Themenbereich der Wellen.

- Beschreibung von Feldern: Elektrisches Feld, Magnetfeld, Gravitationsfeld
- Entstehung von Feldern: Ladungen, Massen, Ströme
- Kräfte auf Körper im Feld: Gravitationskraft und Gewichtskraft
- Kräfte auf Ladungen im elektrischen und magnetischen Feld
- Bewegung von Körpern im Feld: Satelliten, Beschleunigeranlagen

WELLENPHÄNOMENE

Die Beschreibung von verschiedenartigsten Phänomenen mit Hilfe des Wellenmodells offenbart dessen Anwendbarkeit über die Gebiete der Physik hinweg. Dies reicht von klassischen Wasserwellen und Schall über elektromagnetische Wellen bis hin zur modernen Physik. Dabei wird ein wichtiges Ziel der Vorgehensweise der Physik deutlich, nämlich die Vielzahl unterschiedlicher Phänomene auf wenige Modelle und Gesetzmäßigkeiten zu reduzieren. Ein Anwendungsbereich sind Beugungseigenschaften bei Licht, ein anderer die moderne Kommunikationstechnik, in der die Informationsübertragung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen auch in Zukunft eine große Bedeutung haben wird.

- Wellenphänomene und Beschreibung von Welleneigenschaften: Zusammenspiel der Felder, Polarisation, Phasengeschwindigkeit, Beugung, Interferenz, Überlagerung von Wellen, Laser
- Mechanische Wellen: Wasser, Schall
- Stehende Wellen: Musikinstrumente
- Elektromagnetische Wellen: Realisierung, Ausbreitung, Modulation
- Licht

2 QUANTENPHYSIK UND MODERNE TECHNOLOGIEN

Hier geht es um physikalische Phänomene, die in der mikroskopischen Welt stattfinden und die sich unserer Sinneswahrnehmung entziehen.

- Mit der Quantenphysik wird in der Schule zum ersten Mal der Bereich der klassischen Physik verlassen. Im Unterricht wird deutlich, dass neue Gesetze und Modelle bereitgestellt werden müssen, die nicht nur eine neuartige Welt eröffnen, sondern auch in größerem Umfang eine Interpretation ermöglichen und erfordern.
- Die Quantenphysik ist extrem wichtige Grundlage für moderne Anwendungen z.B. in der Mikroelektronik.
- Es gibt wichtige interdisziplinäre Bezüge zur Chemie.
- Physik hat hier eine ganz eigene Bedeutung, da sie die Grundlagen versteht und bereitstellt für neue Entwicklungen in der Technik. Das Wissen um Phänomene der klassischen Physik ist im Gegensatz dazu „Allgemeingut“. Moderne physikalische Forschung wird zur Entwicklung neuer Produkte ebenso beitragen wie zu Lösungen der großen epochalen Herausforderungen.

Strukturelemente

- Quantisierung – Energie kommt nicht in beliebig kleinen Mengen vor, sondern in kleinsten Portionen (genauer: wird bei der Wechselwirkung von Licht und Materie in kleinsten Portionen übertragen). Auch Größen wie Drehimpuls und Ladung sind quantisiert.
- Wahrscheinlichkeiten – Für das Auftreffen eines Quantenobjekts an einer bestimmten Stelle in einem bestimmten Zeitintervall kann nur eine Wahrscheinlichkeit angegeben werden.
- Fundamentalprinzip – Quanten zeigen Interferenz, wenn sie auf mehreren Wegen zum Empfänger gelangen können und keine Information darüber möglich ist, welchen Weg sie genommen haben.
- Verschränkung – Ein System aus zwei Quantenobjekten kann verschränkt sein. Die Messung eines Zustands von einem der beiden Quantenobjekte gibt dann Auskunft über den Zustand des zweiten, auch wenn sich die beiden Objekte weit voneinander entfernt haben.
- Anwendungen: optische Sensoren, Halbleitertechnik, moderne Mikroskopie, Quantencomputer, usw.

Themen dazu in Stichworten

Grundlegend

- Wellencharakter kleiner Teilchen: Doppelspalt-Experiment, Quantentröge
- Delokalisierung: statistische Interpretation, Beschreibung mit Wellenfunktion
- Quantisierung: Energieniveaus, Absorption und Emission von Energiepaketen
- Messprozess: Messung beeinflusst das Experiment, HEISENBERGS Unschärferelation
- Dynamik: Wellenpakete, Tunneleffekt
- Atome und Moleküle: modernes Atommodell mit Orbitalen, Quantenzahlen im Atom, PAULI-Prinzip, Periodensystem, Bezüge zur Chemie

- Photonen: Verschränkung von Photonen

Vertiefend

- Erkenntnisse aus der Spektroskopie an Atomen und Molekülen
- Wechselwirkung von Photonen mit Atomen
- Festkörper: Bandstruktur und ihre quantenphysikalische Ursache, Metalle, Halbleiter, Isolatoren, Vielteilcheneffekte im Festkörper (Magnetismus, Supraleitung), Bedeutung der Festkörperphysik und ihre Anwendungspotenziale
- Halbleiter: Bedeutung der Halbleiter für die Technik, Elektronische Bauelemente (Transistor, Feldeffekttransistor, Solarzelle, Halbleiterlaser, usw.)

3 KOSMOS UND ELEMENTARTEILCHEN

- Hier geht es um physikalische Phänomene auf ganz großen Längenskalen und um Phänomene bei sehr hohen Energien.
- Es ist ein Themenkreis, der Menschen seit der Antike fasziniert – diese Motivation sollte man unbedingt aufgreifen.
- Es ist ein Bereich, der von der Physik exklusiv besetzt ist.
- Methoden der Erkenntnisgewinnung spielen hier eine besondere Rolle.
- Wissen um Struktur und Prozesse unseres Universums sind wesentlicher Bestandteil unseres naturwissenschaftlichen Weltbildes.
- Die Gründung der gleichnamigen Sektion bei der **DPG** zeigt die enge Verbundenheit dieser zwei Themen, auch wenn sie nicht auf den ersten Blick offensichtlich ist.
- Inhalte aus den Bereichen: Relativitätstheorie, Gravitationsphysik, Astrophysik, Kosmologie, Elementarteilchen, Kernphysik.

Themen dazu in Stichworten

Grundlegend

- Struktur des Universums: Galaxien, Sterne, Planeten, Monde, Schwarze Löcher. Typische Längenskalen, Massen.
- Entwicklungen im Universum: Lebenszyklus von Sternen, Urknall.
- Relativitätstheorie: Relativität der Zeit, Zwillingsparadoxon, Lichtgeschwindigkeit.
- Energie aus Kernreaktionen: Kernfusion in der Sonne, Kernspaltung, Kernkraftwerke.
- Elementarteilchen: Einige wichtige Teilchen und ihre Klassifizierung (Leptonen, Hadronen, Quarks, Austauscheteilchen), Starke Wechselwirkung.
- Ionisierende Strahlung: Radioaktiver Zerfall, Wechselwirkung mit biologischem Gewebe, Gefahrenpotenziale.

Vertiefend

- Entwicklungen im Universum: Entstehung von Sternen, Supernovaexplosion, Expansion des Universums, Inflation, Perspektiven der Entwicklung, Dunkle Materie

- Relativitätstheorie: Zeitdilatation, LORENTZ-Kontraktion, Krümmung des Raumes, Schwarze Löcher, Gravitationswellen, usw.
- Raumfahrt: Bemannte und unbemannte Raumfahrt, Erkenntnisse aus Satellitenexperimenten (z.B. für Klimaforschung, Geodätische Vermessung, HUBBLE-Teleskop, usw.) und Anwendung von Satelliten (GPS, Telekommunikation, usw.), Erkenntnisse aus unbemannten Expeditionen im Sonnensystem mit und ohne Landfahrzeuge. Kosten der Raumfahrt, Probleme und Bedeutung der bemannten Raumfahrt.
- Elementarteilchen: Antimaterie, Experimente an Großforschungseinrichtungen (CERN, Detektoren), Bedeutung für unser Weltbild.

B-7.2 Weitere Aspekte

Innerhalb der Inhaltsbereiche soll nicht die Systematik des Faches aufgebaut werden, sondern es sollen exemplarische Schlüsselthemen genutzt werden, um verschiedene strukturelle Aspekte der Physik zu thematisieren. Dazu gehören

- die mathematische Modellierung von physikalischen Phänomenen
- die Durchführung von Experimenten zur Erkenntnisgewinnung
- die historische Entwicklung des Faches und seiner **Épistémologie**
- die Bedeutung von physikalischen Erkenntnissen für wirtschaftliche Entwicklungen des 19. und 20. Jahrhunderts
- offene Fragen und die Ziele der aktuellen Forschung
- Experimente zur Optimierung von Materialien und Strukturen für moderne Anwendungen
- Bedeutung der Physik für die großen Herausforderungen unserer Gesellschaft

B-7.2.1 Motivation kann generiert werden über

- Interesse an der Erkenntnisgewinnung über „entfernte Welten“ oder darüber, was „unsere Welt im Innersten zusammenhält“ (Kosmos, Quantenphysik)
- Interesse an Anwendungen, Nutzbarmachung für uns, Bedeutung für die Gesellschaft, Lösung der großen Herausforderungen (Technik, moderne quantenphysikalische Anwendungen)
- Physik und die ihr folgende Technik ist wichtiger Wirtschaftsfaktor und bedeutender Teil unserer modernen Gesellschaft
- Es gibt spannende offene Fragen, die in naher Zukunft beantwortet werden könnten

B-7.2.2 Aufbau eines naturwissenschaftlichen Weltbildes

- Dazu gehört eine Vorstellung von der Struktur unseres Universums im Großen und der Struktur von Atomen und Molekülen im Kleinen.
- Erkenntnisgewinnung über Kosmos und Quantenphysik.
- Zuverlässigkeit von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen, Unterschiede zu anderen Modi der Weltbegegnung.

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 die Anlage Basiskonzepte*.

Akronyme und Glossar

additiv: ‘man unterscheidet kumulatives und additives Lernen’, beim kumulativen Lernen wird an vorhandenes Vorwissen angeknüpft und damit ein auf Zusammenhängen 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**.

Épistémologie: ‘Synonym für Erkenntnistheorie’, Teilgebiet der Philosophie; befasst sich mit Fragen zu den Bedingungen für die Gewinnung von Erkenntnis und zum Zustandekommen von Wissen.

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.

IT: ‘Informationstechnik’, englisch: Information Technology.

IQB: ‘Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften’, 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/>.

Jg.: ‘Jahrgang’, auch Jahrgangsstufe.

Jgg.: ‘Jahrgänge’, auch Jahrgangsstufen.

KFP: ‘Konferenz der Fachbereiche Physik’, Vereinigung der physikalischen Fachbereiche und Abteilungen der Universitäten und wissenschaftlichen Hochschulen, die der Hochschulrektorenkonferenz angehören, <http://www.kfp-physik.de/index.html>.

KMK: ‘Kultusminister Konferenz’, oder etwas genauer: Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, mit Sitz in Berlin und Bonn, <http://www.kmk.org/>.

additiv: ‘man unterscheidet kumulatives und additives Lernen’, beim kumulativen Lernen wird an vorhandenes Vorwissen angeknüpft und damit ein auf Zusammenhängen 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. über die Schuljahre in der **Sek I** bzw. **Sek II** – laut Stundentafeln der Schulverwaltungen in den Ländern (s. **Anhang A**).

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**).

PTB: ‘Physikalisch-Technische Bundesanstalt’, das nationale Metrologie-Institut (Standorte Braunschweig und Berlin) mit wissenschaftlich-technischen Dienstleistungsaufgaben <http://www.ptb.de/cms/dieptb.html>.

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. 5-10**, die (zumindest teilweise) in einer weiterführenden Schule durchlaufen werden; je nach Bundesland und Schulform, können die **Jgg. 5/6** auch in der Grundschule angesiedelt sein.

Sek II: ‘Sekundarstufe II, z.T. auch gymnasiale Oberstufe genannt’, in dieser Studie zählen wir dazu einheitlich die **Jgg. 11/12**, obwohl in einigen Bundesländern bereits **Jg. 10** dazu gerechnet wird.

SI: ‘Système international d’Unités’, internationales System der Maßeinheiten (m, kg, s, A, K, mol, cd), Details findet man z.B. auf der Website des *Bureau International des Poids et Mesure* <http://www.bipm.org/en/si/> oder bei der **PTB** http://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/publikationen/mitteilungen/2007/PTB-Mitteilungen_2007_Heft_2.pdf.

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

BÖNT, R.: 2009. *Die Entdeckung des Lichts, Roman*. Köln: DuMont, 319 Seiten.

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.

- DIMITROVA, T. L. und A. WEIS: 2008. 'The wave-particle duality of light: a demonstration experiment'. *Am. J. Phys.*, **76**, 137–142, American Physical Society. <http://www.sps.ch/en/articles/progresses/wave-particle-duality-of-light-for-the-classroom-13/>, letzter Zugriff: 30.7.2015.
- JACQUES, V., E. WU, T. TOURY, F. TREUSSART, A. ASPECT, P. GRANGIER und J.-F. ROCH: 2006. 'Interférences à un photon avec un biprisme de FRESNEL'. *J. Phys. IV France*, **135**, 197 – 198.
- KMK: 2004. 'Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 01.12.1989 i.d.F. vom 05.02.2004)'. http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Physik.pdf.
- 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.
- ROCH, J.-F., F. TREUSSART und P. GRANGIER: 2015. 'Single photon interference with a fresnel biprism', Paris. http://www.physique.ens-cachan.fr/old/franges_photon/interference.htm, letzter Zugriff: 30.7.2015.
- 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.
- WHITE, R. und R. GUNSTONE: 1992. *Probing Understanding*. Oxam, New York: Routledge, 196 Seiten.

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.

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