

# Physik

## Bildungsplan für die Gymnasiale Oberstufe

– Einführungsphase und Qualifikationsphase –

**Herausgeber**

Der Senator für Kinder und Bildung  
Rembertiring 8–12  
28195 Bremen  
<http://www.bildung.bremen.de>

Stand: Juli 2026

**Curriculumentwicklung**

Landesinstitut für Schule  
Referat 03 – Qualitätssicherung  
Am Weidedamm 20  
28215 Bremen  
Ansprechpartnerin: Dr. Nike Janke

Nachdruck ist zulässig

Bezugsadresse: <http://www.lis.bremen.de>

## Inhaltsverzeichnis

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| Vorbemerkung                              | 4  |
| 1. Aufgaben und Ziele                     | 5  |
| 2. Bildungsstandards                      | 6  |
| 2.1 Sachkompetenz                         | 7  |
| 2.2 Erkenntnisgewinnungskompetenz         | 8  |
| 2.3 Kommunikationskompetenz               | 9  |
| 2.4 Bewertungskompetenz                   | 11 |
| 2.5 Basiskonzepte                         | 12 |
| 2.6 Bildung in der digitalen Welt         | 13 |
| 3. Inhaltsbereiche und Kompetenzerwerb    | 14 |
| 3.1 Einführungsphase                      | 14 |
| 3.2 Qualifikationsphase                   | 19 |
| 3.3 Themenfolgen und Schwerpunktsetzungen | 37 |
| 4. Leistungsbewertung                     | 37 |

## Anhang

Operatoren für die naturwissenschaftlichen Fächer

## Vorbemerkung

Mit dem vorliegenden *Bildungsplan Physik – Einführungsphase und Qualifikationsphase* – liegt ein Bildungsplan vor, der die drei Jahrgänge der Gymnasialen Oberstufe umfasst. Er schließt damit an die vorliegenden Bildungspläne der Sekundarstufe I für die Naturwissenschaften für die Oberschule bzw. das Gymnasium an.

Der Bildungsplan der Gymnasialen Oberstufe orientiert sich an den Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife, Beschluss der KMK vom 18.06.2020, in denen die erwarteten Lernergebnisse als verbindliche Anforderungen in den vier Kompetenzbereichen Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz formuliert sind. Die Kompetenzbereiche setzen die Beschreibung aus den Jahrgangsstufen 5 bis 10 im Bildungsplan der Oberschule und aus den Jahrgangsstufen 5 bis 9 des gymnasialen Bildungsganges fort. Es wird damit deutlich, dass der Physikunterricht im gesamten Bildungsgang einheitlichen Zielsetzungen genügt.

Der vorliegende Bildungsplan weist einerseits verbindliche Inhalte und Kompetenzen aus, welche die Erfüllung der Bildungsstandards sicherstellen, andererseits legt er Schwerpunktsetzungen in Form von landesspezifischen Vertiefungen und Erweiterungen fest.

Die in diesem Bildungsplan beschriebenen Standards der Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe sind verbindliche Vorgabe und Voraussetzung für den Besuch von Leistungs- und Grundkursen in der Qualifikationsphase. Für die Qualifikationsphase der Gymnasialen Oberstufe beschreibt der Bildungsplan die Standards für das Ende des Bildungsganges und benennt damit die Anforderungen für die Abiturprüfung in den benannten Kompetenzbereichen.

Sowohl für die Einführungsphase als auch für die Qualifikationsphase sind Kompetenzen ausdifferenziert, die ein länderübergreifend einheitliches Anspruchsniveau schaffen und zu entsprechenden Abiturprüfungen führen.

Mit den Bildungsplänen werden durch die Standards die Voraussetzungen geschaffen, ein klares Anspruchsniveau an den Schulen der Freien Hansestadt Bremen zu sichern. Die Vorgaben der Bildungspläne beschränken sich auf die zentralen Kompetenzen. Dadurch erhalten die Schulen Freiräume zur Vertiefung und Erweiterung der zu behandelnden Unterrichtsinhalte und damit zur thematischen Profilbildung.

## 1. Aufgaben und Ziele

Der Bildungsplan orientiert sich an drei Grundprinzipien der Gymnasialen Oberstufe und des Abiturs: vertiefte Allgemeine Bildung, Wissenschaftspropädeutik und Studierfähigkeit. Vertiefte physikalische Bildung drückt sich in einer qualitativen Erhöhung des Reflexionsgrades durch erweiterte methodische Fähigkeiten sowie durch ein breiteres und tieferes fachliches Wissen aus. Wissenschaftspropädeutik besteht in der Heranführung an Ziele, Methoden und Techniken wissenschaftlichen Arbeitens sowie ihrer Erprobung in ausgewählten Kontexten. Trotz der curricularen Bezüge zwischen dem Unterrichtsfach Physik in der gymnasialen Oberstufe und dem Studienfach Physik darf der Unterricht dabei nicht als vereinfachtes Abbild der wissenschaftlichen Ausbildung gestaltet werden, sondern muss eigenständige Ziele im Rahmen Allgemeiner Bildung verfolgen. Anhand ihrer physikalischen Kompetenzen können Lernende sich aus physikalischer Sicht globalen Problemen nähern.

Orientierungsrahmen für die Festlegung von Themen und Inhalten sind die folgenden vier Grundbereiche vertiefter physikalischer Bildung:

### ***Physik als Grundlage des modernen Weltbildes***

Der Physikunterricht der Oberstufe soll das Verständnis der Physik des 20. Jahrhunderts stärken. Im Zentrum sollen die Grundvorstellungen von Konzepten wie Zeit, Raum, Teilchen, Feld, Wahrscheinlichkeit oder Messprozess stehen. Der dafür notwendige mathematische Formalismus soll auf das Maß beschränkt bleiben, das zum begrifflichen Verständnis unabdingbar erforderlich ist.

### ***Physik und Technik als prägende Faktoren gesellschaftlich-kultureller Entwicklungen***

Die Lernenden sollen an ausgewählten Beispielen erkennen und verstehen, welche fachlichen Beiträge die Physik und die ihr nahestehende Technik zur Weiterentwicklung unserer durch technische Prozesse und Produkte geprägten Kultur geleistet hat. Ein wichtiger Bereich ist die Bereitstellung und Entwertung von Energie. Diese Zusammenhänge zwischen Physik, Technik und Gesellschaft sollen auch genutzt werden zur Betrachtung moderner Technologien unter den Aspekten einer nachhaltigen Entwicklung und mit Blick auf die wesentlichen globalen und regionalen Herausforderungen unserer Zeit.

### ***Physik als methodisch besonders ausgezeichnete Naturwissenschaft***

Um den Vorbildcharakter Physik für andere Disziplinen zu verstehen, müssen ihre Methoden auch explizit Gegenstand des Unterrichts sein. Wichtige Themen sind das Wechselspiel von Theorie und Experiment und die konsequente Vereinfachung von Phänomenen für mathematische Modellierungen und Vorhersagen.

### ***Physik als Studien- und Berufsfeld***

Physikalisches Wissen hat für viele Studienfächer und Berufsausbildungen im naturwissenschaftlich-technischen Bereich eine große Bedeutung. Die Kenntnis physikalischer Begriffe und Gesetze sowie Erfahrungen in grundlegenden experimentellen und theoretischen Verfahren sollen den Einstieg in eine Berufsausbildung oder ein Studium ermöglichen.

Physik ist ein experimentell orientiertes Unterrichtsfach. Experimente sind ein elementarer Bestandteil des Physikunterrichts. Demonstrations- und Schülerexperimente dienen dabei der Verdeutlichung, der Motivation oder der Entscheidungsfin-

derung beim hypothesengeleiteten Vorgehen, ferner sind experimentelle Grundfertigkeiten der Lernenden zentrale Kompetenzen. Bei der Auswahl, Planung und Durchführung von Experimenten sind Sicherheitsaspekte zu berücksichtigen. Gegebenenfalls sind im Vorhinein Gefährdungsbeurteilungen<sup>1</sup> zu erstellen.

## 2. Bildungsstandards

Im folgenden Abschnitt werden die Bildungsstandards für die vier Kompetenzbereiche beschrieben. Weitergehende Beschreibungen der Kompetenzbereiche finden sich in den nationalen Bildungsstandards.

Die Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife definieren die Kompetenzen, die Lernende bis zum Ende der Qualifikationsphase erwerben sollen. Diese werden im Unterricht sowohl auf grundlegendem und als auch auf erhöhtem Anforderungsniveau entwickelt.

Der Unterschied in den Anforderungen vom grundlegenden und erhöhten Anforderungsniveau liegt im Umfang und der Tiefe der gewonnenen Kenntnisse und des Wissens über deren Verknüpfungen. Zudem unterscheiden sie sich im Maß der Selbststeuerung bei der Bearbeitung von Problemstellungen.

Das erhöhte Anforderungsniveau äußert sich im Physikunterricht im Bereich der Sachkompetenz darin, dass zu bestimmten Themen mehr Sachinhalte evtl. in höherer Komplexität der verwendeten Modelle detaillierter betrachtet werden. Darüber hinaus nutzen Lernende des erhöhten Anforderungsniveaus auch eine deutlich umfangreichere und tiefere Mathematisierung.

Im Bereich der Erkenntnisgewinnungskompetenz wird auf erhöhtem Anforderungsniveau vermehrt auf einen formalen Umgang mit Messunsicherheiten und auf die Reflexion über Vor- und Nachteile oder die Aussagekraft verschiedener Mess- und Auswertungsverfahren Wert gelegt.

Die Lernenden des erhöhten Anforderungsniveaus besitzen im Bereich der Kommunikationskompetenz ein umfangreicheres Fachvokabular und drücken sich fachlich präziser aus. Sie sind in der Lage, sprachlich und inhaltlich komplexere Fachtexte zu verstehen.

Im Bereich der Bewertungskompetenz können Lernende auf erhöhtem Anforderungsniveau mehr und komplexere Argumente mit Belegen heranziehen. Auch gelingt es ihnen, eigene Standpunkte differenzierter zu begründen und so besser gegen sachliche Kritik zu verteidigen.

Im Folgenden werden die einzelnen Kompetenzbereiche definiert und näher beschrieben. Sie werden in Form von Standards präzisiert. Dabei gelten die formulierten Standards für beide Anforderungsniveaus.

---

<sup>1</sup> siehe Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) der KMK (Stand: 14.06.2019)

## 2.1 Sachkompetenz

Die **Sachkompetenz** der Lernenden zeigt sich in der Kenntnis naturwissenschaftlicher Konzepte, Theorien und Verfahren und der Fähigkeit, diese zu beschreiben und zu erklären sowie geeignet auszuwählen und zu nutzen, um Sachverhalte aus fach- und alltagsbezogenen Anwendungsbereichen zu verarbeiten.

Das wissenschaftliche Vorgehen der Physik lässt sich im Wesentlichen in zwei fundamentale Bereiche einteilen, die eine starke Wechselwirkung und gegenseitige Durchdringung aufweisen: die theoretische Beschreibung von Phänomenen und das experimentelle Arbeiten. Die Vertrautheit mit physikalischem Fachwissen sowie mit der Nutzung physikalischer Grundprinzipien und Arbeitsweisen bildet eine unverzichtbare Grundlage für das Verständnis wissenschaftlicher sowie alltäglicher Sachverhalte aus vielen Bereichen, z. B. aus den anderen Naturwissenschaften, der Technik oder auch der Medizin. Daher leistet physikalische Sachkompetenz einen wichtigen Beitrag sowohl zur Studierfähigkeit als auch zur Allgemeinbildung.

Sachkompetenz zeigt sich in der Physik in der Nutzung von Fachwissen zur Bearbeitung von sowohl innerfachlichen als auch anwendungsbezogenen Aufgaben und Problemen. Dazu gehört die theoriebasierte Beschreibung von Phänomenen ebenso wie die qualitative und quantitative Auswertung von Messergebnissen anhand geeigneter Theorien und Modelle. Ihre Eigenschaften wie Gültigkeitsbereiche, theoretische Einbettungen und Angemessenheit ebenso wie ein angemessener Grad der Mathematisierung sind dabei zu berücksichtigen.

Fertigkeiten wie das Durchführen eines Experiments nach einer Anleitung, der Umgang mit Messgeräten oder die Anwendung bekannter Auswerteverfahren sind Bestandteil der Sachkompetenz. Die Planung und Konzeption von Experimenten hingegen ist dem Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung zugeordnet.

### Modelle und Theorien zur Bearbeitung von Aufgaben und Problemen nutzen

Die Lernenden ...

- S 1 erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien;
- S 2 erläutern Gültigkeitsbereiche von Modellen und Theorien und beschreiben deren Aussage- und Vorhersagemöglichkeiten;
- S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen.

### Verfahren und Experimente zur Bearbeitung von Aufgaben und Problemen nutzen

Die Lernenden ...

- S 4 bauen Versuchsanordnungen auch unter Verwendung von digitalen Messwerterfassungssystemen nach Anleitungen auf, führen Experimente durch und protokollieren ihre Beobachtungen;
- S 5 erklären bekannte Messverfahren sowie die Funktion einzelner Komponenten eines Versuchsaufbaus;
- S 6 erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messergebnisse an;

- S 7      wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an.

## 2.2      Erkenntnisgewinnungskompetenz

Die **Erkenntnisgewinnungskompetenz** der Lernenden zeigt sich in der Kenntnis von naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen und in der Fähigkeit, diese zu beschreiben, zu erklären und zu verknüpfen, um Erkenntnisprozesse nachvollziehen oder gestalten zu können und deren Möglichkeiten und Grenzen zu reflektieren.

Physikalische Erkenntnisgewinnung ist zum einen bestimmt durch die theoretische Beschreibung der Natur, die mit der Bildung von Fachbegriffen, Modellen und Theorien einhergeht, und zum anderen durch empirische Methoden, v. a. das Experimentieren, mit denen Gültigkeit und Relevanz dieser Beschreibung abgesichert werden.

Dieses Wechselspiel von Theorie und Experiment in der naturwissenschaftlichen Forschung umfasst typischerweise folgende zentrale Schritte:

- Formulierung von Fragestellungen,
- Ableitung von Hypothesen,
- Planung und Durchführung von Untersuchungen,
- Auswertung, Interpretation und methodische Reflexion zur Widerlegung bzw. Stützung der Hypothese sowie zur Beantwortung der Fragestellung.

Experimentelle Ergebnisse und aus Modellen abgeleitete Annahmen werden interpretiert und der gesamte Erkenntnisgewinnungsprozess wird im Hinblick auf wissenschaftliche Güte reflektiert. Auf der Metaebene werden die Merkmale naturwissenschaftlicher Verfahren und Methoden charakterisiert und von den nicht-naturwissenschaftlichen abgegrenzt. Das Durchführen eines erlernten Verfahrens oder einer bekannten Methode ohne die Einbettung in den Prozess der Erkenntnisgewinnung als Ganzes ist in den Bildungsstandards der Sachkompetenz zugeordnet.

### **Fragestellungen und Hypothesen auf Basis von Beobachtungen und Theorien entwickeln**

Die Lernenden ...

- E 1      identifizieren und entwickeln Fragestellungen zu physikalischen Sachverhalten;
- E 2      stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf.

### **Fachspezifische Modelle und Verfahren charakterisieren, auswählen und zur Untersuchung von Sachverhalten nutzen**

Die Lernenden ...

- E 3      beurteilen die Eignung von Untersuchungsverfahren zur Prüfung bestimmter Hypothesen;

- E 4 modellieren Phänomene physikalisch, auch mithilfe mathematischer Darstellungen und digitaler Werkzeuge, wobei sie theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander beziehen;
- E 5 planen geeignete Experimente und Auswertungen zur Untersuchung einer physikalischen Fragestellung.

### **Erkenntnisprozesse und Ergebnisse interpretieren und reflektieren**

Die Lernenden ...

- E 6 erklären mithilfe bekannter Modelle und Theorien die in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen;
- E 7 berücksichtigen Messunsicherheiten und analysieren die Konsequenzen für die Interpretation des Ergebnisses;
- E 8 beurteilen die Eignung physikalischer Modelle und Theorien für die Lösung von Problemen;
- E 9 reflektieren die Relevanz von Modellen, Theorien, Hypothesen und Experimenten für die physikalische Erkenntnisgewinnung.

### **Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren**

Die Lernenden ...

- E 10 beziehen theoretische Überlegungen und Modelle zurück auf Alltagssituationen und reflektieren ihre Generalisierbarkeit;
- E 11 reflektieren Möglichkeiten und Grenzen des konkreten Erkenntnisgewinnungsprozesses sowie der gewonnenen Erkenntnisse (z. B. Reproduzierbarkeit, Falsifizierbarkeit, Intersubjektivität, logische Konsistenz, Vorläufigkeit).

## **2.3 Kommunikationskompetenz**

Die **Kommunikationskompetenz** der Lernenden zeigt sich in der Kenntnis von Fachsprache, fachtypischen Darstellungen und Argumentationsstrukturen und in der Fähigkeit, diese zu nutzen, um fachbezogene Informationen zu erschließen, adressaten- und situationsgerecht darzustellen und auszutauschen.

Die Physik hat ihre spezifische Art, Kommunikation zu gestalten. Die strukturierten und standardisierten Formulierungen sind grundlegend für eine rationale, fakten- oder evidenzbasierte Kommunikation. Das Verständnis dieser Art der Kommunikation und die Fähigkeit, sie mitzugestalten, ermöglichen die selbstbestimmte Teilhabe an wissenschaftlichen und gesellschaftlich relevanten Diskussionen.

Physikalische Kommunikationskompetenz zeigt sich im Verständnis und in der Nutzung von definierten Begrifflichkeiten, fachtypischen Darstellungen und Argumentationsstrukturen, die mathematische Logik und verlässliche Quellen als Belege für die Glaubwürdigkeit und Objektivität von Aussagen und Argumenten verwenden. Das physikalische Fachvokabular setzt sich dabei zusammen aus etablierten Fachbegriffen, abstrakten Symbolen und standardisierten Einheiten. Für Diskussionen außerhalb der Physik sind vor allem die physiktypische Nutzung bestimmter Arten

von Abbildungen, Diagrammen und Symbolen, die Betonung logischer Verknüpfungen und der Wechsel zwischen situationsspezifischen und verallgemeinerten Aussagen und mehreren Darstellungsformen relevant.

Physikalisch kompetentes Kommunizieren bedingt ein Durchdringen der Teilkompetenzbereiche Erschließen, Aufbereiten und Austauschen. Im Fach Physik tauschen die Lernenden Informationen mit Kommunikationspartnern kompetent aus, wenn sie Informationen aus Quellen entnehmen, überzeugend präsentieren und sich reflektiert an fachlichen Diskussionen beteiligen. Die sprachliche sowie mathematische Darstellung von Zusammenhängen und Lösungswegen ist dagegen Ausdruck von Sach- bzw. Erkenntnisgewinnungskompetenz, die Berücksichtigung von außerfachlichen Aspekten für die Meinungsbildung und die Entscheidungsfindung ist in den Bildungsstandards im Kompetenzbereich Bewerten enthalten.

### **Informationen erschließen**

Die Lernenden ...

- K 1 recherchieren zu physikalischen Sachverhalten zielgerichtet in analogen und digitalen Medien und wählen für ihre Zwecke passende Quellen aus;
- K 2 prüfen verwendete Quellen hinsichtlich der Kriterien Korrektheit, Fachsprache und Relevanz für den untersuchten Sachverhalt;
- K 3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellungen und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder.

### **Informationen aufbereiten**

Die Lernenden ...

- K 4 formulieren unter Verwendung der Fachsprache chronologisch und kausal korrekt strukturiert;
- K 5 wählen ziel-, sach- und adressatengerecht geeignete Schwerpunkte für die Inhalte von Präsentationen, Diskussionen oder anderen Kommunikationsformen aus;
- K 6 veranschaulichen Informationen und Daten in ziel-, sach- und adressatengerechten Darstellungsformen, auch mithilfe digitaler Werkzeuge;
- K 7 präsentieren physikalische Sachverhalte sowie Lern- und Arbeitsergebnisse sach-, adressaten- und situationsgerecht unter Einsatz geeigneter analoger und digitaler Medien.

### **Informationen austauschen und wissenschaftlich diskutieren**

Die Lernenden ...

- K 8 nutzen ihr Wissen über aus physikalischer Sicht gültige Argumentationsketten zur Beurteilung vorgegebener und zur Entwicklung eigener innerfachlicher Argumentationen;
- K 9 tauschen sich mit anderen konstruktiv über physikalische Sachverhalte aus, vertreten, reflektieren und korrigieren gegebenenfalls den eigenen Standpunkt;

- K 10 prüfen die Urheberschaft, belegen verwendete Quellen und kennzeichnen Zitate.

## 2.4 Bewertungskompetenz

Die **Bewertungskompetenz** der Lernenden zeigt sich in der Kenntnis von fachlichen und überfachlichen Perspektiven und Bewertungsverfahren und in der Fähigkeit, diese zu nutzen, um Aussagen bzw. Daten anhand verschiedener Kriterien zu beurteilen, sich dazu begründet Meinungen zu bilden, Entscheidungen auch auf ethischer Grundlage zu treffen und Entscheidungsprozesse und deren Folgen zu reflektieren.

Um in Praxissituationen einen Bewertungsprozess durchführen zu können, ist es notwendig, Wissen über Bewertungsverfahren zu haben, wissenschaftliche sowie nicht wissenschaftliche Aussagen anhand von formalen und inhaltlichen Kriterien prüfen und den Einfluss von Werten, Normen und Interessen auf Bewertungsergebnisse einschätzen zu können. Im Zentrum des Bewertungsprozesses stehen dabei das Entwickeln und Reflektieren geeigneter Kriterien als Grundlage für eine Entscheidung oder Meinungsbildung und das Zusammentragen physikalischer Erkenntnisse, die – organisiert anhand der Kriterien – als Argumente dienen.

Um selbstbestimmt an gesellschaftlichen Meinungsbildungsprozessen teilhaben zu können, beziehen Lernende im Kompetenzbereich Bewerten bei gesellschaftlich relevanten Fragestellungen mit fachlichem Bezug kriteriengeleitet einen eigenen Standpunkt und treffen sachgerechte Entscheidungen. Dazu tragen sie relevante physikalische, aber auch nicht physikalische (z. B. ökonomische, ökologische, soziale, politische oder ethische) Kriterien zusammen, sammeln geeignete Belege und wägen sie unter Berücksichtigung von Normen, Werten und Interessen gegeneinander ab. Physikalisch kompetent bewerten heißt also, über die rein sachliche Beurteilung von physikalischen Aussagen hinauszugehen, weshalb rein innerfachliche Bewertungen z. B. der Anwendbarkeit eines Modells, der Güte von Experimentierergebnissen oder der Korrektheit fachwissenschaftlicher Argumentationen den anderen drei Kompetenzbereichen zugeordnet sind.

### Sachverhalte und Informationen multiperspektivisch beurteilen

Die Lernenden ...

- B 1 erläutern aus verschiedenen Perspektiven Eigenschaften einer schlüssigen und überzeugenden Argumentation;
- B 2 beurteilen Informationen und deren Darstellung aus Quellen unterschiedlicher Art hinsichtlich Vertrauenswürdigkeit und Relevanz.

### Kriteriengeleitet Meinungen bilden und Entscheidungen treffen

Die Lernenden ...

- B 3 entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich- oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen sie gegeneinander ab;
- B 4 bilden sich reflektiert und rational in außerfachlichen Kontexten ein eigenes Urteil.

## Entscheidungsprozesse und Folgen reflektieren

Die Lernenden ...

- B 5 reflektieren Bewertungen von Technologien und Sicherheitsmaßnahmen oder Risikoeinschätzungen hinsichtlich der Güte des durchgeführten Bewertungsprozesses;
- B 6 beurteilen Technologien und Sicherheitsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Eignung und Konsequenzen und schätzen Risiken, auch in Alltagssituationen, ein;
- B 7 reflektieren kurz- und langfristige, lokale und globale Folgen eigener und gesellschaftlicher Entscheidungen;
- B 8 reflektieren Auswirkungen physikalischer Weltbetrachtung sowie die Bedeutung physikalischer Kompetenzen in historischen, gesellschaftlichen oder alltäglichen Zusammenhängen.

## 2.5 Basiskonzepte

Der Beschreibung von physikalischen Sachverhalten liegen fachspezifische Gemeinsamkeiten zugrunde, die sich in Form von Basiskonzepten strukturieren lassen. Die Basiskonzepte im Fach Physik ermöglichen somit die Vernetzung fachlicher Inhalte und deren Betrachtung aus verschiedenen Perspektiven. Die Basiskonzepte werden übergreifend auf alle Kompetenzbereiche bezogen. Sie können kumulatives Lernen, den Aufbau von strukturiertem Wissen und die Erschließung neuer Inhalte fördern.

Basiskonzepte werden in Lehr-Lernprozessen wiederholt thematisiert und ausdifferenziert. Den Lernenden wird aufgezeigt, dass diese grundlegenden Konzepte in vielen verschiedenen Lernbereichen einsetzbar sind und einen systematischen Wissensaufbau und somit den Erwerb eines strukturierten und mit anderen Natur- und Ingenieurwissenschaften vernetzten Wissens unterstützen. In der folgenden Beschreibung der Basiskonzepte werden illustrierende Beispiele genannt.

### Erhaltung und Gleichgewicht

Viele Sachverhalte und Vorgänge lassen sich in der Physik durch ein Denken in Bilanzen oder Gleichgewichten beschreiben und erklären. Hierbei spielen neben statischen und dynamischen Gleichgewichtsbedingungen auch Erhaltungssätze wie z. B. der Energie- und der Impulserhaltungssatz eine wesentliche Rolle. Das Basiskonzept Erhaltung und Gleichgewicht ermöglicht einen auch quantifizierenden Zugang zu Themen wie z. B. dem Hall-Effekt, der Gegenfeldmethode bei der Fotozelle, dem Franck-Hertz-Versuch, der Absorption und Emission von Licht, der charakteristischen Strahlung oder der Kernstrahlung.

### Superposition und Komponenten

Die Superposition bildet eine wesentliche Grundlage der analytisch-synthetischen Vorgehensweise in der Physik. Die Überlagerung gleicher physikalischen Größen oder die Zerlegung von physikalischen Größen in Komponenten wird z. B. bei der Kräfteaddition, bei der Vektorsumme von Feldstärken, bei der Bewegung von geladenen Teilchen in Feldern, beim Induktionsgesetz oder bei der Polarisation verwendet. Darüber hinaus ist die Superposition ein zentraler Begriff in der Quantenphysik.

## Mathematisieren und Vorhersagen

Ein zentrales Merkmal der Physik ist es, Vorgänge und Zusammenhänge mathematisch zu beschreiben und daraus Erkenntnisse und Vorhersagen zu erhalten. Die Beschreibung von Größenabhängigkeiten erfolgt in Gestalt von Gleichungen und Funktionen. Die physikalische Interpretation von gegebenenfalls grafisch ermittelten Ableitungen und Integrationen eröffnet weitere Möglichkeiten für die Erkenntnisgewinnung, z. B. bei dem Lade- und Entladevorgang eines Kondensators, bei Schwingungen oder bei Induktionsvorgängen.

## Zufall und Determiniertheit

In der Physik spielen Fragen nach Zufall und Determiniertheit sowohl auf einer philosophischen als auch auf einer praktischen Ebene eine Rolle.

Determiniertheit ist in allen Bereichen der Physik die Grundvoraussetzung für eine Beschreibung von Phänomenen durch Gesetzmäßigkeiten, etwa für die Vorhersage von Ereignissen oder für die Modellierung durch Ausgleichskurven. Zufall tritt in der Physik in unterschiedlichen Interpretationen in Erscheinung, z. B. als Messunsicherheit, als statistische Verteilung physikalischer Größen oder im Zusammenhang mit Quantenobjekten.

In der Atomphysik ist z. B. bei einer Gasentladungsröhre der Zeitpunkt der Emission eines Photons durch ein einzelnes Gasatom zufällig, bei einer festen angelegten Spannung stellt sich aber dennoch eine eindeutig vorhersagbare Strahlungsleistung ein. Am Beispiel der Quantenphysik kann zwischen der prinzipiellen Nichtdeterminiertheit des Verhaltens einzelner Quantenobjekte und der Determiniertheit von Nachweiswahrscheinlichkeiten durch die Versuchsbedingungen unterschieden werden.

## 2.6 Bildung in der digitalen Welt

Der Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe hat primär den Aufbau und die Förderung von Fachkompetenz zum Ziel. Angesichts der zunehmenden Digitalisierung ist es jedoch erforderlich, die Ausbildung der Fachkompetenz mit einem breiten Spektrum an digitalen Anwendungs- und Handlungsfeldern zu verbinden.

Grundlage sind die Strategie „Bildung in der digitalen Welt“ (2016) und die ergänzende Empfehlung „Lehren und Lernen in der digitalen Welt“ (2021) der Kultusministerkonferenz. In der ergänzenden Empfehlung wird die Verwendung digitaler Werkzeuge erweitert zur Gestaltung digital gestützter Lehr-Lern-Prozesse. Dazu zählen die digitale gestützte Kommunikation, individuelles Lernen und Üben mit digital gestützter Rückmeldung und die Erstellung kollaborativ-vernetzt erstellter digitaler Produkte der Lernenden. Sie liefern einen Rahmen, um Kompetenzen im Umgang mit digitalen Medien fachspezifisch zu konkretisieren. Für das Fach Physik sind in Kapitel 3 Kompetenzen von besonderer Relevanz aufgelistet.

### 3. Inhaltsbereiche und Kompetenzerwerb

Zu den verschiedenen Inhaltsbereichen sind inhalts- und prozessbezogene Kompetenzen in den nachfolgenden Tabellen ausdifferenziert. Diese sind als Grundkompetenzen formuliert, über die alle Lernenden am Ende der Einführungsphase bzw. der Qualifikationsphase verfügen sollen. Die Bereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung werden im Folgenden unter dem Begriff prozessbezogene Kompetenzen zusammengefasst.

#### Fachspezifische digitale Kompetenzen

Folgende Kompetenzen sind für das Fach Physik von besonderer Bedeutung und deshalb verbindlich im Unterricht der Gymnasialen Oberstufe zu verankern.

Die Lernenden ...

- erfassen Daten aus Experimenten mit bekannten Sensoren und Interfaces.
- nutzen Tabellenkalkulationsprogramme zur Auswertung und Darstellung experimenteller Daten.
- gewinnen Daten aus Simulationen oder interaktiven Bildschirmexperimenten und nutzen diese für quasi-experimentelle Untersuchungen.
- erstellen mit digitalen Werkzeugen Medien für die Auswertung experimenteller Vorgänge (z. B. Videos von Bewegungsvorgängen).
- nutzen digitale Werkzeuge zur sachgerechten und adressatengerechten Präsentation physikalischer Sachverhalte.
- nennen und nutzen Kriterien für die Auswahl belastbarer digitaler Informationsquellen zu physikalischen Sachverhalten.
- modellieren einfache physikalische Vorgänge mit digitalen Werkzeugen.

#### 3.1 Einführungsphase

Die Einführungsphase hat einen wiederholenden und vertiefenden Charakter. Einige der hier formulierten Inhalte und Kompetenzen werden aus den vorangegangenen Jahrgängen aufgegriffen und systematisch vertieft. So soll sie neben der vertieften fachlichen Auseinandersetzung eine Verinnerlichung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen bieten. Damit bildet die Einführungsphase eine grundlegende Basis für die Qualifikationsphase.

Dieser Bildungsplan geht davon aus, dass das Rahmenthema „Radioaktivität und Kernenergie“ bzw. „Strahlung und Radioaktivität“ (siehe Bildungsplan Physik Sek. I (Oberschule / Gymnasium)) bereits vor dem Einstieg in die Einführungsphase behandelt wurde.

Im Folgenden sind zu den beiden in der Einführungsphase zu behandelnden Inhaltsbereichen „Mechanik“ und „Energie“ einerseits stichpunktartig die Sachinhalte und andererseits besonders zu fördernde inhaltliche sowie prozessbezogene Kompetenzen angegeben. Die zusätzlich formulierten „Zugangswege / Anwendungsbe-  
reich / Vertiefungen“ dienen als Anregungen für die unterrichtende Lehrkraft und bieten eine Möglichkeit der Differenzierung zwischen zwei- und dreistündig unterrichteten Physikkursen in der Einführungsphase.

## Inhaltsbereich Mechanik

In diesem Inhaltsbereich werden grundlegende Konzepte und Methoden der Physik eingeführt, die in folgenden Inhaltsbereichen angewendet werden. Bei der Untersuchung von Bewegungen und ihren Ursachen werden fundamentale Fachmethoden deutlich, wie z. B. der Umgang mit physikalischen Größengleichungen und experimentellen Ergebnissen. Die Anwendung der physikalischen Theorie auf praktische Problemstellungen stellt hier einen weiteren Schwerpunkt dar.

| E1  | Mechanik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.1 | <p><i>Sachinhalte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesetze der gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegungen, sowie deren Anwendung in verschiedenen Kontexten</li> <li>• freier Fall als Sonderfall der beschleunigten Bewegung</li> <li>• Bewegungen in 2 Dimensionen, insbes. Wurfbewegungen</li> <li>• Vektorielle Addition und Zerlegung von Kräften, insbes. an der schiefen Ebene</li> <li>• Impuls und Impulserhaltung</li> <li>• Bewegungsänderungen als Folge von Kraftwirkungen; <math>\Delta \mathbf{v} = \frac{\mathbf{F} \cdot \Delta t}{m}</math> bzw. <math>\Delta \mathbf{p} = \mathbf{F} \cdot \Delta t</math></li> <li>• Beschreibung von Kreisbewegungen im ruhenden Bezugssystem, Zentripetalkraft</li> <li>• Begriffe Messunsicherheit und Messabweichung; Messunsicherheiten direkter Größen</li> <li>• Auswertung von Messdaten unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten</li> </ul> | <p>Wurfbewegungen und Phänomene der Impulserhaltung (wie z. B. Billiard) bieten Situationen, diese mit physikalischen Modellen und Theorien zu erklären (vgl. <u>S.1</u>) und im Sinne des Basiskonzepts „Mathematisieren und Vorhersagen“ die weitere Bewegung vorherzusagen.</p> |
| 1.2 | <p><i>Inhaltsbezogene und prozessbezogene Kompetenzen</i></p> <p>Die Lernenden...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verwenden <i>t-s</i>- und <i>t-v</i>-Diagramme zur Beschreibung von Bewegungen,</li> <li>• identifizieren Kräfte als Ursache von Bewegungsänderungen und wenden den dynamischen Kraftbegriff qualitativ auf Beispiele aus der eigenen Erfahrungswelt an,</li> <li>• erläutern den Unterschied zwischen dem physikalischen Kraftbegriff und dem Alltagsbegriff „Kraft“,</li> <li>• stellen Kräfte vektoriell dar und können diese addieren bzw. zerlegen,</li> <li>• beschreiben und berechnen Bewegungen in zwei Dimensionen,</li> <li>• wenden das Zentralkraftgesetz auf Kreisbewegungen an,</li> <li>• führen Berechnungen zu zentralen Stößen durch (elastisch und unelastisch),</li> <li>• untersuchen Stöße in zwei Dimensionen qualitativ (z. B. Billard),</li> </ul>                                 | <p>Bei der Überlagerung zweier Bewegungskomponenten wird eine Grundlage für Basiskonzept „Superposition und Komponenten“ gelegt.</p>                                                                                                                                               |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• führen messende Versuche zu Bewegungsvorgängen nach Anleitung durch, auch mit digitaler Messwerterfassung (z. B. Beschleunigungs- und Ultraschallsensoren, Videoanalyse),</li> <li>• planen einfache Experimente zu Bewegungsvorgängen, bauen sie auf und führen sie durch.</li> <li>• werten Rohdaten aus Messungen aus und stellen die gewonnenen Größen in angemessener Form dar, auch mit Tabellenkalkulation,</li> <li>• zeichnen Ausgleichsgeraden und ermitteln aus der Steigung des <math>t</math>-s-Diagramms die mittlere Geschwindigkeit inklusive Messunsicherheiten der Steigung (geschätzte Höchst- / Kleinststeigung),</li> <li>• schätzen die Unsicherheit bei direkter Messung ab (z. B. durch Wiederholungen bei Mehrfachmessungen mit einer geeigneten Mittelwertbildung oder bei einmaligem Messen durch die Verwendung der Informationen über die Messung, wie Geräteinformationen, Ablesegenauigkeit, Reaktionszeit),</li> <li>• setzen die Genauigkeit der Elemente einer Messung in Bezug zum Ziel der Messung, um abzuschätzen, wie deren Beiträge zur gewünschten Genauigkeit sind,</li> <li>• geben auf Grundlage der Messunsicherheit die Anzahl signifikanter Stellen von Messwerten oder Messergebnissen sinnvoll an,</li> <li>• beurteilen Sicherheitsmaßnahmen im Verkehr (z. B. Fahrradhelmtreten, Geschwindigkeitsbegrenzungen) hinsichtlich ihrer Eignung, wägen Gründe für und gegen ihre Umsetzung ab.</li> </ul> | <p>Insbesondere zu Bewegungsvorgängen sollten Schülerexperimente aufgebaut, durchgeführt und protokolliert werden (vgl. <u>S.4</u>). Die Förderung digitaler Kompetenzen bietet sich hierbei auch an.</p> <p>Im Inhaltsbereich „Mechanik“ soll die Grundlage zum Umgang mit Messunsicherheiten gelegt werden (vgl. <u>E.7</u>). Vertiefungen erfolgen in der Q-Phase z. B. Messunsicherheiten indirekter Größen.</p> |
| 1.3 | <p><i>Mögliche Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertiefungen der Newton'schen Axiomatik, insbesondere Wechselwirkungsprinzip</li> <li>• Mechanik und Verkehrssicherheit (Brems- und Überholvorgänge bei Auto und Fahrrad, Funktion von Fahrradhelmen, Kräfte bei der Kurvenfahrt)</li> <li>• Kinematik der Verkehrsströme: Stauentstehung und -vermeidung (Simulation)</li> <li>• Funktionsweise und Anwendungen von Beschleunigungssensoren (z. B. für Airbags)</li> <li>• Mechanik im Sport (Läufe, Sprünge und Würfe)</li> <li>• Mechanik des Planetensystems (Rotation der Erde, Bewegung von Planeten und Satelliten)</li> <li>• Mechanik auf dem Freimarkt/Jahrmak (Kreisbewegungen an Fahrgeschäften, Freifallturm)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>Die genannten Anwendungskontexte bieten Möglichkeiten, die erarbeitete Theorie darauf zu beziehen und ihre Generalisierbarkeit zu reflektieren (vgl. <u>E.10</u>).</p>                                                                                                                                                                                                                                            |

## Inhaltsbereich Energie

In diesem Inhaltsbereich geht es schwerpunktmäßig um das grundlegende Prinzip der Energie als Erhaltungsgröße, womit sich Energiebilanzen unterschiedlicher Prozesse betrachten lassen. Damit sollen die im Verlaufe der Sekundarstufe I an verschiedenen Stellen behandelten Aspekte des physikalisch zentralen Konzepts Energie auf einem höheren Niveau vernetzt werden. Die Betrachtung des Aspekts der Energieentwertung in thermodynamischen Prozessen erweitert das Verständnis von Energieumwandlungen. Das Thema bietet unter dem Aspekt der nachhaltigen Entwicklung auch eine Möglichkeit der Förderung von Bewertungskompetenz.

| Kompetenzerwartungen |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Kommentare                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>E2</b>            | <b>Energie</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 2.1                  | <p><i>Sachinhalte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energie als zentrale Bilanzierungsgröße bei physikalischen Prozessen</li> <li>• Offene und abgeschlossene Systeme, Systemgrenzen</li> <li>• Energieerhaltung (u. a. 1. Hauptsatz der Thermodynamik)</li> <li>• Energieformen (insbes. mechanisch [kinetisch, potenziell], thermisch, chemisch)</li> <li>• Energieumwandlungen, Energieumwandlungsketten, Energieflussdiagramme</li> <li>• Energieentwertung (u. a. 2. Hauptsatz der Thermodynamik)</li> <li>• Wärme und Arbeit als Formen der Energieübertragung</li> <li>• Wirkungsgrade bei Energieumwandlungen</li> <li>• physikalische und technische Wirkungsgrade bei Wärmekraftmaschinen und Wärmepumpen (z. B. an Hand des Stirling-Motors)</li> <li>• Klimawandel (Strahlungsenergie, Rückstrahlungsvermögen, Strahlungshaushalt der Erde, mögliche Kippelemente, natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt)</li> <li>• energetischer Fußabdruck, gesellschaftliche Energiebedarfe und Energiebereitstellungen</li> <li>• Zusammenwirken technologischer Verfahren bei der zukünftigen Energieversorgung und -speicherung</li> <li>• Verfahren der Nutzwertanalyse für die Entscheidungsfindung</li> </ul> | <p>Hier wird eine Grundlage für das Basis-konzept „Erhaltung und Gleichgewicht“ gelegt.</p> <p>Besonders beim Energieerhaltungssatz bietet es sich an, die Bedingungen der Gültigkeit zu thematisieren (vgl. <u>S 2</u>).</p> <p>Hier bietet es sich an, verschiedene Kommunikationskompetenzen anzubahnen: zu physikalischen Sachverhalten recherchieren, relevante Informationen entnehmen, austauschen über physikalische Sachverhalte (vgl. <u>K 1</u>, <u>K 3</u>, <u>K 9</u>).</p> |
| 2.2                  | <p><i>Inhaltsbezogene und prozessbezogene Kompetenzen</i></p> <p>Die Lernenden...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben das Energieerhaltungsprinzip und erläutern seine zentrale Bedeutung in der Physik,</li> <li>• erläutern die Energieerhaltung am Beispiel von Bewegungsvorgängen mit und ohne Reibung,</li> <li>• erläutern den Unterschied zwischen Kraft und Energie,</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• unterscheiden den physikalischen Energiebegriff vom alltäglichen Energiebegriff,</li> <li>• berechnen relevante Größen bei rein mechanischen Energieumwandlungen,</li> <li>• vergleichen den Energieerhaltungssatz für offene und abgeschlossene Systeme, benennen Energieformen und Energieträger und stellen Energieumwandlungsketten grafisch dar,</li> <li>• beschreiben regenerative Energietechnologien in einfachen Anwendungszusammenhängen, bestimmen Wirkungsgrade vergleichend an einfachen Energieumwandlungsketten (z. B. Glühlampe / LED und konventionelles Kraftwerk / Wärmekraftkopplung),</li> <li>• beschreiben Energieentwertung als wichtigen Aspekt für den Antrieb von Prozessen (z. B. bei Ernährung, Heizung, Fortbewegung),</li> <li>• erläutern, dass der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine nicht größer sein kann als <math>\eta = 1 - T_c/T_h</math>,</li> <li>• beschreiben das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe anhand eines Energieflussdiagramms, führen Experimente zu Energieumwandlungen und zu regenerativen Energien durch,</li> <li>• diskutieren Möglichkeiten zur Speicherung von Wind- und Solarenergie,</li> <li>• beurteilen Informationen und deren Darstellung zu Fragen der Energieversorgung in Medien für die allgemeine Öffentlichkeit,</li> <li>• erläutern anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen zum Umgang mit Energie in persönlichen und gesellschaftlichen Zusammenhängen und wägen die Optionen gegeneinander ab,</li> <li>• erkennen ökonomische, technische, soziale und ökologische Handlungsmöglichkeiten für einen nachhaltigen Umgang mit der Natur auf unterschiedlichen Entscheidungsebenen,</li> <li>• erklären den Strahlungshaushalt der Erde anhand von Energieflüssen,</li> <li>• beschreiben das Rückstrahlungsvermögen der Erde mithilfe verschiedener Albedowerte, nennen Beispiele für Kippelemente zum Klimawandel (z. B. Abschmelzen der Eisschilde),</li> <li>• schätzen Quellen zum Thema Klimawandel auf ihre Glaubwürdigkeit ein.</li> </ul> | <p>Wenn der Stirling-Motor behandelt wird, kann der ideale Wirkungsgrad begründet und nicht nur erläutert werden.</p> <p>Es sollen exemplarisch Verknüpfungen zwischen gesellschaftlichen Entwicklungen und Erkenntnissen der Physik aufgezeigt werden (vgl. <u>B.2</u> und nachhaltige Entwicklung).</p> <p>Bei der Abwägung der verschiedenen Optionen kann z. B. die Nutzwertanalyse hilfreich sein (vgl. <u>B.3</u>, <u>B.4</u>).</p> <p>Die Erörterung der Grenzen einer rein physikalischen Sichtweise beim Abwägen von Handlungsoptionen für das eigene Handeln ist sinnvoll (vgl. <u>B.1</u>).</p> |
| 2.3 | <p><i>Mögliche Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stirling-Motor als Prototyp einer Wärmekraftmaschine</li> <li>• Entropie</li> <li>• Energieumwandlung bei Crashtests, beim Bungeejumping, beim Looping in der Achterbahn, beim Bremsen von Fahrzeugen, beim Kühlen von Getränken</li> <li>• ausgewählte Verfahren der Energiegewinnung (z. B. Photovoltaik, Windenergie)</li> <li>• Vergleich der Energiebilanzen bei Autos mit Verbrennungsmotoren und Elektromotoren</li> <li>• CO<sub>2</sub>-Emission und Nachhaltigkeit verschiedener Energieträger</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>Die genannten Anwendungskontexte bieten die Möglichkeit die erarbeitete Theorie darauf zu beziehen und ihre Generalisierbarkeit zu reflektieren (vgl. <u>E.10</u>).</p> <p>Kurz- und langfristige, lokale und globale Folgen eigener und gesellschaftlicher Entscheidungen sollen bei der CO<sub>2</sub> Emission reflektiert werden (vgl. <u>B.7</u>).</p>                                                                                                                                                                                                                                             |

### 3.2 Qualifikationsphase

Die Inhalte der Qualifikationsphase gliedern sich in die drei großen Inhaltsbereiche „Elektrische und magnetische Felder“, „Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen“ und „Quantenphysik und Materie“. Diese Inhaltsbereiche sind jeweils noch mal in verschiedene Kernbausteine (KB) und dazugehörige Erweiterungsbausteine (EB) unterteilt.

#### Kernbausteine und Erweiterungsbausteine

Der Bildungsplan für die Qualifikationsphase im Fach Physik für das Land Bremen ist modular aufgebaut. Er beschreibt in verpflichtenden *Kernbausteinen* – acht für den Leistungskurs und sieben für den Grundkurs – die Themen und Inhalte, an denen die fachinhaltlichen und prozessbezogenen Kompetenzen erworben werden sollen. Kernbausteine sind inhaltlich hoch verdichtet und umfassen Grundkenntnisse, Grundfähigkeiten und Überblickwissen. Dargestellt sind die Kernbausteine immer einerseits als stichpunktartige Sachinhalte und andererseits als grundlegende Kompetenzen, welche nicht als alleinig anzubahnde Kompetenzen verstanden werden sollen. Die Behandlung der Kernbausteine erfordert eine strenge Zeitdisziplin.

Für einige Kernbausteine sind bei der unterrichtlichen Planung *Erweiterungsbausteine* hinzuzuziehen. Erweiterungsbausteine beinhalten Zugangswege, Fortführungen, Vertiefungen, mögliche Experimente und Anwendungsgebiete in Verbindung mit Kernbausteinen.

Der Unterricht soll so gestaltet werden, dass die Behandlung der Kernbausteine zusammen mit den ausgewählten Zugangswegen, Anwendungsgebieten, Fortführungen und Vertiefungen eine inhaltliche Einheit darstellt. Hierdurch wird sichergestellt, dass über die Zeit der Qualifikationsphase die fachinhaltlichen und prozessbezogenen Standards erreicht werden.

| Themenbezogene Kernbausteine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Leistungskurs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Grundkurs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Inhaltsbereich „Elektrische und magnetische Felder“: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrisches Feld</li> <li>• Magnetisches Feld</li> </ul> Inhaltsbereich „Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen“: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanische Schwingungen &amp; Wellen</li> <li>• Elektromagnetische Schwingungen</li> <li>• Wellenoptik</li> </ul> Inhaltsbereich „Quantenphysik und Materie“: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantenobjekte</li> <li>• Quantenphysik der Atomhülle</li> <li>• Struktur der Materie</li> </ul> | Inhaltsbereich „Elektrische und magnetische Felder“: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrisches Feld</li> <li>• Magnetisches Feld</li> </ul> Inhaltsbereich „Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen“: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanische Schwingungen &amp; Wellen</li> <li>• Elektromagnetische Schwingungen</li> <li>• Wellenoptik</li> </ul> Inhaltsbereich „Quantenphysik und Materie“: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantenobjekte</li> <li>• Quantenphysik der Atomhülle</li> </ul> |

Die Auflistung der Kernbausteine stellt keine Vorgabe für die Reihenfolge der Behandlung im Unterricht dar.

In den folgenden Tabellen umfassen die Kernbausteine stichpunktartig die Sachinhalte (1. Abschnitt), besonders zu fördernde inhaltliche sowie prozessbezogene Kompetenzen (2. Abschnitt) und die dazugehörigen Erweiterungsbausteine (3. Abschnitt). Bei den Sachinhalten und Kompetenzformulierungen sind zuerst die Aspekte genannt, die für Lernende in Grund- und Leistungskursen gelten, und in eckigen Klammern folgend die Aspekte, die zusätzlich für Lernende in Leistungskursen gelten.

## Inhaltsbereich Elektrische und magnetische Felder

| Kompetenzerwartungen |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Kommentare                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b>             | <b>Elektrisches Feld</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 1.1                  | <p><i>Sachinhalte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlegende Eigenschaften des elektrischen Feldes, Definition der Begriffe „Feld“ und „elektrisches Feld“</li> <li>• Feldlinienmodell</li> <li>• Elektrische Feldlinienbilder: Radialfeld, Dipolfeld, homogenes Feld</li> <li>• Superposition elektrischer Felder, zeichnerische Addition zweier elektrischer Feldstärkevektoren in der Ebene</li> <li>• Elektrostatische Grundphänomene: Influenz, Polarisation</li> <li>• Definition der elektrischen Feldstärke (Kraft auf eine Probeladung)</li> <li>• Zusammenhang zwischen Spannung und elektrischer Feldstärke im Plattenkondensator</li> <li>• Energie des elektrischen Feldes eines Plattenkondensators (quantitativ)</li> <li>• Definition der Kapazität eines Kondensators</li> <li>• Abhängigkeit der Kapazität von geometrischen Daten des Plattenkondensators und der Dielektrizitätszahl (als reine Rechengröße, keine Polarisation im Dielektrikum)</li> <li>• Kondensator als Energiespeicher</li> <li>• zeitlicher Verlauf der Stromstärke beim Auf- und Entladevorgang am Kondensator (qualitativ), <math>I(t)</math> beim Entladen (quantitativ, dabei Anwendung der Exponentialfunktion)</li> <li>• Einfluss der Parameter Widerstand und Kapazität beim Aufladevorgang mit Übertragung auf den Entladevorgang (qualitativ)</li> <li>• Kraft auf geladene Teilchen bei gegebener elektrischer Feldstärke</li> <li>• Bahnformen geladener Teilchen im homogenen elektrischen Längs- und Querfeld (qualitativ)</li> <li>• potentielle Energie einer Probeladung im homogenen elektrischen Feld</li> </ul> | <p>Eine Anwendung eines Kondensators als Sensor (z. B. Feuchtigkeitssensor) ist auch möglich.</p> <p>Beim Auf-/Entladeprozess kann insbesondere die Anwendung mathematischer Verfahren auf physikalische Sachverhalte geübt werden (vgl. <u>S.7</u>). Auch eine experimentelle Erarbeitung bietet sich hier an (siehe EB).</p> <p>Es wird beim Auf-/Entladeprozess nicht erwartet, dass die Lernenden (GK+LK) mathematisch mit Differentialgleichungen umgehen können.</p> <p>Insbesondere beim Querfeld zeigt sich das Basiskonzept „Superposition und Komponenten“.</p> |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• kinetische Energie und Geschwindigkeit geladener Teilchen im elektrischen Längsfeld in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung (quantitativ)</li> <li>• Elektronenvolt (eV) als Einheit</li> </ul> <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coulomb'sches Gesetz</li> <li>• Betrachtung der zweidimensionalen Superposition von zwei Feldern für die Fälle paralleler und orthogonaler feldbeschreibender Vektoren (quantitativ)</li> <li>• Potential, Spannung als Potentialdifferenz</li> <li>• Dielektrikum (mit Anwendung der Polarisierung auf das Dielektrikum)</li> <li>• zeitlicher Verlauf (quantitativ) von Stromstärke und Spannung beim Auf- und Entladevorgang am Kondensator, Einfluss der Parameter Widerstand und Kapazität (dabei Anwendung der e-Funktion)</li> <li>• geladene Teilchen im homogenen elektrischen Längs- und Querfeld (quantitativ)]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>[LK: geladene Teilchen in orthogonal aufeinander stehenden, homogenen elektrischen und magnetischen Feldern in technischen Anwendungen setzt Kenntnisse aus beiden Inhaltsbereichen voraus!]</p> <p>Die Kenntnis von Hysteresis-Effekten ist nicht erwartet. Der Auf-/Entladeprozess beim Kondensator bietet sich auch an, um Phänomene physikalisch zu modellieren (vgl. E 4).</p> |
| 1.2 | <p><i>Inhaltsbezogene und prozessbezogene Kompetenzen</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Definition der elektrischen Feldstärke <math>\mathbf{E} = \mathbf{F}/Q</math>,</li> <li>• stellen elektrische Felder als Vektorfelder dar und superpositionieren diese,</li> <li>• berechnen die Energie im Feld eines Plattenkondensators,</li> <li>• diskutieren den Einfluss des Plattenabstandes auf die Kapazität sowie el. Feldstärke bei konstanter Ladungsmenge oder Kondensatorspannung,</li> <li>• beschreiben elektrostatische Grundphänomene mit den Begriffen Influenz und Polarisation,</li> <li>• skizzieren den zeitlichen Verlauf der Stromstärke beim Auf-/Entladevorgang,</li> <li>• erläutern die Entstehung der Bahnformen geladener Teilchen im homogenen elektrischen Längs- und Querfeld,</li> <li>• berechnen die Energie von Körpern in homogenen elektrischen Feldern.</li> </ul> <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• berechnen die elektrische Feldstärke in der Umgebung von Punktladungen,</li> <li>• berechnen die elektrische Spannung bei einer Ladungsverschiebung im homogenen elektrischen Feld <math>U = \Delta W/Q</math>,</li> <li>• ermitteln eine quantitative Gesetzmäßigkeit zur Berechnung der Kapazität eines Plattenkondensators aus Messdaten (z. B. Plattenabstand oder Fläche)</li> <li>• berechnen die Bahnformen geladener Teilchen im homogenen Längs- und Querfeld.]</li> </ul> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.3 | <p><i>Erweiterungsbausteine (Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Entwicklung des Ladungskonzepts</i> [z. B. historische Vorstufen des heutigen Konzepts der elektrischen Ladung; Ladung als Eigenschaft geladener Körper; Messung der elektrischen Ladung; Bestimmung der Elementarladung (Millikan-Experiment)]</li> <li>• <i>Gravitationsfeld</i> [z. B. Gravitationsgesetz; Arbeit im Gravitationsfeld; Satelliten- und Planetenbahnen (nicht: Keplersche Gesetze, Entwicklung des Astronomischen Weltbilds)]</li> <li>• <i>Experimentelle Vertiefungen</i> [Schülerexperimente zur Auf- und Entladung von Kondensatoren sowie zur Bestimmung der Kapazität eines Kondensators (inklusive Auswertung der Messwerte)]</li> </ul> <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Elektrische Felder in medizinischen Kontexten</i> [z. B. elektrisches Potential; elektrische Leitungsvorgänge im menschlichen Körper; elektrochemische Vorgänge; Ruhe- und Aktionspotentiale; EKG, EEG]</li> </ul> <p>]</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 2   | <b>Magnetisches Feld</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 2.1 | <p><i>Sachinhalte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlegende Eigenschaften des magnetischen Feldes / Definition des Begriffs „magnetisches Feld“</li> <li>• Magnetische Feldlinienbilder: Dipolfeld, homogenes Feld</li> <li>• Superposition von magnetischen Feldern, zeichnerische Addition zweier Vektoren</li> <li>• Definition der magnetischen Flussdichte (Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter) sowie die Messung der Größe</li> <li>• Richtung und Form des Magnetfelds eines geraden stromdurchflossenen Leiters</li> <li>• Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule, Einfluss (qualitativ) von Stromstärke, Windungszahl, Spulenlänge, Medium im Inneren</li> <li>• Lorentzkraft auf geladene Teilchen bei gegebener magnetischer Flussdichte (quantitativ für den orthogonalen Fall: Richtung und Betrag der Kraft)</li> <li>• Bahnformen geladener Teilchen im homogenen magnetischen Feld (qualitativ)</li> <li>• Lorentzkraft als Radialkraft zur Bestimmung des Bahnradius (quantitativ)</li> </ul>                                      | <p>In Anlehnung an die elektrische Feldstärke wird <math>B</math> teilweise als Magnetfeldstärke bezeichnet. Fachlich korrekt wird hier durchgängig von der magnetischen Flussdichte gesprochen.</p> <p>Es ist hier keine lange Spule vorausgesetzt.</p> <p>Im GK wird nicht erwartet, dass Schraubenbahnen erklärt und berechnet werden.</p> |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition des magnetischen Flusses</li> <li>• Induktionsgesetz unter Verwendung der mittleren Änderungsrate des magnetischen Flusses (Differenzenquotient)</li> <li>• Anwendung des Induktionsgesetzes in den Spezialfällen konstanter Fläche und konstanter magnetischer Flussdichte (Prinzip des Transformators und Generators)</li> <li>• Zusammenhang zwischen der Richtung des Induktionsstroms und seiner Wirkung (Lenz'sche Regel)</li> </ul> <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• magnetische Flussdichte einer langgestreckten stromdurchflossenen Spule</li> <li>• Kräfte zwischen zwei stromdurchflossenen geraden Leitern (qualitativ)</li> <li>• Definition der Induktivität</li> <li>• Energie des Feldes einer stromdurchflossenen Spule</li> <li>• Kreisbahnen von geladenen Teilchen in homogenen Magnetfeldern (quantitativ)</li> <li>• Hall-Effekt (ohne Begründung der Hall-Konstante)</li> <li>• geladene Teilchen in orthogonal aufeinander stehenden, homogenen elektrischen und magnetischen Feldern in technischen Anwendungen</li> <li>• Induktionsgesetz in differenzieller Form</li> <li>• Beispiele für Anwendungen der Induktion (Spule als Sensor, Induktionsschleifen, ...)</li> <li>• Selbstinduktion, Ein-/Ausschaltvorgänge bei der Spule]</li> </ul> | <p>Bei Induktionsvorgängen bietet sich u. a. das Üben chronologisch und kausal korrekt strukturierter Argumentationsketten an (vgl. <u>K 4</u>, <u>K 8</u>).</p> <p>Beim Punkt „Kreisbahnen“ können geeignete Experimente geplant und ausgewertet werden zur Untersuchung einer physikalischen Fragestellung (vgl. <u>E 5</u>).<br/>[LK: geladene Teilchen in orthogonal aufeinander stehenden, homogenen elektrischen und magnetischen Feldern in technischen Anwendungen setzt Kenntnisse aus beiden Inhaltsbereichen voraus!]<br/>Wechselstromlehre (z. B. Blindwiderstand) ist nicht Teil dieses Inhaltsbereichs.</p> |
| 2.2 | <p><i>Inhaltsbezogene und prozessbezogene Kompetenzen</i></p> <p>Die Lernenden...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen magnetische Felder als Vektorfelder dar und superpositionieren diese,</li> <li>• erläutern die Definition der magnetischen Flussdichte <b>B</b> als Kraft auf ein Stromelement,</li> <li>• vergleichen die Feldeigenschaften von magnetischen und elektrischen Feldern,</li> <li>• begründen die Bahnkurve elektrischer Ladungsträger im homogenen magnetischen Feld mit der Lorentzkraft (halb-qualitativ),</li> <li>• berechnen die Induktionsspannung mithilfe der mittleren Änderungsrate des magnetischen Flusses für den Fall der konstanten Fläche oder konstanter mag. Flussdichte,</li> <li>• beschreiben ein technische Anwendungen der Induktion (z. B. Generator).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• berechnen die Stärke des Magnetfeldes im Inneren einer langgestreckten Spule,</li> <li>• berechnen die Richtung und die Stärke des Magnetes eines langen Leiters im Abstand <math>r</math>,</li> <li>• erläutern die Entstehung der Hallspannung und berechnen diese,</li> <li>• entwerfen eine Versuchsanordnung zur Bestimmung der Stärke und Richtung eines Magnetfeldes,</li> <li>• begründen die Bahnkurve elektrischer Ladungsträger im homogenen magnetischen Feld mit der Lorentzkraft,</li> <li>• skizzieren den qualitativen Verlauf des <math>t</math>-<math>I</math> und <math>t</math>-<math>U</math>-Diagramms beim Ein- und Ausschaltvorgang bei einer Spule,</li> <li>• ermitteln die Induktivität einer Spule aus Messdaten <math>I(t)</math> beim Einschalten dieser Spule und erklären das verwendete Auswerteverfahren,</li> <li>• berechnen die Induktivität von Spulen,</li> <li>• diskutieren die Einflussgrößen auf die Größe Induktivität und Induktionsspannung.]</li> </ul> | <p>Bei der Entstehung der Hallspannung zeigt sich das Basiskonzept „Erhaltung und Gleichgewicht“.</p> |
| 2.3 | <p><i>Erweiterungsbausteine (Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Energietechnik, Energieversorgung</i> [z. B. großtechnische Gewinnung elektrischer Energie; Versorgungsnetze; Energieversorgungsunternehmen]</li> <li>• <i>Elektrische Energie und Lebenswelt</i> [z. B. Geschichte der Versorgung mit el. Energie; Auswirkungen auf das Alltagsleben und industrielle Produktion; Energiekosten]</li> <li>• <i>Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern</i> [z. B. Teilchenbeschleuniger; Massenspektrometer; e/m-Bestimmung]</li> <li>• <i>Experimentelle Vertiefung</i> [Schülerexperimente zur Bestimmung der magnetischen Flussdichte <math>B</math> in einer langen stromdurchflossenen Spule (mit einer Hallsonde oder einem Smartphone); Planung der Bestimmung der magnetischen Flussdichte auf Basis einer Kraftmessung (z. B. Stromwaage); indirekte Messung des Erdmagnetfeldes; qualitative Experimente zur Erzeugung einer Induktionsspannung]</li> </ul>     |                                                                                                       |

## Inhaltsbereich Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen

| Kompetenzerwartungen |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Kommentare                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>3</b>             | <b>Mechanische Schwingungen &amp; Wellen</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 3.1                  | <p><i>Sachinhalte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundphänomene periodischer Bewegungsabläufe</li> <li>• Definition der Begriffe: Schwingung, Schwingungsebene, Auslenkung / Elongation, Amplitude, Frequenz, Periodendauer</li> <li>• mathematische Beschreibung der zeitabhängigen Größen der harmonischen Schwingung als Funktionsgleichung (Sinus und Kosinus ohne Nullphasenwinkel)</li> <li>• Zusammenhang zwischen Frequenz und Periodendauer</li> <li>• Federpendel, insbesondere Abhängigkeit der Periodendauer von systembeschreibenden Größen</li> <li>• Grundphänomene der erzwungenen Schwingung, Dämpfung und Resonanz (qualitativ)</li> <li>• Harmonische Wellen: Definition der Begriffe Welle, Wellenlänge, Ausbreitungsgeschwindigkeit</li> <li>• Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge und Frequenz</li> <li>• Erzeugung und Ausbreitung von Wellen, Energieübertragung durch Wellen</li> <li>• Brechung, Reflexion, Beugung (phänomenologisch)</li> <li>• Longitudinal- und Transversalwelle</li> <li>• Überlagerung von Wellen im eindimensionalen Fall</li> <li>• stehende Wellen und Wellenlängenbestimmung mittels einer durch Reflexion erzeugten stehenden Welle</li> </ul> <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lineares Kraftgesetz als Bedingung für die Entstehung einer mechanischen harmonischen Schwingung</li> <li>• gedämpfte Schwingungen (quantitativ) (nur schwache Dämpfung, geschwindigkeitsproportionale Dämpfung, auch mathematische Beschreibung)</li> <li>• Fadenpendel als Beispiel einer harmonischen Schwingung (inkl. Kleinwinkelnäherung)</li> <li>• Vertiefung der erzwungenen Schwingung und Resonanz (nur phänomenologisch)</li> </ul> | <p>Die Inhalte des Kernbausteins sollen eng mit Fachmethoden verbunden werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfassung und Auswertung von Messdaten (auch computergestützt)</li> <li>• Nur LK: Mathematische Modellierung</li> </ul> <p>Die Hinführung zur Bewegungsgleichung (Differentialgleichung) kann über die ungedämpfte Feherschwingung erfolgen:<br/> <math>m \cdot d^2x / dt^2 = -D \cdot x</math></p> <p>Beim Abitur wird nicht erwartet, dass die mathematische Beschreibung von Schwingungen mithilfe von Differentialgleichungen hergeleitet wird.</p> <p>Bei der Dämpfung werden folgende Kenntnisse nicht erwartet (GK + LK): Kriechfall, aperiodischer Grenzfall, dämpfungsabhängige Frequenz.</p> <p>Es werden keine Kenntnisse zu stehenden Longitudinalwellen erwartet.</p> <p>Es könnte auch eine Beurteilung von Sicherheitsmaßnahmen zur Schwingungsdämpfung in Alltagssituationen durchgeführt werden (vgl. <u>B.6</u>).</p> |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                         |  |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wellengleichung</li> <li>stehende eindimensionale Wellen zwischen zwei festen Enden]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                         |  |
| 3.2 | <p><i>Inhaltsbezogene und prozessbezogene Kompetenzen</i></p> <p>Die Lernenden...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>beschreiben periodische Bewegungsabläufe mit den Größen Amplitude, Frequenz, Periodendauer und Elongation und kennen ihre Zusammenhänge,</li> <li>planen Experimente zu Schwingungsvorgängen und führen diese durch,</li> <li>vergleichen harmonische und nicht-harmonische Schwingungsvorgänge,</li> <li>beschreiben harmonische Schwingungen mit Hilfe der Sinus- oder Kosinusfunktion (ohne Dämpfung),</li> <li>beschreiben Schwingungsvorgänge aus Alltag und Technik,</li> <li>berechnen die Periodendauer für das Federpendel,</li> <li>beschreiben quasi-stationäre Eigenschwingungszustände als stehende Wellen.</li> </ul> <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>bestimmen den Ortsfaktor <math>g</math> mithilfe eines Fadenpendels über unterschiedliche Fadenlängen und bestimmen grafisch den Mittelwert des Ortsfaktors aus der linearisierten Auftragung <math>T(\sqrt{l})</math>,</li> <li>leiten die Bewegungsgleichung eines Fadenpendels her,</li> <li>beschreiben gedämpfte Schwingungen mathematisch (kein Kriechfall),</li> <li>beschreiben das Phänomen der Resonanz bei erzwungenen Schwingungen (auch Phasendifferenz) und können den Begriff der Resonanzkatastrophe erläutern,</li> <li>beschreiben die zeitliche und räumliche Entwicklung einer harmonischen eindimensionalen Welle in einer mathematischen Darstellung.]</li> </ul> | <p>Hier bietet sich eine selbstständige Planung von Schülerexperimenten zu Schwingungen an (vgl. <u>E 5</u>).</p> <p>Das spezielle Auswerteverfahren der Auftragung sollte erklärt werden können (vgl. <u>S 6</u>).</p> |  |
| 3.3 | <p><i>Erweiterungsbausteine (Zugangswege/Anwendungsgebiete/Vertiefungen)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Computergestützte Modellbildung in der Numerischen Physik zu mechanischen Schwingungen [z. B. Einführung in computergestützte Modellbildung; Wirkungsfüge der Modellgrößen zur Beschreibung des harmonischen Schwingers; Untersuchung spezieller Fälle (gedämpfte Schwingungen, erzwungene Schwingungen)]</li> <li>Nichtlineare Dynamik, Chaos [z. B. chaotische Schwingungen; Vorhersagbarkeit; Kausalität; Determinismus; Fraktale, Strukturen im Chaos]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                         |  |

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Schwingungen und mechanische Wellen</i> (Vertiefung) [z. B. gekoppelte Schwingungen; Energieübertragung durch Wellen; Dopplereffekt]</li> <li>• <i>Akustik</i> [z. B. Schallphänomene, Schallwellen (Beugung); Schalldruckkurven (Schwingungskurven)]; Frequenzspektren; Schallintensität, Lautstärke, Schallwahrnehmung, Lärmschutz]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>4</b> | <b>Elektromagnetische Schwingungen</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 4.1      | <p><i>Sachinhalte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• elektromagnetische harmonischen Schwingungen: charakteristische Größen und ihre Zusammenhänge</li> <li>• Definition der Begriffe: Auslenkung, Amplitude, Frequenz, Periodendauer, Kreisfrequenz</li> <li>• Mathematische Beschreibung der zeitabhängigen Größen einer harmonischen elektromagnetischen Schwingung als Funktionsgleichung (Spannung, Stromstärke; Sinus und Kosinus ohne Nullphasenwinkel)</li> <li>• elektromagnetischer Schwingkreis (qualitativ)</li> <li>• Ausbreitung elektromagnetischer Wellen</li> <li>• Spektrum elektromagnetischer Wellen: Überblick über die Frequenzbereiche elektromagnetischer Wellen (qualitativ)</li> </ul> <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energie des magnetischen Feldes</li> <li>• Vergleich von mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen unter energetischen Aspekten</li> <li>• elektromagnetischer Schwingkreis, insbesondere Abhängigkeit der Periodendauer von systembeschreibenden Größen (Thomson'sche Schwingungsgleichung)</li> <li>• erzwungene elektromagnetische Schwingungen und Resonanz]</li> </ul> | <p>Für GK: Es wird keine Kenntnis zur Induktivität und zur Thomson'schen Schwingungsgleichung erwartet.<br/>GK+LK: Es sind keine Kenntnisse zur Erzeugung elektromagnetischer Wellen gefordert.</p> <p>Für LK: Hier sollte auch die Entstehung der elektromagnetischen Schwingung (u. a. mit der Induktivität) erläutert werden können.</p> |
| 4.2      | <p><i>Inhaltsbezogene und prozessbezogene Kompetenzen</i></p> <p>Die Lernenden...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben elektromagnetische harmonische Schwingungen und kennen die charakteristischen Größen und ihre Zusammenhänge,</li> <li>• beschreiben den Schwingkreis phänomenologisch,</li> <li>• beschreiben die Einflüsse der Bauteile qualitativ,</li> <li>• stellen eine elektromagnetische Schwingung im <math>t</math>-<math>U</math>- bzw. <math>t</math>-<math>I</math>-Diagramm dar,</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | <ul style="list-style-type: none"> <li>benennen die verschiedenen Frequenzbereiche elektromagnetischer Wellen.</li> </ul> <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>vergleichen mechanische und elektromagnetische Schwingungen unter energetischen Aspekten,</li> <li>erklären das Zustandekommen einer elektromagnetischen Schwingung,</li> <li>benennen und berechnen die Energiewandlungen im elektromagnetischen Schwingkreis,</li> <li>berechnen die Kenngrößen eines Schwingkreises,</li> <li>wenden die Thomson'sche Schwingungsgleichung an,</li> <li>beschreiben die Resonanzkurve eines Schwingkreises und beschreiben den dazugehörigen Versuchsaufbau.]</li> </ul> | <p>Beim Schwingkreis bietet es sich besonders an, theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander zu beziehen (vgl. <u>E 4</u>).</p> |
| 4.3      | <p><i>Erweiterungsbausteine (Zugangswege/Anwendungsgebiete/Vertiefungen):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Wechselstromkreis</i> [z. B. Erzeugung einer Wechselspannung; induktiver und kapazitiver Widerstand; Leistung im Wechselstromkreis]</li> <li><i>Elektroakustik</i> [z. B. Funktionsweise unterschiedlicher Mikrofone und Lautsprecher; Verstärkung (Leistung, Spannung)]</li> <li><i>Elektromagnetische Felder im Alltag</i> [z. B. Messung elektrischer Feldstärken; Mobilfunk; „Elektrosmog“]</li> <li><i>Elektromagnetische Wellen</i> (Vertiefung) [z. B. Nahfeld eines Dipols; stehende elektromagnetische Wellen]</li> </ul>                           | <p>Hier kann z. B. zum Thema „Handystrahlung“ eine Risikoeinschätzung zur Mobilfunktechnologie vorgenommen werden (vgl. <u>B 6</u>).</p>                   |
| <b>5</b> | <b>Wellenoptik</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                            |
| 5.1      | <p><i>Sachinhalte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Licht als Wellenphänomen</li> <li>Huygenssches Prinzip, Beugung</li> <li>Wellenbeschreibende Größen</li> <li>Superposition von Wellen, Interferenz am Doppelspalt und Gitter</li> <li>lineare Polarisation, Polarisierbarkeit von Transversalwellen als Unterscheidungsmerkmal gegenüber Longitudinalwellen</li> </ul> <p>[LK</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Einzelspalt mit monochromatischem Licht</li> <li>Mach-Zehnder-Interferometer]</li> </ul>                                                                                                                                                       | <p>Der Wellenaspekt von Licht kann gut als Analogiebe-trachtung zu mechanischen Wellen eingeführt werden, genauso wie die Beugung und Interferenz.</p>     |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5.2 | <p><i>Inhaltsbezogene und prozessbezogene Kompetenzen</i></p> <p>Die Lernenden...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären Beugungs- und Interferenzerscheinungen mit dem Wellenmodell des Lichts,</li> <li>• reflektieren die Verwendung des Wellenmodells unter dem Aspekt der physikalischen Erkenntnisgewinnung (in Abgrenzung zum Strahlenmodell),</li> <li>• führen ein Experiment zu Interferenzerscheinungen durch,</li> <li>• leiten die Bedingungen für Interferenzmaxima und -minima beim Doppelspalt her,</li> <li>• berechnen die Lage von Interferenzmaxima bzw. -minima beim Doppelspalt sowie die Lage der Interferenzmaxima beim Gitter,</li> <li>• bestimmen der Wellenlänge beim Doppelspaltversuch (monochromatisches Licht),</li> <li>• schätzen der Messunsicherheit der Wellenlängen beim Doppelspalt ab und bewerten die Güte der Messung, diskutieren Einflussgrößen auf die Messunsicherheit,</li> <li>• beschreiben die Entstehung des Spektrums von weißem Licht beim Doppelspalt, erläutern die Unterschiede des Interferenzbildes eines Doppelspalts und eines Gitters,</li> <li>• beschreiben Polarisierbarkeit (linear) als Eigenschaft transversaler Wellen gegenüber longitudinalen Wellen und können polarisierte von unpolarisierten Wellen unterscheiden.</li> </ul> <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben Beugung und Interferenz am Einfachspalt und berechnen die Lage der Minima,</li> <li>• kennen den Aufbau und die Funktionsweise eines Interferometers am Beispiel des Mach-Zehnder-Interferometers.]</li> </ul> | <p>Zum Doppelspaltversuch:<br/>Die Kleinwinkelnäherung kann im GK ohne Begründung verwendet werden. Im LK muss die Anwendbarkeit im konkreten Fall beurteilt werden. Es wird nicht erwartet, den Einfluss der Einzelspaltbreite auf das Interferenzbild beim Doppelspalt erklären zu können.</p> <p>Die Messunsicherheit der Wellenlänge beim Doppelspalt kann über die Absolutbeträge der relativen Messunsicherheiten abgeschätzt werden (vgl. <u>E 7</u>):</p> $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \pm \left( \left  \frac{\Delta a_n}{a_n} \right  + \left  \frac{\Delta e}{e} \right  + \left  \frac{\Delta d}{d} \right  \right)$ <p>Die Entstehung des Spektrums am Doppelspalt kann auch experimentell beobachtet werden.</p> |
| 5.3 | <p><i>Erweiterungsbausteine (Zugangswege/Anwendungsgebiete/Vertiefungen):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Elektromagnetisches Spektrum</i> [z. B. Bestimmung der Wellenlänge; Erzeugung und Nachweis von Mikrowellen, Röntgenstrahlung, Wärmestrahlung]</li> <li>• <i>Geometrische Optik im Wellenmodell</i> [Fermatsches Prinzip; Deutung und von Brechung (Linsen); Deutung von Reflexion (ebene und gekrümmte Spiegel)]</li> <li>• <i>Optische Instrumente</i> [z. B. Bauarten von Mikroskopen und Fernrohren; Auflösungsvermögen optischer Systeme]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Farberscheinungen in der Natur</i> [z. B. Streuung, Farbe(n) des Himmels; Interferenz an dünnen Schichten; Emissions- und Absorptionsspektren]</li> <li>• <i>Elektromagnetische Schwingungen und Wellen</i> [z. B. Dipol als Schwinger, Sender, Empfänger; Fernfeld von <b>E</b> und <b>B</b>]</li> <li>• <i>Zeigerformalismus und Lichtwege</i> [z. B. Phasen und Amplituden; Begründung des Fermatschen Prinzips; Lichtwege bei der Reflexion, Cornu-Spiralen; Lichtwege beim Gitter]</li> <li>• <i>Vertiefte Auseinandersetzung mit Messmethoden und Messunsicherheiten</i> (auch Größtfehlerabschätzung indirekter Größen und statistische Auswertung aus Mehrfachmessungen)</li> <li>• <i>Experimentelle Vertiefung</i> [Schülerexperimente zur Polarisation (z. B. Winkelabhängigkeit der Durchlässigkeit von zwei Polarisationsfiltern); Bestimmung des Rillenabstands einer CD/DVD; Untersuchung des Spektrums einer LED mit einem Gitter; Beugung und Zweistrahlinterferenz mit Ultraschallwellen (quantitativ)]</li> </ul> |  |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

## Inhaltsbereich Quantenphysik und Materie

|          | Kompetenzerwartungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Kommentare                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>6</b> | <b>Quantenobjekte</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 6.1      | <p><i>Sachinhalte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Photon und Elektron als Quantenobjekt</li> <li>• Zusammenhänge zwischen Energie und Frequenz eines Photons (quantitativ), Bestimmung eines Näherungswertes für das Planck'sche Wirkungsquantum <math>h</math> mit einer experimentellen Methode (äußerer Fotoeffekt mit der Gegenfeldmethode oder mit LEDs)</li> <li>• Elektronenbeugung (qualitativ)</li> <li>• de Broglie-Beziehung</li> <li>• Grundlegende Aspekte der Quantentheorie: stochastische Vorhersagbarkeit, Interferenz und Superposition, Determiniertheit der Zufallsverteilung, Komplementarität von Weginformation und Interferenzfähigkeit</li> <li>• Elektron am Doppelspalt als konkretes Beispiel für die grundlegenden Aspekte</li> </ul> | <p>Im Sinne von <u>E 9</u> bietet sich hier an, die Diskussion von Modellen des Lichts in der Q-Phase aus erkenntnistheoretischer Perspektive fortzusetzen und zu vertiefen.</p> <p>Die Eignung physikalischer Modelle und Theorien für die Lösung von Problemen kann hier diskutiert werden (vgl. <u>E 8</u>).</p> <p>Es zeigt sich hier auch das Basiskonzept „Zufall und Determiniertheit“.</p> |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li>quantenphysikalisches Weltbild: Problematik der Übertragung von Begriffen (wie z. B. „Realität“, „Lokalität“, „Kausalität“, „Determinismus“) aus der Anschauungswelt in die Quantenphysik</li> </ul> <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Elektronenbeugung an Kristallgittern (quantitativ)</li> <li>Ort-Impuls-Unbestimmtheit (Konzept der Unbestimmtheit in der Form: Unmöglichkeit, einen Zustand zu präparieren, bei dem zueinander komplementäre Größen jeweils einen exakten Wert haben)</li> <li>Koinzidenzmethode zum Nachweis einzelner Photonen</li> <li>Wellenfunktion <math>\Psi(x)</math> für das Elektron</li> <li>Betragsquadrat der Wellenfunktion (<math> \Psi(x) ^2</math>) zur Beschreibung der Nachweiswahrscheinlichkeitsdichte (qualitativ)</li> <li>Delayed-choice-Experiment]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p>Hier ist die Reflexion von Auswirkungen physikalischer Weltbetrachtungen z. B. in historischen oder alltäglichen Zusammenhängen geeignet (vgl. <u>B.8</u>).</p> <p>Bei der Ort-Impuls-Unbestimmtheit bietet sich die Auseinandersetzung mit Gültigkeitsbereichen von Theorien an (vgl. <u>S.2</u>). Die Durchführung von Berechnungen zu Unbestimmtheiten wird im Abitur nicht vorausgesetzt.</p> |
| 6.2 | <p><i>Inhaltsbezogene und prozessbezogene Kompetenzen</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>beschreiben Versuchsanordnungen, welche die Quanteneigenschaften von Photonen und Elektronen verdeutlichen (Doppelspalt, Fotoeffekt, Elektronenbeugung) und die entsprechenden Versuchsergebnisse,</li> <li>bestimmen aus geeigneten Messwerten den Näherungswert des Planck'schen Wirkungsquantums,</li> <li>deuten typische Experimente unter Aspekten der Quantentheorie (z. B. Interferenz und Superposition),</li> <li>berechnen Wellenlängen von Elektronen,</li> <li>nennen und erläutern die grundlegenden Unterschiede zwischen klassischer Physik und Quantenphysik,</li> <li>schätzen den Anwendungsbereich quantenphysikalischer Betrachtungsweisen ab,</li> <li>diskutieren Probleme bei der Übertragung von Begriffen aus der Anschauungswelt in das quantenphysikalische Weltbild.</li> </ul> <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>nutzen die Bragg'sche Gleichung bei der Elektronenbeugungsröhre,</li> <li>schätzen unter Anwendung der Ort-Impuls-Unbestimmtheit den Anwendungsreich quantenphysikalischer Betrachtungsweisen ab (quantitativ),</li> </ul> | <p>Bei der Diskussion um Anschauungswelt und quantenphysikalisches Weltbild bietet sich im Sinne der Bewertungskompetenz (vgl. <u>B.1</u>) eine Fokussierung auf die multiperspektivische Betrachtung an.</p>                                                                                                                                                                                        |

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben eine Versuchsanordnung zur Koinzidenzmessung und deuten Messungen zum Nachweis einzelner Photonen,</li> <li>• deuten das Betragsquadrat der Wellenfunktion als Nachweiswahrscheinlichkeitsdichte,</li> <li>• beschreiben ein Delayed-Choice-Experiment und interpretieren die Ergebnisse.]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Messungen zum Nachweis einzelner Photonen können bspw. mit Simulationen veranschaulicht werden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 6.3      | <p><i>Erweiterungsbausteine (Zugangswege/Anwendungsgebiete/Vertiefungen)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Quantencomputer</i> [z. B. Superposition und Verschränkung; Qubits; Quantenregister; (probabilistische) Algorithmen; physikalische Realisierung]</li> <li>• <i>Quantenkryptografie</i> [z. B. Chiffrierung (Alice-Eva-Bob); verschränkte Photonen und Schlüsselübertragung; physikalische und technische Realisierung]</li> <li>• <i>Experimentelle Vertiefung</i> [Schülerexperimente zur Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums <math>h</math> durch Messungen an Leuchtdioden (innerer Fotoeffekt)]</li> <li>• <i>Einblicke in das SI-System von 2019</i> [Definition der SI-Basiseinheiten auf Grundlage von Naturkonstanten; insbes. Kilogramm, Meter und Sekunde]</li> </ul> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>7</b> | <b>Quantenphysik der Atomhülle</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 7.1      | <p><i>Sachinhalte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• qualitative Betrachtung grundlegender Eigenschaften quantenmechanischer Atommodelle am Beispiel des eindimensionalen Potentialtopfs mit unendlich hohen Wänden</li> <li>• Energiestufenmodell</li> <li>• Energiewerte für Wasserstoff</li> <li>• Orbitale des Wasserstoffatoms als Veranschaulichung der Nachweiswahrscheinlichkeiten für das Elektron</li> <li>• Veranschaulichung Emission und Absorption im Energieniveauschema</li> <li>• Emission und Absorption von Photonen als Energieabgabe und Anregung von Atomen (auch quantitativ)</li> <li>• Entstehung von Linienspektren, Zusammenhang zum Energieniveauschema</li> </ul>                                                                                                          | <p>Hier ist das Energiestufenmodell als Erklärungsansatz für Strukturen von Daten (vgl. E 6) im Sinne des Umgangs mit Modellen denkbar.</p> <p>Sowohl bei der Veranschaulichung als Orbitale als auch in der Auseinandersetzung mit dem Energieniveauschema ist eine Förderung des Kompetenzbereichs Kommunikation (insbes. K 3) sinnvoll. In Bezug auf Quantenzahlen wird nur die Kenntnis der Hauptquantenzahl erwartet.</p> |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                         |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• quantitative Betrachtung des Modells des eindimensionalen Potentialtopfs (diskrete Energiewerte, Wellenfunktion und Nachweiswahrscheinlichkeiten für das Elektron im Potentialtopf mit unendlich hohen Wänden)</li> <li>• Grenzen des Modells des eindimensionalen Potentialtopfs</li> <li>• Energiewerte für wasserstoffähnliche Atome</li> <li>• Ausblick auf Mehrelektronensysteme, Pauli-Prinzip</li> <li>• Entstehung des kontinuierlichen und diskreten Röntgenspektrums auch mithilfe des Mosley'schen Gesetzes]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>Bei der Thematisierung von Mehrelektronensystemen bieten sich verschiedenen Darstellungsformen an, auch mithilfe digitaler Werkzeuge (vgl. K 6).</p> |
| 7.2 | <p><i>Inhaltsbezogene und prozessbezogene Kompetenzen</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Quantisierung der Energie gebundener Elektronen anhand des Modells des linearen Potentialtopfs,</li> <li>• nennen Grundeigenschaften quantenmechanischer Atommodelle,</li> <li>• berechnen Energiedifferenzen bei Zustandsänderungen des Wasserstoffatoms,</li> <li>• erläutern einfache Orbitaldarstellungen des Wasserstoffatoms,</li> <li>• erklären den Zusammenhang zwischen dem Energieniveauschema eines Atoms und dessen (diskretes) Spektrum,</li> <li>• nutzen die ein Energieniveauschema zur Veranschaulichung von Emission und Absorption von Photonen,</li> <li>• stellen die Wellenfunktion und das Quadrat der Wellenfunktion im linearen Potentialtopf grafisch dar.</li> </ul> <p>[LK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• diskutieren die Grenzen des Modells vom eindimensionalen Potentialtopf,</li> <li>• berechnen Energiewerte für wasserstoffähnliche Atome,</li> <li>• beschreiben die grundlegenden Unterschiede im Energieniveauschema von Wasserstoff und Mehrelektronensystemen,</li> <li>• wenden das Pauli-Prinzip auf Mehrelektronensysteme an,</li> <li>• beschreiben die Entstehung vom kontinuierlichen und diskreten Röntgenspektrum.]</li> </ul> | <p>Kenntnisse über das Bohr'sche Atommodell oder die Rydberg-Formel werden hier nicht erwartet.</p>                                                     |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7.3 | <p><i>Erweiterungsbausteine (Zugangswege/Anwendungsgebiete/Vertiefungen)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festkörperphysik [z. B. Übergang Atom-Festkörper; quantenphysikalische Aspekte der Festkörperphysik; Farbstoffe; Bändermodell]</li> <li>• Laser [z. B. Fluoreszenz; stimulierte Emission; (optisch gepumpter) Laser; Selbstorganisation von Systemen; Laser in Technik und Alltag]</li> <li>• <i>Entwicklung der Atommodelle</i> [z. B. Funktion von Modellen in der physikalischen Erkenntnisgewinnung; Übergänge zwischen Atommodellen (Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, wellenmechanisches Modell)]</li> <li>• <i>Spektren, Bohrsches Atommodell</i> [z. B. Linienspektren von Gasen (einschl. Schülerexperimente); Wasserstoffspektrum; Rydberg-Frequenz; Energieniveaus; Bohrsches Atommodell]</li> <li>• <i>Franck-Hertz-Versuch</i></li> <li>• <i>Halbleiterphysik</i> [z. B. reine Halbleiter; dotierte Halbleiter; ausgewählte Anwendungen (Dioden, Solarzellen, Transistoren, LED, Halbleiterlaser etc.)]</li> <li>• <i>Experimentelle Vertiefung zur Halbleiterphysik</i> [Schülerexperimente zur Untersuchung von Solarzellen, Fotodioden und deren Kennlinien]</li> </ul> |                                                                                                                                                                                |
| 8   | <b>Struktur der Materie (als KB nur für LK)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                |
| 8.1 | <p><i>Sachinhalte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Suche nach den kleinsten Bausteinen</li> <li>• Kernmasse, Kernradius, Proton, Neutron</li> <li>• Paarbildung und Paarvernichtung</li> <li>• Der Teilchenzoo – drei Klassen von Teilchen und Antiteilchen</li> <li>• Nukleonen aus Quarks zusammengesetzt</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>Kommentar:<br/>Der KB 8 gilt nur für den LK. Für den GK ist „Die Suche nach den kleinsten Bausteinen“ (siehe unten) als EB in Verbindung mit KB 6 oder KB 7 vorgesehen.</p> |
| 8.2 | <p><i>Inhaltsbezogene und prozessbezogene Kompetenzen</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• schätzen die Größenordnungen von Strukturbauteilen der Materie ab,</li> <li>• beschreiben Verfahren zur Bestimmung der Masse und des Radius von Kernen und Nukleonen,</li> <li>• beschreiben die Funktion eines Massenspektrographen,</li> <li>• erläutern das Rutherford'sche Streuexperiment,</li> <li>• beschreiben und berechnen Paarbildung und Paarvernichtung mit Energie-Masse-Umwandlung,</li> <li>• beschreiben den Aufbau von Nukleonen aus Quarks.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>Das Streuexperiment kann auch als interaktive Bildschirmexperiment oder als Simulation herangezogen werden.</p>                                                             |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8.3 | <p><i>Erweiterungsbausteine (Zugangswege/Anwendungsgebiete/Vertiefungen) für den LK</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Kernzustände und -modelle</i> [z. B. Potentialtopfmodell des Atomkerns; Tröpfchenmodell; Bindungsenergie, Massendefekt]</li> <li>• <i>Austauschkräfte und Austauschteilchen</i> [z. B. die vier Grundkräfte der Natur; Feldquanten; virtuelle Teilchen; Feynman-Graphen]</li> <li>• <i>Experimentelle Nachweise kleinster Bausteine</i> [z. B. Detektoren von Elementarteilchen, Tomographie als Werkzeug für die Archäologie o. ä.]</li> <li>• <i>Großforschungsanlagen zur Teilchenphysik</i> [z. B. DESY (vorzugsweise in Verbindung mit einer Exkursion); Linearbeschleuniger; Kreisbeschleuniger, Synchrotron; Zyklotron; aktuelle Forschungsfragen; Detektoren; relativistische Effekte in Beschleunigeranlagen]</li> <li>• <i>Radioaktivität</i> [z. B. Beschreibende Größen für ionisierende Strahlung (Becquerel, Sievert, Gray); Kernzerfälle (theoretisch vertieft); Spektrum der <math>\alpha</math>- und <math>\beta</math>-Strahlung; Kernspaltung und Kernfusion]</li> <li>• <i>Kernenergie</i> [z. B. Beschreibende Größen für ionisierende Strahlung (Becquerel, Sievert, Gray); Kernspaltung und Kernfusion; technische Umsetzung (auch Fusionsreaktoren); Perspektiven der Nutzung der Kernenergie]</li> <li>• <i>Untersuchung von Mikrostrukturen</i> [z. B. Kristallstrukturen; Strukturanalyse mit Röntgenstrahlung; Rasterelektronenmikroskopie]</li> </ul> | <p>Der EB „Radioaktivität“ sowie der EB „Kernenergie“ bieten z. B. auch die Möglichkeit politische Entscheidungen zur Energieversorgung bezüglich nachhaltiger Entwicklung aus Sicht unterschiedlicher Länder zu betrachten (vgl. B.6).</p> |
|     | <p><b>Erweiterungsbaustein „Die Suche nach den kleinsten Bausteinen“ (nur GK, in Verbindung mit KB 6 oder 7)</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                             |
| 8.4 | <p><i>Übergreifende Sachinhalte:</i> Kernmasse, Kernradius, Proton, Neutron, Quarks</p> <p><i>Mögliche Zugangswege:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Historische Entwicklung</i> [vom Rutherford-Experiment zum Standardmodell]</li> <li>• <i>Experimentelle Nachweise kleinster Bausteine</i> [z. B. Detektoren von Elementarteilchen, Tomographie als Werkzeug für die Archäologie o. ä.]</li> <li>• <i>Großforschungsanlagen zur Teilchenphysik</i> [z. B. DESY (vorzugsweise in Verbindung mit einer Exkursion); Linearbeschleuniger; Kreisbeschleuniger, Synchrotron; Zyklotron; aktuelle Forschungsfragen; Detektoren; relativistische Effekte in Beschleunigeranlagen]</li> <li>• <i>Untersuchung von Mikrostrukturen</i> [z. B. Kristallstrukturen; Strukturanalyse mit Röntgenstrahlung; Rasterelektronenmikroskopie]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                             |

### 3.3 Themenfolgen und Schwerpunktsetzungen

Die inhalts- und prozessbezogenen Kompetenzen der Kapitel 3.1 und 3.2 sind im Verbund mit den Kompetenzen der vier naturwissenschaftlichen Kompetenzbereiche und den physikbezogenen digitalen Kompetenzen die Grundlage zur Erstellung der schulinternen Curricula für die Einführungs- und Qualifikationsphase durch die Fachkonferenz an der Schule. Das schulinterne Curriculum beschreibt, welche Inhalte wie, wodurch und in welchem Zeitrahmen zur Entwicklung der Kompetenzen behandelt werden. Das schulinterne Curriculum ist für die jeweilige Schule verbindlich, soll aber Freiräume für individuelle Vorhaben einplanen.

Die *Fachkonferenz* empfiehlt für den Leistungskurs und für den Grundkurs, welche Erweiterungsbausteine mit den dort zu unterrichtenden Kernbausteinen verbunden werden. Dabei soll dem höheren fachinhaltlichen Anspruch und der größeren theoretischen Orientierung im Leistungskurs Rechnung getragen werden. Zur Sicherstellung einer angemessenen inhaltlichen Breite sind für den *Leistungskurs mindestens fünf und für den Grundkurs mindestens drei Erweiterungsbausteine verbindlich*. Die Auswahl und Ausgestaltung dieser Zugänge, Anwendungen und Vertiefungen ermöglicht Schwerpunktsetzungen der jeweiligen Schule, z. B. im Bereich technischer Anwendungen, lebensweltbezogener Themen oder theoretisch vertiefter Betrachtungen. Die Fachkonferenz kann eigene Erweiterungsbausteine formulieren und in der Kursplanung berücksichtigen.

## 4. Leistungsbewertung

Die Dokumentation und Beurteilung der individuellen Entwicklung des Lern- und Leistungsstandes der Lernenden berücksichtigt nicht nur die Produkte, sondern auch die Prozesse schulischen Lernens und Arbeitens. Die Leistungsbewertung dient der Rückmeldung für Lernende, Erziehungsberechtigte und Lehrkräfte. Sie ist eine Grundlage verbindlicher Beratung sowie der Förderung der Lernenden. Mit Beginn der Qualifikationsphase wird die Leistungsbewertung Teil der Gesamtqualifikation des Abiturs und Grundlage für die Zulassung zur Abiturprüfung.

Prinzipiell zu unterscheiden sind Lern- und Leistungssituationen: In Lernsituationen wird die Intensität der konstruktiven Auseinandersetzung mit fachlichen Fehlern beurteilt. Fachliche Fehler werden hier nicht als Defizite, sondern als Quelle für die fachliche Weiterentwicklung angesehen. In Leistungssituationen hingegen gehen Quantität und Qualität fachlicher Fehler direkt in die Leistungsbeurteilung ein.

Grundsätze der Leistungsbewertung:

- Bewertet werden die im Unterricht und für den Unterricht erbrachten Leistungen der Lernenden.
- Die Leistungsbewertung findet mit Blick auf den Erwerb der zum jeweiligen Unterrichtsabschnitt gehörenden Kompetenzen unter Berücksichtigung der Anforderungsbereiche statt.
- Die Leistungsbewertung muss für Lernende sowie Erziehungsberechtigte transparent sein, die Kriterien der Leistungsbewertung müssen zu Beginn des Beurteilungszeitraums bekannt sein.

- Die Kriterien für die Leistungsbewertung und die Gewichtung zwischen den beiden unten genannten Beurteilungsbereichen werden in der Fachkonferenz festgelegt – im Rahmen der Vorgaben der Verordnung über die Gymnasiale Oberstufe.

Die beiden notwendigen Beurteilungsbereiche sind:

- (1) schriftliche Arbeiten unter Aufsicht und ihnen gleichgestellte Arbeiten und
- (2) die laufende Unterrichtsarbeit.

Für beide Bereiche werden Noten festgelegt. Die Gesamtnote darf sich nicht überwiegend auf die Ergebnisse des ersten Beurteilungsbereichs stützen.

- (1) Schriftliche Arbeiten unter Aufsicht und ihnen gleichgestellte Arbeiten

Schriftliche Arbeiten unter Aufsicht (Klausuren) dienen der Überprüfung der Lernergebnisse eines Unterrichtsabschnittes. Weiter können sie zur Unterstützung kumulativen Lernens auch der Vergewisserung über die Nachhaltigkeit der Lernergebnisse zurückliegenden Unterrichts dienen. Sie geben Aufschluss über das Erreichen der Ziele des Unterrichts, sowohl der inhaltsbezogenen als auch der prozessbezogenen Kompetenzen. Im Verlauf der gymnasialen Oberstufe sollen sich die Klausuren in ihren Anforderungen zunehmend inhaltlich und formal an den Anforderungen der schriftlichen Abiturprüfung orientieren. Dies betrifft in formaler Hinsicht:

- die Formulierung der Aufgabenstellungen unter Verwendung der Operatoren, wie sie im Anhang beschrieben sind;
- die Verteilung der Bewertungseinheiten auf Aufgaben;
- die Verwendung der vier naturwissenschaftlichen Kompetenzbereiche;
- die Berücksichtigung der Anforderungsbereiche;
- die Verwendung von Hilfsmitteln.

- (2) Laufende Unterrichtsarbeit

Dieser Beurteilungsbereich umfasst alle von den Lernenden außerhalb der schriftlichen Arbeiten unter Aufsicht und den ihnen gleichgestellten Arbeiten erbrachten Unterrichtsleistungen. Dazu gehören beispielsweise

- die Qualität und Quantität der mündlichen und schriftlichen Mitarbeit unter Berücksichtigung der vier naturwissenschaftlichen Kompetenzbereiche, der Kompetenzen zur Bildung in der digitalen Welt und zur Bildung für nachhaltige Entwicklung;
- Mitarbeit und Qualität der Arbeit im Rahmen praktischer Arbeiten (z. B. Experimentieren, Protokollieren, Untersuchen);
- die selbstständige Bearbeitung von Übungsaufgaben im Unterricht in Einzel- oder Partnerarbeit;
- die Beteiligung bei Gruppenarbeit;
- die Güte der Kommunikation, mit der sich Lernende auf fachliche Inhalte und Gedankengänge anderer beziehen, diese aufgreifen, korrigieren oder weiterentwickeln;
- die Mitarbeit in Unterrichtsprojekten (z. B. mit gemeinsamem Produkt, gemeinsamer Präsentation, schriftlicher Prozessdokumentation);

- Arbeitsprodukte aus dem Unterricht wie Protokolle und Auswertungen von Experimenten, Lerntagebücher oder Portfolios;
- Hausaufgaben;
- längerfristig gestellte häusliche Arbeiten (z. B. Referate oder kleinere Facharbeiten);
- Präsentationen und Präsentationstechniken;
- Auswahl und Umgang mit geeigneten Medien.

## Anhang

### Operatoren für die naturwissenschaftlichen Fächer

Die standardisierten Arbeitsaufträge (Operatoren) werden in der folgenden Tabelle aufgeführt und erläutert. Diese Operatoren werden im Unterricht eingeführt. Sie signalisieren den Lernenden, welche Tätigkeiten sie bei der Erledigung von Arbeitsaufträgen ausführen sollen und welche beim Lösen von Aufgaben in Klausuren und Prüfungen von ihnen erwartet werden.

Die Verwendung eines Operators, der im Folgenden nicht genannt wird, ist möglich, wenn aufgrund der standardsprachlichen Bedeutung dieses Operators in Verbindung mit der Aufgabenstellung davon auszugehen ist, dass die jeweilige Aufgabe im Sinne der Aufgabenstellung bearbeitet werden kann (z. B. „durchführen“: Führen Sie das Experiment durch.)

| Operator                | Erläuterung                                                                                                                                                                     |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ableiten                | auf der Grundlage von Erkenntnissen oder Daten sachgerechte Schlüsse ziehen                                                                                                     |
| abschätzen              | durch begründete Überlegungen Größenwerte angeben                                                                                                                               |
| analysieren             | wichtige Bestandteile, Eigenschaften oder Zusammenhänge auf eine bestimmte Fragestellung hin herausarbeiten<br><i>Chemie zusätzlich:</i> einen Sachverhalt experimentell prüfen |
| aufstellen, formulieren | chemische Formeln, Gleichungen, Reaktionsgleichungen (Wort- oder Formelgleichungen) oder Reaktionsmechanismen entwickeln                                                        |
| Hypothesen aufstellen   | eine Vermutung über einen unbekannten Sachverhalt formulieren, die fachlich fundiert begründet wird                                                                             |
| angeben, nennen         | Formeln, Regeln, Sachverhalte, Begriffe oder Daten ohne Erläuterung aufzählen bzw. wiedergeben                                                                                  |
| auswerten               | Beobachtungen, Daten, Einzelergebnisse oder Informationen in einen Zusammenhang stellen und daraus Schlussfolgerungen ziehen                                                    |
| begründen               | Gründe oder Argumente für eine Vorgehensweise oder einen Sachverhalt nachvollziehbar darstellen                                                                                 |
| berechnen               | Die Berechnung ist ausgehend von einem Ansatz darzustellen.                                                                                                                     |
| beschreiben             | Beobachtungen, Strukturen, Sachverhalte, Methoden, Verfahren oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren                                   |
| beurteilen              | Das zu fällende Sachurteil ist mithilfe fachlicher Kriterien zu begründen.                                                                                                      |
| bewerten                | Das zu fällende Werturteil ist unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Werte und Normen zu begründen.                                                                         |
| darstellen              | Strukturen, Sachverhalte oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren, auch mithilfe von Zeichnungen und Tabellen                           |
| diskutieren             | Argumente zu einer Aussage oder These einander gegenüberstellen und abwägen                                                                                                     |
| erklären                | einen Sachverhalt nachvollziehbar und verständlich machen, indem man ihn auf Regeln und Gesetzmäßigkeiten zurückführt                                                           |
| erläutern               | einen Sachverhalt veranschaulichend darstellen und durch zusätzliche Informationen verständlich machen                                                                          |
| ermitteln               | ein Ergebnis oder einen Zusammenhang rechnerisch, grafisch oder experimentell bestimmen                                                                                         |

|                           |                                                                                                                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| herleiten                 | mithilfe bekannter Gesetzmäßigkeiten einen Zusammenhang zwischen chemischen bzw. physikalischen Größen herstellen                                                     |
| interpretieren,<br>deuten | naturwissenschaftliche Ergebnisse, Beschreibungen und Annahmen vor dem Hintergrund einer Fragestellung oder Hypothese in einen nachvollziehbaren Zusammenhang bringen |
| ordnen                    | Begriffe oder Gegenstände auf der Grundlage bestimmter Merkmale systematisch einteilen                                                                                |
| planen                    | zu einem vorgegebenen Problem (auch experimentelle) Lösungswege entwickeln und dokumentieren                                                                          |
| skizzieren                | Sachverhalte, Prozesse, Strukturen oder Ergebnisse übersichtlich grafisch darstellen                                                                                  |
| untersuchen               | Sachverhalte oder Phänomene mithilfe fachspezifischer Arbeitsweisen erschließen                                                                                       |
| vergleichen               | Gemeinsamkeiten und Unterschiede kriteriengeleitet herausarbeiten                                                                                                     |
| zeichnen                  | Objekte grafisch exakt darstellen                                                                                                                                     |