

# Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe

## Teil C

## Physik



## **Impressum**

### **Erarbeitung**

Dieser Rahmenlehrplan wurde vom Landesinstitut für Schule und Medien Berlin-Brandenburg (LISUM) erarbeitet.

### **Herausgeber**

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin;  
Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg

### **Gültigkeit**

Gültig ab Schuljahr 2022/23 hinsichtlich der Regelungen zur Einführungsphase in der gymnasialen Oberstufe. Der Rahmenlehrplan gilt für Schülerinnen und Schüler, die im Schuljahr 2022/23 in die Einführungsphase an Integrierten Sekundarschulen/Gemeinschaftsschulen/beruflichen Gymnasien/Kollegs/Abendgymnasien (Land Berlin) und an Gesamtschulen/beruflichen Gymnasien/Einrichtungen des Zweiten Bildungsweges (Land Brandenburg) eintreten.

Gültig ab Schuljahr 2023/24 hinsichtlich der Regelungen zur Qualifikationsphase in der gymnasialen Oberstufe. Der Rahmenlehrplan gilt für Schülerinnen und Schüler, die im Schuljahr 2023/24 in die Qualifikationsphase an Gymnasien/Integrierten Sekundarschulen/Gemeinschaftsschulen/beruflichen Gymnasien/Kollegs/Abendgymnasien (Land Berlin) und an Gymnasien/Gesamtschulen/beruflichen Gymnasien/Einrichtungen des Zweiten Bildungsweges (Land Brandenburg) eintreten.

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg 2021



<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.de>

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Bildungsbeitrag der Naturwissenschaften</b>	<b>5</b>
1.1	Kompetenzmodell der Naturwissenschaften	6
1.2	Bildungsbeitrag des Faches Physik	7
<b>2</b>	<b>Bildungsstandards für die Kompetenzbereiche im Fach Physik</b>	<b>9</b>
2.1	Eingangsvoraussetzungen	9
2.2	Abschlussorientierte Standards	9
2.2.1	Sachkompetenz	10
2.2.2	Erkenntnisgewinnungskompetenz	11
2.2.3	Kommunikationskompetenz	12
2.2.4	Bewertungskompetenz	14
2.3	Basiskonzepte	15
2.3.1	Erhaltung und Gleichgewicht	15
2.3.2	Superposition und Komponenten	15
2.3.3	Mathematisieren und Vorhersagen	16
2.3.4	Zufall und Determiniertheit	16
<b>3</b>	<b>Themenfelder und Inhalte</b>	<b>17</b>
3.1	Wahlpflichtthemen für die Einführungsphase	17
3.1.1	Wurfbewegungen	18
3.1.2	Charakteristische Denk- und Arbeitsweisen in der Physik	19
3.1.3	Kreisbewegungen	20
3.1.4	Impuls und Impulserhaltung	21
3.1.5	Energie	22
3.2	Themenfelder und Inhalte für die Qualifikationsphase	23
3.2.1	Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld	24
3.2.2	Bewegung von geladenen Teilchen in Feldern	29
3.2.3	Elektromagnetische Induktion	31
3.2.4	Schwingungen	34
3.2.5	Wellen	37
3.2.6	Quantenobjekte	41
3.2.7	Atome	43



## 1 Bildungsbeitrag der Naturwissenschaften

Die Allgemeine Hochschulreife umfasst eine vertiefte Allgemeinbildung, allgemeine Studierfähigkeit sowie wissenschaftspropädeutische Bildung. Die naturwissenschaftlichen Fächer leisten dazu einen wesentlichen Beitrag durch die Weiterentwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenz der Lernenden auf Basis der Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss.

Naturwissenschaften prägen durch ihre Denk- und Arbeitsweisen, Erkenntnisse und die daraus resultierenden Anwendungen grundlegend unsere moderne Gesellschaft und kulturelle Identität sowie die globale ökologische, ökonomische und soziale Situation. Sie sind von fundamentaler Bedeutung für das Verständnis unserer Welt und leisten einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung. Die Naturwissenschaften bilden die Basis für eine Vielzahl von Berufen, Ausbildungswegen, Studiengängen und Forschungsgebieten.

Das Wechselspiel zwischen naturwissenschaftlicher Erkenntnis und deren Anwendung in Gebieten wie Gesundheit, Ernährung, Klima und Technik hat Einfluss auf ökologische, ökonomische und soziale Systeme. Das Erkennen, Einordnen, Bewerten und Berücksichtigen möglicher Folgen für ökologische, ökonomische und soziale Systeme ist für eine verantwortungsvolle gesellschaftliche Teilhabe notwendig und erfordert naturwissenschaftliche Kompetenz.

Naturwissenschaftliche Kompetenz schließt auch ein, Phänomene in Natur und Technik systematisch zu erfassen, zu beschreiben und zu erklären. Um Naturwissenschaften zu verstehen, ist es zudem notwendig, deren Fachsprachen zu beherrschen und deren Historie zu kennen. Insofern ist naturwissenschaftliche Kompetenz auch mit sprachlicher und kultureller Bildung verbunden. Naturwissenschaftliche Kompetenz bedeutet, die vorhandenen Kompetenzen der Lernenden zu vertiefen, zu erweitern und zu vernetzen; naturwissenschaftliche Kompetenz heißt aber auch, eine Metaperspektive auf die Denk- und Arbeitsweisen der Naturwissenschaften einnehmen zu können. Zu diesen zählen:

- Phänomene der Natur, der Technik und des Alltags aus naturwissenschaftlicher Perspektive zu beobachten, mithilfe zunehmend abstrakter und komplexer Modelle zu beschreiben und naturwissenschaftliche Fragestellungen aus diesen abzuleiten;
- Hypothesen zu bilden, diese zum Beispiel durch systematisches Beobachten, Experimente, Modelle, Simulationen bzw. theoretische Überlegungen zu prüfen und Schlussfolgerungen auch unter Verwendung von mathematischen Mitteln zu ziehen;
- die Methoden der Erkenntnisgewinnung wie zum Beispiel systematische Beobachtungen, Experimente und Modelle in den Naturwissenschaften zu reflektieren und die Vor- und Nachteile sowie die Grenzen dieser Methoden zu bewerten;
- neue naturwissenschaftliche Informationen zu erschließen, mit dem Vorwissen zu verknüpfen und dieses Wissen auch reflektiv auf Fragestellungen, Phänomene und zugrundeliegende Quellen anzuwenden;
- naturwissenschaftliche Sachverhalte fachsprachlich auch unter Verwendung von Mathematisierungen und fachtypischen Repräsentationsformen darzustellen, zu präsentieren, zu diskutieren, zu bewerten sowie naturwissenschaftlich zu argumentieren und damit am gesellschaftlichen Diskurs teilhaben zu können;
- zu erkennen und zu reflektieren, wie Naturwissenschaften und Technik unsere Umwelt in materieller, intellektueller und kultureller Hinsicht stetig verändern;
- gesellschaftliche Folgen von Entscheidungen, die in naturwissenschaftlichen Kontexten und deren Anwendungszusammenhängen getroffen wurden, anhand von Kriterien zu beurteilen.

Naturwissenschaftliche Kompetenz bietet Orientierung in der durch Naturwissenschaften und Technik geprägten Lebenswelt, eröffnet Perspektiven für die berufliche Orientierung und schafft Grundlagen für selbstgesteuertes, lebenslanges, globales und soziales Lernen.

Naturwissenschaftliche Kompetenz wird somit in Auseinandersetzung mit übergreifenden Themen entwickelt und ist damit Teil einer vertieften allgemeinen Bildung.

Die zunehmende Digitalisierung führt zu gesellschaftlichen Veränderungen, die viele Lebens- und Arbeitsbereiche betreffen. Dies führt zu veränderten Anforderungen an naturwissenschaftliche Kompetenz. Daher beschreiben die Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Fächern Möglichkeiten, wie die Nutzung digitaler Medien und Werkzeuge Bildungsprozesse in den Naturwissenschaften unterstützen kann. Kompetenzen des fachlichen Umgangs mit digitalen Medien und Werkzeugen sind ebenfalls integraler Bestandteil der Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Fächern.

### 1.1 Kompetenzmodell der Naturwissenschaften

Das den Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife zugrunde liegende Modell der naturwissenschaftlichen Kompetenz baut auf den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss (MSA) auf. Es werden vier Kompetenzbereiche unterschieden:

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.

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.

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 **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.

Die vier Kompetenzbereiche Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz durchdringen einander und bilden gemeinsam die **Fachkompetenz** im jeweiligen Fach ab. Kompetenzen zeigen sich in der Verbindung von Wissen und Können in den jeweiligen Kompetenzbereichen, also von Kenntnissen und Fähigkeiten, und sind nur im Umgang mit Inhalten zu erwerben. Die Kompetenzbereiche sind in Teilkompetenzbereiche untergliedert.

Die Kompetenzbereiche erfordern jeweils bereichsspezifisches **Fachwissen**. Das Fachwissen besteht somit aus einem breiten Spektrum an Kenntnissen als Grundlage fachlicher Kompetenz. Zu diesem Spektrum gehören naturwissenschaftliche Konzepte, Theorien, Verfahren, Denk- und Arbeitsweisen, Fachsprache, fachtypische Darstellungen und Argumentationsstrukturen, fachliche wie überfachliche Perspektiven und Bewertungsverfahren.

Der Beschreibung von naturwissenschaftlichen Sachverhalten liegen fachspezifische Gemeinsamkeiten zugrunde, die sich in Form von **Basiskonzepten** strukturieren lassen. Die Basiskonzepte 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.

## 1.2 Bildungsbeitrag des Faches Physik

Die Naturwissenschaft Physik leistet einen Beitrag für ein umfassendes Verständnis der Welt. Dazu gehört auch, die Grundlagen von Technologien zu verstehen und deren Nutzung im Hinblick auf das eigene Leben und die Gesellschaft zu bewerten, sowie Informationen, insbesondere in der digitalen Welt, selbstbestimmt zu nutzen. Physikalische Erkenntnisse prägen unser Weltbild und verdeutlichen durch den Wandel, dem sie unterworfen sind, die Offenheit der Physik für Weiterentwicklung.

Die Physik als **theoriegeleitete Erfahrungswissenschaft** macht Vorgänge über die menschliche Wahrnehmung hinaus durch Messtechnik erfahrbar und durch Modelle beschreibbar, zeigt aber auch die Grenzen der Messbarkeit und Alltagserfahrung auf, z. B. im Bereich der Quantenphysik. Die Lernenden erfahren im Unterricht die Bedeutung der abstrahierenden, idealisierenden und formalisierten Beschreibung von Prozessen und Systemen, wenn sie regelmäßig mathematisch modellieren und Vorhersagen treffen. Gleichzeitig sind sich die Lernenden der begrenzten Gültigkeit der Modelle bewusst. Sie lernen, dass aus theoretischen Überlegungen Aussagen zu neuen Zusammenhängen und zur Vorhersagbarkeit von Ereignissen abgeleitet werden können.

Physik ist nicht nur Wissenschaft, sondern auch **Denkweise und Weltsicht**. Ihre rationale und analytische Sichtweise, Exaktheit der Sprache und planvollen, strukturierten Herangehensweisen haben eine zentrale Bedeutung in einer Vielzahl von Berufsfeldern und für die aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation. In der Auseinandersetzung mit typisch physikalischen Denk- und Arbeitsweisen, wie Analogiebetrachtungen, algorithmisiertem Vorgehen, probabilistischen Beschreibungen und Streben nach Vereinheitlichung und Kohärenz, erfahren die Lernenden den **Aspektcharakter spezifischer Perspektiven** und die Vorteile von Verallgemeinerungen in wenige fundamentale Ideen, wie z. B. die Erhaltungssätze. Die Lernenden nutzen diese Denk- und Arbeitsweisen nicht nur innerhalb der Fachwissenschaft Physik, sondern transferieren diese auch als Strategien in ihren Lebensalltag. Sie entwickeln Verständnis und Wertschätzung für physikalische Sichtweisen, nutzen sie aktiv und fordern sie von anderen ein. Der fortwährende Wechsel zwischen Modellen und Realität und die kontinuierliche Reflexion von vereinfachenden Algorithmen sensibilisieren sie für Möglichkeiten und Gefahren, die besonders auch in der digitalen Welt auftreten können.

Als eine der ältesten Wissenschaften ist die Physik seit jeher in ein **Wechselspiel mit Technik und Gesellschaft** eingebunden. Sowohl historische als auch aktuelle Entwicklungen verdeutlichen die Notwendigkeit der Betrachtung gesellschaftlich relevanter Problemstellungen wie der Energieversorgung oder des Klimawandels aus physikalischer und technischer Sicht. Lernende werden dazu angeregt, sich rational reflektiert eine eigene Meinung zu bilden und sowohl in ihrem unmittelbaren Umfeld als auch in der Gesellschaft Verantwortung zu übernehmen. Die enorme Größe einiger interdisziplinärer und internationaler Forschungsverbände zur Bearbeitung fundamentaler Fragen verdeutlicht die Relevanz von Zusammenarbeit. Für ein harmonisches und konstruktives Miteinander sind Rücksichtnahme und Kompromissbereitschaft einerseits und engagiertes Handeln andererseits notwendig. In diesem Sinne leistet auch der Physikunterricht einen wichtigen Beitrag zur Persönlichkeitsentwicklung und zur politischen Bildung von Jugendlichen.

Physikalische Bildung hat insgesamt einerseits einen wissenschaftspropädeutischen Charakter, andererseits aber auch wesentlichen Einfluss auf den lebenslangen individuellen Kompetenzaufbau und stellt einen wichtigen Teilbereich der Allgemeinbildung dar.





## 2 Bildungsstandards für die Kompetenzbereiche im Fach Physik

### 2.1 Eingangsvoraussetzungen

Für einen erfolgreichen Kompetenzerwerb in der gymnasialen Oberstufe sollten die Schülerinnen und Schüler zu Beginn der Qualifikationsphase bestimmte fachliche Anforderungen bewältigen. Diese sind identisch mit den H-Standards des Rahmenlehrplans für die Jahrgangsstufen 1–10, Teil C Physik. Die H-Standards setzen jeweils die Kompetenzen auf den vorgelegerten Niveaustufen voraus. Den Lernenden ermöglichen sie, sich ihres Leistungsstandes zu vergewissern. Lehrkräfte nutzen sie für differenzierte Lernarrangements sowie zur individuellen Lernberatung.

### 2.2 Abschlussorientierte Standards

Die Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife definieren die Kompetenzen, die Lernende bis zum Ende der Qualifikationsphase erwerben sollen. Diese werden sowohl im Unterricht des Grundkursfachs als auch des Leistungskursfachs entwickelt.

Der Unterschied in den Anforderungen des Grund- und des Leistungskurses liegt im Umfang und in 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 Sachverhalte eventuell in höherer Komplexität der verwendeten Modelle detaillierter betrachtet werden. Darüber hinaus nutzen Lernende des Leistungskurses auch eine deutlich umfangreichere und tiefere Mathematisierung.

Im Bereich der **Erkenntnisgewinnungskompetenz** wird im Leistungskurs 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 Leistungskurses 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 im Leistungskurs 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 die Anforderungen im Grund- und im Leistungskurs.

### 2.2.1 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.

### 2.2.2 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, vor allem 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 bilden**

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).

### 2.2.3 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 kompetent 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.

### 2.2.4 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 Risiko einschätzungen 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.

## 2.3 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.

### 2.3.1 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.

### 2.3.2 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.

### 2.3.3 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.

### 2.3.4 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.



## 3 Themenfelder und Inhalte

### 3.1 Wahlpflichtthemen für die Einführungsphase

Die Einführungsphase hat eine Brückenfunktion zwischen dem Lernen in der Sekundarstufe I und der Qualifikationsphase. Sie bietet den Lernenden Gelegenheit zu vertiefter fachlicher Auseinandersetzung, zur Übung und Wiederholung und zur Verinnerlichung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen.

Um einen erfolgreichen Übergang in die Qualifikationsphase der gymnasialen Oberstufe zu ermöglichen, werden in der Jahrgangsstufe 11 an Integrierten Sekundar-schulen/Gemeinschaftsschulen (Berlin) und Gesamtschulen/beruflichen Gymnasien (Brandenburg) die Kompetenzen entsprechend dem Kompetenzmodell der Sekundarstufe I weiterentwickelt.

Die Kompetenzentwicklung in der Einführungsphase orientiert sich an den im Rahmenlehrplan für die Jahrgangsstufen 1 – 10 formulierten H-Standards. Hierbei ist zu beachten, dass die H-Standards im Kompetenzbereich *Mit Fachwissen umgehen* inhaltsbezogen formuliert sind. Für die Planung des Unterrichts in der Einführungsphase sind die H-Standards in allen Kompetenzbereichen auf die Inhalte der in der Einführungsphase zu behandelnden Themenfelder anzuwenden.

Für die Einführungsphase werden fünf Wahlpflichtthemenfelder angegeben, aus denen abhängig von den Kompetenzen der Lernenden eine Auswahl von mindestens drei Themenfeldern für die Unterrichtsgestaltung in beiden Kursformen getroffen wird. Auch eine Kombination von Themenfeldern ist möglich. Die aufgeführten Untersuchungen und Experimente stellen Empfehlungen dar.

Die kursiv gesetzten Inhalte besitzen einen erhöhten Schwierigkeitsgrad und zeigen Möglichkeiten für inhaltliche Vertiefungen auf.

Darüber hinaus kann ein weiteres, durch die Lehrkraft frei wählbares Themenfeld in jeder Kursform entwickelt und unterrichtet werden.

Die inhaltlichen Präzisierungen innerhalb der Themenfelder werden in der Fachkonferenz der Schule beraten und festgelegt. Dabei sind eine bloße Wiederholung von Inhalten aus der Sekundarstufe I sowie eine Vorwegnahme von Inhalten aus der Qualifikationsphase zu vermeiden. Die Reihenfolge der Themenfelder ist nicht festgelegt. Dies ermöglicht es, basierend auf einer geeigneten Lernstandsdiagnose schulspezifische Angebote zu gestalten.

3.1.1 Wurfbewegungen	
<p>In diesem Themenfeld steht der Umgang mit physikalischen Größengleichungen und Einheiten im Vordergrund. Die Lernenden erhalten Gelegenheiten, Lösungsansätze für praktische Problemstellungen mithilfe der Kinematik zu entwickeln. Dabei geht es vor allem darum, geeignete mathematische Modelle zu finden und sie auf die jeweilige Fragestellung anzuwenden.</p>	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wiederholung der Gesetze der gleichförmigen und der gleichmäßig beschleunigten Bewegung und Anwendung in verschiedenen Kontexten</li> <li>– <i>Bewegungen mit Anfangsbedingungen</i></li> <li>– senkrechter Wurf, Steighöhe und Steigzeit</li> <li>– waagerechter Wurf, Bahnkurve <math>y = f(x)</math></li> <li>– <i>schiefer Wurf</i></li> <li>– <i>Wurfbewegung mit Luftwiderstand</i></li> </ul>
Experimente, Untersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bewegungsanalyse mithilfe von Sensoren (z. B. Beschleunigungs- und Ultraschallsensoren) und digitalen Messsystemen</li> </ul>
Basiskonzepte	<p><b>Superposition und Komponenten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Überlagerung zweier Bewegungskomponenten</li> </ul> <p><b>Mathematisieren und Vorhersagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Beschreibung von Bewegungen mithilfe von Bewegungsgesetzen</li> <li>– Geschwindigkeit als mittlere Änderungsrate <math>\frac{\Delta s}{\Delta t}</math>, Beschleunigung als mittlere Änderungsrate <math>\frac{\Delta v}{\Delta t}</math></li> <li>– mathematische Modellierung mithilfe von Differenzgleichungen unter Verwendung von Tabellenkalkulationssoftware oder spezieller Modellbildungswerkzeuge, z. B. Beschleunigung als Differenzenquotient</li> </ul>
mögliche Kontexte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Brems- und Überholvorgänge (Auto, Fahrrad)</li> <li>– Stautentstehung und -vermeidung</li> <li>– Funktionsweise und Anwendungen von Beschleunigungssensoren (z. B. für Airbags)</li> <li>– Navigieren eines Boots auf einem Fluss</li> <li>– Bewegungen im Sport: Sprünge und Würfe</li> </ul>

<b>3.1.2 Charakteristische Denk- und Arbeitsweisen in der Physik</b>	
An Beispielen aus unterschiedlichen Teilgebieten der Physik werden fundamentale Fachmethoden deutlich: das Formulieren physikalischer Gesetze sowie der Umgang mit experimentellen Ergebnissen.	
<b>Inhalte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erkenntnisgewinnung in der Physik: Reflexion des Wechselspiels zwischen Experiment und Modell an konkreten Beispielen (Formulierung von Fragestellungen aus Beobachtungen und theoretischen Überlegungen, Aufstellen von Hypothesen, Planen und Durchführen von Untersuchungen, Auswertung: Bestätigen oder Widerlegen der Hypothese, Beantwortung der Fragestellung)</li> <li>– Umgang mit Messunsicherheiten: systematische und zufällige Messabweichungen, absolute und relative Abweichungen, Mittelwert und Standardabweichung für Messgrößen</li> </ul>
<b>Experimente, Untersuchungen</b>	<p>Experimente zur Erkenntnisgewinnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperaturabhängigkeit des Widerstands von Metallen und Halbleitern</li> <li>– mathematische Modellierung der Abnahme des Luftdrucks mit zunehmender Höhe</li> <li>– Temperatur-Zeit-Verlauf beim Abkühlen eines Körpers</li> </ul> <p>Experimente zur Bestimmung von Mittelwert und Standardabweichung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bestimmung der Fallbeschleunigung aus Fallzeiten, z. B. mithilfe digitaler Werkzeuge</li> <li>– Bestimmung der Aktivität einer radioaktiven Probe aus wiederholten Zählratenmessungen</li> <li>– Bestimmung von Reibungskoeffizienten</li> </ul>
<b>Basiskonzepte</b>	<p><b>Mathematisieren und Vorhersagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– grafisches Darstellen von Messreihen und mathematische Beschreibung von Zusammenhängen, aus denen Vorhersagen abgeleitet werden</li> </ul> <p><b>Zufall und Determiniertheit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Umgang mit Messunsicherheiten und statistischen Verteilungen physikalischer Größen</li> </ul>
<b>mögliche Kontexte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fallschirmsprung</li> <li>– Temperatursensoren</li> <li>– Einfluss des Luftdrucks in großer Höhe auf den menschlichen Körper</li> </ul>

<b>3.1.3 Kreisbewegungen</b>	
In diesem Themenfeld werden die Grundlagen für die physikalische Beschreibung der Kreisbewegungen von Körpern in der Qualifikationsphase gelegt.	
<b>Inhalte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beschreibung der Kreisbewegung eines Massenpunkts mit Bahn- und Winkelgrößen</li> <li>– gleichförmige Kreisbewegung als beschleunigte Bewegung, Radialbeschleunigung</li> <li>– Radialkraft und ihre Abhängigkeiten von der Masse, der Geschwindigkeit, der Kreisfrequenz und vom Radius: <math>F_r = \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r</math></li> </ul>
<b>Experimente, Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Untersuchung der Zusammenhänge <math>F_r(m)</math>, <math>F_r(\omega)</math>, <math>F_r(v)</math> und <math>F_r(r)</math></li> <li>– experimentelle Bestimmung von Bahn- und Winkelgeschwindigkeiten</li> <li>– Messen von Radialbeschleunigungen mithilfe von Sensoren</li> </ul>
<b>Basiskonzepte</b>	<p><b>Erhaltung und Gleichgewicht</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Energieerhaltung bei der gleichförmigen Kreisbewegung trotz dauernder Geschwindigkeitsänderung</li> </ul> <p><b>Superposition und Komponenten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Zerlegung von Kräften in Komponenten, z. B. bei Kurvenfahrten</li> </ul>
<b>mögliche Kontexte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rotation der Erde</li> <li>– Kurvenfahrten und Verkehrssicherheit</li> <li>– Fahrradtachometer</li> <li>– Bewegung künstlicher Satelliten</li> <li>– Kreisbewegungen an Fahrgeschäften</li> <li>– Zentrifugen</li> <li>– Hammerwerfen</li> </ul>

<b>3.1.4 Impuls und Impulserhaltung</b>	
<p>Das Denken in Bilanzen sowie ein vertieftes Verständnis des Kraftbegriffs stehen hier im Vordergrund. Dabei können Bezüge zu Sport und Verkehr hergestellt werden.</p> <p>Die Analyse der Bewegung von Fahrzeugen und von Verkehrsunfällen ermöglicht einen wichtigen Beitrag zur Mobilitätsbildung und Verkehrserziehung.</p>	
<b>Inhalte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Impuls als Zustandsgröße <math>p = m \cdot v</math></li> <li>– Kraft als zeitliche Änderung des Impulses</li> <li>– Impulserhaltungssatz, Zusammenhang mit den NEWTONSchen Axiomen</li> <li>– zentraler Stoß</li> <li>– elastischer und unelastischer Stoß</li> <li>– Spezialfälle: gleiche Massen sowie extrem unterschiedliche Massen der Stoßpartner</li> <li>– <i>Schwerpunktsatz</i></li> </ul>
<b>Experimente, Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Messung der Geschwindigkeitsänderungen beim elastischen zentralen Stoß und beim vollkommen unelastischen zentralen Stoß</li> </ul>
<b>Basiskonzepte</b>	<p><b>Erhaltung und Gleichgewicht</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Impulserhaltung zur Prognose von Bewegungsabläufen ohne Kenntnis der zeitabhängigen Kraft <math>F(t)</math></li> </ul> <p><b>Mathematisieren und Vorhersagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gewinnen von Gleichungen für Spezialfälle von Stoßprozessen aus dem allgemeinen Impulserhaltungssatz</li> </ul>
<b>mögliche Kontexte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rückstoßprinzip, z. B. beim Raketenantrieb</li> <li>– Impulsübertragung und Geschwindigkeitsänderung bei Verkehrsunfällen</li> <li>– Stöße bei Ballsportarten</li> <li>– Billard</li> </ul>

<b>3.1.5 Energie</b>	
<p>Der Schwerpunkt in diesem Themenfeld liegt im Aufstellen und Umformen von Energieansätzen.</p> <p>Ausgehend vom Energieerhaltungssatz als grundlegendem Prinzip der Physik lassen sich Energiebilanzen unterschiedlicher Prozesse betrachten. Dabei werden Aspekte der Thermodynamik einbezogen.</p> <p>Die Betrachtung von Energiebilanzen ermöglicht die Förderung von Bewertungskompetenzen unter dem Aspekt der nachhaltigen Entwicklung.</p>	
<b>Inhalte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Definition der Arbeit als Energieänderung</li> <li>– Energieänderungen von Systemen bei Höhenänderung, beim Ändern des Geschwindigkeitsbetrags, bei elastischer Verformung, bei Temperaturänderung oder beim Übergang zwischen Aggregatzuständen</li> <li>– Energieerhaltungssatz</li> <li>– Wirkungsgrad bei Energieumwandlungen</li> </ul>
<b>Experimente, Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bestätigung des Zusammenhangs <math>E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} = \text{konst.}</math> bei Vernachlässigung der Reibung, z. B. für das Fadenpendel</li> <li>– Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität eines Stoffs</li> <li>– Bestimmung von Umwandlungswärmen</li> <li>– Messung von Mischungstemperaturen</li> <li>– Wirkungsgrad elektrischer Geräte</li> </ul>
<b>Basiskonzepte</b>	<p><b>Erhaltung und Gleichgewicht</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Problemlösen mithilfe von Energieansätzen</li> </ul>
<b>mögliche Kontexte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Energieumwandlungen in Kraftwerken, bei Crashtests, beim Bungeejumping, beim Looping in der Achterbahn, beim Bremsen von Fahrzeugen, beim Kühlen von Getränken</li> <li>– Energiebilanz bei Elektroautos</li> </ul>

### 3.2 Themenfelder und Inhalte für die Qualifikationsphase

In diesem Kapitel sind die Themenfelder und Inhalte für die Kurshalbjahre der Qualifikationsphase dargestellt. Diese knüpfen an die Themen und Inhalte des Fachs Physik der Sekundarstufe I an.

Die Themenfelder sind inhaltlich und zeitlich so strukturiert, dass sie eine sinnvolle und begründete Reihenfolge ergeben. Diese Reihenfolge ist für den Grund- und Leistungskurs verbindlich. Die zweisepaltige Anordnung der Inhalte verdeutlicht, welche Inhalte im Leistungskurs zusätzlich zu den Grundkursinhalten behandelt werden.

Die in den Tabellen angegebenen Fachbegriffe beschränken sich auf wichtige, unverzichtbare Begriffe. Es werden hier nur die Fachbegriffe aufgeführt, die nicht bei den Inhalten erwähnt wurden und die über die Fachbegriffe im Rahmenlehrplan für die Jahrgangsstufen 1–10 hinausgehen.

Experimente haben in den naturwissenschaftlichen Fächern einen hohen Stellenwert. Für jedes Themenfeld sind verbindliche Experimente und Untersuchungen angegeben. Diese können entsprechend der Ausstattung der Schule variiert werden, sofern die mit dem Experiment bzw. der Untersuchung verbundenen Intentionen gewahrt bleiben.

Zu jedem Themenfeld sind inhaltliche Beispiele für Bezüge zu den Basiskonzepten dargestellt. Diese Beispiele beziehen sich auf bestimmte Konzepte, Methoden bzw. Verfahren der Physik, die sich für die Lösung von physikalischen Problemen besonders eignen und häufig auf andere Sachverhalte übertragen lassen. Zudem verdeutlichen die angegebenen Beispiele auch eine Differenzierung von Grund- und Leistungskurs.

Um zu veranschaulichen, wie die Bildungsstandards mit Inhalten für den Grund- und Leistungskurs des Themenfelds verknüpft werden können, sind Beiträge zur Kompetenzentwicklung exemplarisch angegeben. Die Klammerangaben hinter den Kompetenzbeschreibungen beziehen sich jeweils auf den dazugehörigen Standard (vgl. Abschnitt 2.2). Diese Angaben dienen auch der Differenzierung von Grund- und Leistungskurs.

Durch die Behandlung der vorgeschlagenen gesellschaftlich relevanten Kontexte lässt sich der Unterricht zu den Themenfeldern alltagsbezogen, fachübergreifend und adressatengerecht gestalten. Das Vorgehen im Unterricht soll so angelegt sein, dass junge Menschen eingeladen, ermutigt und inspiriert werden, sich die Welt aus naturwissenschaftlicher Sicht zu erschließen.

#### Verteilung der Themenfelder auf die Kurshalbjahre in der Qualifikationsphase (Q1-Q4)

	Themenfelder für den Grund- und Leistungskurs
<b>Q1</b>	3.2.1 Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld
<b>Q2</b>	3.2.2 Bewegung von geladenen Teilchen in Feldern 3.2.3 Elektromagnetische Induktion 3.2.4 Schwingungen
<b>Q3</b>	3.2.5 Wellen 3.2.6 Quantenobjekte
<b>Q4</b>	3.2.7 Atome

**3.2.1 Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld**

Aus der Sekundarstufe I bekannte Fachinhalte werden aufgegriffen, verallgemeinert und mathematisiert. Dabei stellt das Basiskonzept „Erhaltung und Gleichgewicht“ mit der Nutzung von Kraft- und Energieansätzen eine wichtige Grundlage dar.

In Experimenten sollen die Methoden der Auswertung und der Umgang mit Messunsicherheiten aus der Sekundarstufe I vertieft werden. An geeigneten Messreihen sind die Größen systematische und zufällige Messabweichungen, absolute und relative Abweichungen, Mittelwert und Standardabweichung zu thematisieren. Diese Verfahren sind in den nachfolgenden Themenfeldern weiter zu festigen.

Zu Beginn des Kursunterrichts sollen Aspekte der Sprachbildung besonders in den Blick genommen werden. Insbesondere sind ein bewusster Umgang mit Alltags- und Fachsprache sowie die Verfügbarkeit geeigneter sprachlicher Mittel Voraussetzung für das präzise Kommunizieren von Fachinhalten im weiteren Unterricht.

Die Besonderheiten des magnetischen Felds gegenüber dem Gravitationsfeld und dem elektrischen Feld sind klar herauszuarbeiten. Die Stärke des Magnetfelds wird mithilfe der magnetischen Flussdichte  $B$  beschrieben.

	<b>Grundkurs</b>	<b>Leistungskurs</b> (zusätzlich zum Grundkurs)
<b>Inhalte</b>	<b>Gravitationsfeld</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gravitationsgesetz und Gravitationsfeld, Feldlinienbilder</li> <li>– Gravitationsfeldstärke <math>g = \frac{F}{m}</math></li> <li>– Bewegungen von Körpern im Gravitationsfeld, Radialkraft <math>F_r = m \cdot \frac{v^2}{r}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– KEPLERSche Gesetze</li> </ul>



3.2.1 Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld		
	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
<b>Inhalte</b>	<b>Elektrisches Feld</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kräfte zwischen elektrisch geladenen Körpern, Feldlinienbilder</li> <li>– elektrische Feldstärke <math>E = \frac{F}{Q}</math></li> <li>– Superposition von Feldern (qualitativ)</li> <li>– Spannung <math>U = \frac{W_{\text{el}}}{Q}</math>, Stromstärke <math>I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}</math></li> <li>– Kapazität eines Kondensators <math>C = \frac{Q}{U}</math></li> <li>– Feldstärke im Inneren eines Plattenkondensators <math>E = \frac{U}{d}</math></li> <li>– Abhängigkeit der Kapazität eines Plattenkondensators von der Fläche, vom Plattenabstand und vom Dielektrikum <math>C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}</math></li> <li>– mathematische Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke beim Auf- und Entladen von Kondensatoren</li> <li>– Energie geladener Kondensatoren <math>E_{\text{el}} = \frac{1}{2} C \cdot U^2</math></li> <li>– Anwendungen von Kondensatoren in der Technik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Spannung als Potentialdifferenz <math>U = \Delta\varphi</math></li> <li>– COULOMBSches Gesetz</li> <li>– Superposition von Feldern (quantitativ mithilfe von Kraftpfeilen)</li> <li>– Influenz und Polarisierung</li> <li>– Deutung der Vorgänge im Dielektrikum</li> <li>– mathematische Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke und der Spannung beim Auf- und Entladen von Kondensatoren</li> <li>– Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren</li> </ul>
	<b>Magnetfeld</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Feldlinienbilder von Permanentmagneten, geradem Leiter und Spule</li> <li>– magnetische Flussdichte <math>B = \frac{F_L}{I \cdot \ell}</math></li> <li>– magnetische Flussdichte im Inneren einer langen Spule, Einfluss von Materie auf die Flussdichte <math>B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot I}{\ell}</math></li> <li>– LORENTZkraft <math>F_L = Q \cdot v \cdot B</math></li> <li>– Gegenüberstellung der Feldeigenschaften von Gravitationsfeldern, elektrischen und magnetischen Feldern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kräfte zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern (qualitativ)</li> </ul>

<b>3.2.1 Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld</b>		
	<b>Grundkurs</b>	<b>Leistungskurs</b> (zusätzlich zum Grundkurs)
<b>Fachbegriffe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Feld, Feldlinienmodell, Probekörper</li> <li>– Gravitationskonstante</li> <li>– homogenes Feld, Radialfeld, Dipolfeld</li> <li>– elektrische Ladung</li> <li>– elektrische Feldkonstante</li> <li>– Dielektrizitätszahl</li> <li>– Halbwertszeit</li> <li>– magnetische Feldkonstante</li> <li>– Permeabilitätszahl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– KEPLER-Konstante</li> <li>– Potenzial und potenzielle Energie im elektrischen Feld</li> <li>– Äquipotenzialflächen</li> </ul>
<b>Experimente, Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Veranschaulichung von Feldeigenschaften mithilfe von Computersimulationen und Modellexperimenten</li> <li>– Erfassen des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke beim Auf- und Entladen eines Kondensators auch mithilfe von Sensoren</li> <li>– Messung von Flussdichten, z. B. von Elektromagneten, des Erdmagnetfelds mithilfe von Sensoren, gegebenenfalls mit dem Smartphone</li> <li>– Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erfassen des zeitlichen Verlaufs der Spannung beim Auf- und Entladen eines Kondensators</li> <li>– Zusammenhang zwischen Spannung und Ladung eines Kondensators</li> </ul>

3.2.1 Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld		
	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
<b>Basiskonzepte</b>	<p><b>Erhaltung und Gleichgewicht</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Erklärung der Kreisbahnen von Satelliten mithilfe eines Kraftansatzes</li> </ul> <p><b>Superposition und Komponenten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Beschreibung der Überlagerung von Feldern zweier Punktladungen anhand von Zeichnungen</li> </ul> <p><b>Mathematisieren und Vorhersagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Berechnung von Umlaufzeit und Kreisbahngeschwindigkeit bzw. Bahnradius von Satelliten</li> <li>– Auswertung von Daten mithilfe digitaler Werkzeuge</li> </ul>	<p><b>Superposition und Komponenten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ermittlung von Betrag und Richtung der resultierenden elektrischen Feldstärke</li> <li>– Ermittlung der Horizontalkomponente des Erdmagnetfelds aus der Überlagerung mit dem Feld einer Spule</li> </ul> <p><b>Mathematisieren und Vorhersagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bestimmung der Ladung eines Kondensators mithilfe einer Flächenbestimmung aus dem zeitlichen Verlauf der Stromstärke beim Entladen</li> <li>– Ermittlung von Größen aus Messreihen, die in linearisierter Form dargestellt sind</li> </ul>

3.2.1 Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld		
	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
mögliche Beiträge zur Kompetenzentwicklung	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– entnehmen aus Feldlinienbildern relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder. (K 3)</li> <li>– reflektieren am Beispiel des Übergangs vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild die Auswirkungen physikalischer Weltbetrachtungen. (B 8)</li> <li>– bauen Versuchsanordnungen zu Auf- und Entladevorgängen nach Anleitung auf, führen Experimente durch und werten diese aus. (S 4)</li> <li>– modellieren Auf- oder Entladung eines Kondensators mithilfe mathematischer Gleichungen und digitaler Werkzeuge. (E 4)</li> <li>– stellen Hypothesen zu den Abhängigkeiten <math>B = f(N, I, \ell)</math> der magnetischen Flussdichte in einer Spule auf. (E 2)</li> <li>– erläutern Gültigkeitsbereich und Vorhersagemöglichkeiten des Modells „lange Spule“. (S 2)</li> <li>– berücksichtigen Messunsicherheiten, indem sie Mittelwert und Standardabweichung berechnen, und analysieren die Konsequenzen für die Interpretation des Ergebnisses, z. B. bei der Bestimmung der Kapazität eines Kondensators aus einer Messreihe. (E 7)</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– erklären anhand von Werten für die KEPLER-Konstante den Zusammenhang zwischen Gravitationsgesetz und 3. KEPLERSchem Gesetz. (E 6)</li> <li>– identifizieren Fragestellungen zu den Widersprüchen innerhalb der klassischen Elektrodynamik. (E 1)</li> </ul>
mögliche Kontexte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Planetenbewegungen</li> <li>– geostationäre Satelliten</li> <li>– Erfassen von Klimadaten mithilfe von Satelliten</li> <li>– Swing-by-Manöver</li> <li>– Weltbilder in historischer Entwicklung</li> <li>– Entstehung von Gewittern</li> <li>– Funktionsprinzip der Xerografie</li> <li>– Glätten einer pulsierenden Gleichspannung</li> <li>– Defibrillator</li> <li>– Kondensator als Ladungsspeicher für eine Blitzlampe</li> <li>– Superkondensatoren als Ladungsspeicher in Elektroautos</li> <li>– kapazitive Sensoren</li> <li>– Ursache des Erdmagnetfelds</li> </ul>	

### 3.2.2 Bewegung von geladenen Teilchen in Feldern

Im Grund- und Leistungskurs werden die Basiskonzepte „Erhaltung und Gleichgewicht“ sowie „Superposition und Komponenten“ genutzt, um die Bewegung von Teilchen in Feldern zu beschreiben und vorherzusagen.

Im Kontext „Teilchenbeschleuniger“ kann die Bedeutung der internationalen Zusammenarbeit für die Forschung diskutiert werden.

Im Leistungskurs ist zur Beschreibung der relativistischen Massenzunahme schnell bewegter Teilchen keine detaillierte mathematische Herleitung erforderlich.

	<b>Grundkurs</b>	<b>Leistungskurs</b> (zusätzlich zum Grundkurs)
<b>Inhalte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mathematische Beschreibung der Bewegung geladener Teilchen im homogenen elektrischen Längsfeld</li> <li>– qualitative Beschreibung der Teilchenbahn im homogenen elektrischen Querfeld</li> <li>– Vakuumlichtgeschwindigkeit <math>c_0</math> als Obergrenze für Geschwindigkeiten</li> <li>– MILLIKAN-Experiment (Schwebefall)</li> <li>– Berechnung von Kreisbahnen von geladenen Teilchen im homogenen Magnetfeld</li> <li>– Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mathematische Beschreibung der Bahnkurven geladener Teilchen im homogenen elektrischen Längs- und Querfeld</li> <li>– relativistische Massenzunahme</li> <li>– Ablenkung von Ladungsträgern in Magnetfeldern für beliebige Eintrittswinkel <math>F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha</math></li> <li>– geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern mit senkrecht aufeinander stehenden Feldstärkevektoren</li> <li>– HALL-Effekt</li> </ul>
<b>Fachbegriffe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Glühemission</li> <li>– spezifische Ladung des Elektrons</li> <li>– Ruhemasse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– HALL-Spannung</li> </ul>
<b>Experimente, Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ablenkung von Ladungsträgern in einer Elektronenstrahlröhre durch elektrische und magnetische Felder</li> <li>– Bestimmung der spezifischen Ladung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Messung von HALL-Spannungen</li> </ul>

3.2.2 Bewegung von geladenen Teilchen in Feldern		
	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
Basiskonzepte	<p><b>Erhaltung und Gleichgewicht</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Herleitung der Gleichung <math>v = \sqrt{\frac{2 \cdot Q \cdot U}{m}}</math> aus einem Energieansatz</li> <li>– Entwicklung eines Kraftansatzes für ein schwebendes Öltröpfchen im MILLIKAN-Experiment</li> <li>– Berechnung von Größen aus dem Kraftansatz <math>m \cdot \frac{v^2}{r} = Q \cdot v \cdot B</math></li> <li>– Herleitung der Gleichung <math>\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot U}{B^2 \cdot r^2}</math> aus einem Kraft- und Energieansatz</li> </ul> <p><b>Superposition und Komponenten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Beschreibung der Bewegung eines Ladungsträgers im homogenen elektrischen Querfeld als Überlagerung einer gleichförmigen und einer beschleunigten Bewegung</li> </ul>	<p><b>Erhaltung und Gleichgewicht</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Herleitung der Gleichung <math>U_H = b \cdot v \cdot B</math> mithilfe eines Kraftansatzes</li> <li>– Herleitung der Gleichung <math>v = \frac{E}{B}</math> für den Geschwindigkeitsfilter</li> </ul>
mögliche Beiträge zur Kompetenzentwicklung	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– beschreiben die Elektronenbahn im elektrischen Querfeld kausal korrekt strukturiert. (K 4)</li> <li>– entwickeln Handlungsoptionen am Beispiel von Teilchenbeschleunigern unter Berücksichtigung gegebener Bewertungskriterien wie Kosten, Energieaufwand, gesellschaftlicher und wissenschaftlicher Nutzen. (B 3)</li> <li>– reflektieren die Relevanz des Ergebnisses des MILLIKAN-Experiments hinsichtlich der Bestimmung der Elektronenmasse. (E 9)</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– berücksichtigen Messunsicherheiten und analysieren die Konsequenzen bei der Interpretation von Messdaten aus dem MILLIKAN-Experiment bei der Bestimmung der Elementarladung. (E 7)</li> <li>– wenden bekannte mathematische Verfahren zur Beschreibung der Bahnkurven von Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern an. (S 7)</li> <li>– erklären mithilfe der relativistischen Massenzunahme experimentelle Daten zu schnell bewegten Elektronen. (E 6)</li> </ul>
mögliche Kontexte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Teilchenbeschleuniger</li> <li>– Massenspektrometer</li> <li>– Polarlicht</li> <li>– HALL-Sensoren</li> </ul>	

### 3.2.3 Elektromagnetische Induktion

Das aus der Sekundarstufe I bekannte Phänomen der elektromagnetischen Induktion wird in diesem Themenfeld mathematisch beschrieben. Somit kommt dem Basiskonzept „Mathematisieren und Vorhersagen“ besondere Bedeutung zu.

Während im Grundkurs durchgängig mit den Differenzenquotienten gearbeitet wird, soll im Leistungskurs das Induktionsgesetz in differenzieller Form verwendet werden.

Weil das Themenfeld „Elektromagnetische Induktion“ vielfältige Alltagsbezüge aufweist, eignet es sich in besonderer Weise dafür, mit medialen Informationsquellen zu arbeiten, Arbeitsergebnisse zu präsentieren und eigene Medienprodukte zu erstellen.

	<b>Grundkurs</b>	<b>Leistungskurs</b> (zusätzlich zum Grundkurs)
<b>Inhalte</b>	<b>Induktionsgesetz</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Möglichkeiten der Erzeugung von Induktionsspannungen</li> <li>– Induktionsgesetz unter Verwendung des Differenzenquotienten <math display="block">U_{\text{ind}} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}</math></li> <li>– Betrachtung der Spezialfälle konstanter Fläche und konstanter magnetischer Flussdichte beim Erzeugen von Induktionsspannungen</li> <li>– Erzeugung von Wechselspannung (qualitativ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Induktionsgesetz in differenzieller Form <math>U_{\text{ind}} = -N \frac{d\Phi}{dt}</math></li> <li>– mathematische Betrachtung sinusförmiger Wechselspannungen <math>U_{\text{ind}}(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)</math> mit <math>U_0 = N \cdot B \cdot A \cdot \omega</math></li> </ul>
	<b>Selbstinduktion</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– qualitative Beschreibung der Verläufe von Spannung und Stromstärke bei Ein- und Ausschaltvorgängen von Spulen</li> <li>– LENZsche Regel</li> <li>– Spannung bei Selbstinduktion <math display="block">U_{\text{ind}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}</math></li> <li>– Induktivität einer Spule <math display="block">L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N^2 \cdot A}{l}</math></li> <li>– Energie einer stromdurchflossenen Spule <math>E_{\text{mag}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mathematische Beschreibung der Verläufe von Spannung und Stromstärke bei Ein- und Ausschaltvorgängen von Spulen</li> <li>– Spannung bei Selbstinduktion <math display="block">U_{\text{ind}} = -L \frac{dI}{dt}</math></li> </ul>

3.2.3 Elektromagnetische Induktion		
	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
Fachbegriffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>– magnetischer Fluss</li> <li>– Induktivität</li> <li>– Selbstinduktion</li> <li>– Effektivwerte von Stromstärke und Spannung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kreisfrequenz</li> </ul>
Experimente, Untersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nachweis der elektromagnetischen Induktion im bewegten und im ruhenden Leiter</li> <li>– Experiment zur Spannungsübersetzung</li> <li>– Experiment zur LENZschen Regel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aufnahme des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke beim Einschalten einer Spule</li> </ul>
Basiskonzepte	<p><b>Erhaltung und Gleichgewicht</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Beschreibung des Zusammenhangs zwischen LENZscher Regel und Energieerhaltungssatz</li> </ul> <p><b>Superposition und Komponenten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Erklärung des Verlaufs der resultierenden Spannung beim Einschalten einer Spule aus der Überlagerung von angelegter Spannung und Induktionsspannung</li> </ul> <p><b>Mathematisieren und Vorhersagen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Vorhersage von Messergebnissen mithilfe des Induktionsgesetzes</li> </ul>	<p><b>Mathematisieren und Vorhersagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Herleitung der Gleichung für eine sinusförmige Wechselspannung aus dem Induktionsgesetz</li> </ul>



3.2.3 Elektromagnetische Induktion		
	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
mögliche Beiträge zur Kompetenzentwicklung	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– entnehmen einem <math>\Phi(t)</math>-Diagramm relevante Informationen und entwickeln daraus das <math>U_{\text{ind}}(t)</math>-Diagramm. (K 3)</li> <li>– prüfen verwendete Quellen zu Alltagskontexten des Themenfeldes hinsichtlich der Kriterien Korrektheit, Fachsprache und Relevanz für den untersuchten Sachverhalt. (K 2)</li> <li>– beurteilen Informationen und deren Darstellung aus Quellen unterschiedlicher Art zu Alltagskontexten des Themenfeldes hinsichtlich Vertrauenswürdigkeit und Relevanz. (B 2)</li> <li>– beurteilen ein technisches Gerät, bei dem sehr große Induktionsspannungen erzeugt werden, hinsichtlich entstehender Risiken. (B 6)</li> <li>– wählen sach- und adressatengerecht einzelne Anwendungen der elektromagnetischen Induktion für die Inhalte von Präsentationen, Diskussionen oder anderen Kommunikationsformen aus. (K 5)</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ermitteln die Induktivität einer Spule aus Messdaten <math>I(t)</math> beim Einschalten dieser Spule und erklären das verwendete Auswertverfahren. (S 6)</li> </ul>
mögliche Kontexte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kontaktloses Aufladen von Akkus</li> <li>– Spule als Sensor</li> <li>– Induktionsschleifen</li> <li>– Fernleitung elektrischer Energie</li> <li>– Schaltnetzteile</li> <li>– induktives Laden</li> <li>– Induktionskochplatten</li> <li>– Erzeugen hoher Spannungen und Stromstärken in der Technik</li> </ul>	

### 3.2.4 Schwingungen

Vorkenntnisse aus der Klassenstufe 10 werden in diesem Themenfeld vertieft. Gleichzeitig wird die Erarbeitung des Themenfelds „Wellen“ vorbereitet.

Im Folgenden werden die zu behandelnden Inhalte getrennt nach mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen dargestellt. Um die Analogie der Schwingungsarten zu betonen, kann eine abgewandelte Reihenfolge in der Behandlung der Inhalte zweckmäßig sein.

Bei der Behandlung des elektromagnetischen Schwingkreises ist eine Betrachtung von Wechselstromwiderständen nicht erforderlich.

Die Lernenden greifen in diesem Themenfeld ihr Wissen über Winkelfunktionen aus dem Mathematikunterricht der Klassenstufe 10 auf und wenden es zur Beschreibung von Schwingungen an. Im Leistungskurs beziehen sie dabei auch Kenntnisse über das Ableiten von Funktionen ein. Die schulinternen Planungen der Fächer Physik und Mathematik an den Schulen sollten hierzu adäquat gestaltet werden.

	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
<b>Inhalte</b>	<b>Mechanische Schwingungen</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beschreibung der Schwingung eines mechanischen Oszillators</li> <li>– Kenngrößen einer Schwingung, Zusammenhang zwischen Frequenz und Periodendauer</li> <li>– Energieumwandlungen an einem mechanischen Oszillator</li> <li>– Dämpfung einer Schwingung</li> <li>– Periodendauer eines Federpendels</li> </ul> $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gleichung für die zeitabhängige Auslenkung bei harmonischen Schwingungen <math>y(t) = y_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)</math></li> <li>– erzwungene Schwingung und Resonanz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– lineares Kraftgesetz als Bedingung für die Entstehung einer mechanischen harmonischen Schwingung</li> </ul>

3.2.4 Schwingungen		
	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
<b>Inhalte</b>	<b>Elektromagnetische Schwingungen</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entstehung elektromagnetischer Schwingungen in einem Schwingkreis</li> <li>– zeitliche Verläufe von Spannung und Stromstärke in einem Schwingkreis</li> <li>– THOMSONSche Schwingungsgleichung  <math display="block">f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}</math> </li> <li>– Energieumwandlungen im Schwingkreis</li> <li>– Dämpfung im Schwingkreis (qualitativ)</li> <li>– Vergleich von mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen unter dem Aspekt der Energieumwandlungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erzeugen von elektromagnetischen Schwingungen mit konstanter Amplitude durch Rückkopplung</li> <li>– Erzwungene elektromagnetische Schwingung und Resonanz</li> </ul>
<b>Fachbegriffe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Auslenkung, Amplitude, Frequenz, Periodendauer, Kreisfrequenz</li> <li>– Oszillator</li> <li>– harmonische Schwingung</li> <li>– Eigenfrequenz, Erregerfrequenz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Phasenverschiebung</li> </ul>
<b>Experimente, Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abhängigkeit der Eigenfrequenz eines mechanischen harmonischen Oszillators von verschiedenen Parametern</li> <li>– Darstellung des zeitlichen Verlaufs von Stromstärke und Spannung in einem Schwingkreis</li> <li>– Abhängigkeit der Eigenfrequenz eines Schwingkreises von der Kapazität und der Induktivität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aufnahme der Resonanzkurve eines elektromagnetischen Schwingkreises</li> </ul>

3.2.4 Schwingungen		
	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
Basiskonzepte	<b>Erhaltung und Gleichgewicht</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Energiebetrachtungen an gedämpften und an erzwungenen Schwingungen</li> </ul>	<b>Superposition und Komponenten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Betrachtung der Kräfte zur Erklärung der Entstehung einer mechanischen Schwingung</li> </ul> <b>Mathematisieren und Vorhersagen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Entwicklung der Gleichung <math>y(t) = y_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)</math> als Lösung des Kraftansatzes <math>F(t) = -D \cdot y(t)</math></li> </ul>
mögliche Beiträge zur Kompetenzentwicklung	Die Lernenden ... <ul style="list-style-type: none"> <li>– beziehen das Modell der harmonischen Schwingung zurück auf Alltagssituationen und reflektieren seine Generalisierbarkeit. (E 10)</li> <li>– planen geeignete Experimente zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Eigenfrequenz und den Parametern eines harmonischen Oszillators. (E 5)</li> <li>– beurteilen Sicherheitsmaßnahmen zur Schwingungsdämpfung in Alltagssituationen. (B 6)</li> <li>– erklären anhand von Lade- und Induktionsvorgängen den Einfluss der Kapazität und der Induktivität auf die Eigenfrequenz eines elektromagnetischen Schwingkreises. (E 6)</li> <li>– nutzen ihr Wissen über aus physikalischer Sicht gültige Argumentationsketten zur Entwicklung eigener, innerfachlicher Argumentationen, z.B. zur Beschreibung der Vorgänge in einem Schwingkreis. (K 8)</li> </ul>	Die Lernenden ... <ul style="list-style-type: none"> <li>– wenden die Methode der zeitlichen Ableitung auf die Gleichung für die harmonische Schwingung an. (S 7)</li> <li>– erläutern kausal korrekt strukturiert an einem Blockschaltbild das Rückkopplungsprinzip zur Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen. (K 4)</li> </ul>
mögliche Kontexte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gefahr durch Resonanzeffekte</li> <li>– Schwingungsdämpfer an Fahrzeugen und Gebäuden</li> <li>– Schallwahrnehmung</li> <li>– Musikinstrumente</li> <li>– Klangerzeugung</li> </ul>	

### 3.2.5 Wellen

Der Schwerpunkt dieses Themenfeldes liegt in der Betrachtung von Interferenzphänomenen. Dabei wird insbesondere das Basiskonzept „Superposition und Komponenten“ aufgegriffen. Mathematische Betrachtungen zur Interferenz sollen entweder bei mechanischen oder elektromagnetischen Wellen durchgeführt werden. Es ist zu beachten, dass nur die lineare, nicht die zirkulare Polarisation angesprochen werden muss.

Die Verfügbarkeit von Simulationen eröffnet Möglichkeiten, digitale Medien zu nutzen und zu bewerten.

Die Bedeutung elektromagnetischer Wellen für die Informationsübertragung und somit für einen bedeutenden Teil unserer Alltagswelt bietet Gelegenheit, Aspekte der Verbraucherbildung in den Unterricht einzubeziehen, beispielsweise zum Thema Mobilfunk.

Bei der Entstehung elektromagnetischer Wellen am HERTZschen Dipol können die sich ablösenden Feldbereiche als Träger von Energie beschrieben werden. Zusätzlich bietet es sich an, auf das Experiment von Michelson und Morley hinzuweisen, das die Unabhängigkeit der Vakuumlichtgeschwindigkeit vom Bezugssystem belegt.

	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
<b>Inhalte</b>	<b>Mechanische Wellen</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Definition des Begriffs</li> <li>– Energieübertragung durch Wellen</li> <li>– charakteristische Größen zur Beschreibung einer Welle</li> <li>– Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge und Frequenz <math>c = \lambda \cdot f</math></li> <li>– Wellenphänomene: Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz</li> <li>– stehende Wellen, Wellenlängenbestimmung mittels einer durch Reflexion erzeugten stehenden Welle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zeitliche und räumliche Entwicklung einer harmonischen eindimensionalen Welle, Darstellung durch Funktionsgleichungen  <math>y(t) = y_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)</math>  für <math>x = \text{konst.}</math> und</li> <li>– <math>y(x) = y_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right)</math>  für <math>t = \text{konst.}</math>  oder durch Funktionsgraphen</li> </ul>
	<b>Elektromagnetische Wellen</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entstehung elektromagnetischer Wellen am HERTZschen Dipol</li> <li>– Ausbreitung elektromagnetischer Wellen, Ausbreitungsgeschwindigkeit</li> <li>– Wellenphänomene: Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz</li> <li>– Polarisation von Transversalwellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dipollänge <math>\ell = \frac{\lambda}{2}</math></li> </ul>	

3.2.5 Wellen		
	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
	<b>Wellenoptik</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interferenz von monochromatischem Licht am Doppelspalt und Gitter</li> <li>- Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz an Doppelspalt und Gitter:  <math display="block">\Delta s = k \cdot \lambda, \sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{b}</math> <math display="block">\Delta s = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \sin \alpha_k = \frac{(2k + 1) \cdot \lambda}{2 \cdot b}</math> </li> <li>- Farbzerlegung von weißem Licht an einem Gitter</li> <li>- elektromagnetisches Spektrum, Überblick über die verschiedenen Frequenzbereiche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beugung und Interferenz am Einfachspalt, Bedingung für destruktive Interferenz:  <math display="block">\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{b}</math> </li> <li>- Aufbau und Funktionsweise eines Interferometers</li> <li>- Röntgenbeugung an Kristallgittern, BRAGGSche Gleichung: <math>2 \cdot d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda</math></li> </ul>
<b>Fachbegriffe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wellenlänge</li> <li>- Wellenfront</li> <li>- Lichtgeschwindigkeit</li> <li>- Gangunterschied</li> <li>- Schwingungsknoten, Schwingungsbauch</li> <li>- Gitterkonstante</li> </ul>	
<b>Experimente, Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erzeugung einer stehenden Welle (z. B. Seilwelle) durch Reflexion</li> <li>- Bestimmung der Wellenlänge monochromatischen Lichts durch Interferenz</li> <li>- Nachweis von polarisiertem und unpolarisiertem Licht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interferenz am Einfachspalt</li> </ul>

3.2.5 Wellen		
	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
Basiskonzepte	<p><b>Superposition und Komponenten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Erklärung von Interferenzphänomenen mithilfe der Superposition von Wellen</li> </ul> <p><b>Mathematisieren und Vorhersagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mathematische Beschreibung der Lage der Maxima und Minima bei der Interferenz am Doppelspalt</li> </ul>	<p><b>Superposition und Komponenten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Deutung der Abschwächung unpolarisierten Lichts durch einen Polarisationsfilter</li> </ul> <p><b>Mathematisieren und Vorhersagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bestimmung von Netzebenenabständen in Kristallen mithilfe der BRAGGSchen Gleichung</li> </ul>
mögliche Beiträge zur Kompetenzentwicklung	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– erklären das Messverfahren zur Wellenlängenbestimmung bei der Interferenz am Doppelspalt sowie die Funktion einzelner Komponenten des Versuchsaufbaus. (S 5)</li> <li>– modellieren optische Phänomene wie die Interferenz am Doppelspalt mithilfe mathematischer Darstellungen, wobei theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aus der Untersuchung des Beugungsbilds aufeinander bezogen werden. (E 4)</li> <li>– veranschaulichen die Entstehung stehender Wellen in sachgerechten Darstellungsformen, auch mithilfe digitaler Werkzeuge. (K 6)</li> <li>– präsentieren Eigenschaften und Anwendungen von Frequenzbereichen des elektromagnetischen Spektrums sach- und adressatengerecht unter Einsatz geeigneter analoger und digitaler Medien. (K 7)</li> <li>– bilden sich reflektiert und rational in außerfachlichen Kontexten (z. B. „Handystrahlung“) ein eigenes Urteil. (B 4)</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– erklären das Messverfahren zur Bestimmung der Netzebenenabstände in Kristallen mithilfe der BRAGG-Reflexion sowie die Funktion einzelner Komponenten des Versuchsaufbaus. (S 5)</li> <li>– reflektieren Risikoeinschätzungen zur Mobilfunktechnologie („Handystrahlung“) hinsichtlich der Güte des durchgeführten Bewertungsprozesses. (B 5)</li> </ul>

### 3.2.5 Wellen

**mögliche Kontexte**

- Meereswellen in Küstennähe
- Tsunami
- Erdbebenwellen
- Untersuchungen mit Ultraschall
- Musikinstrumente
- Polarimetrie
- Informationsübertragung
- Modulation
- Antennen und Sendemasten
- Mikrowellenherd
- Wärmebildkamera
- Globale Bilanz der Strahlungsenergie der Erdatmosphäre
- Fernbedienung
- Schwarzlichtlampe
- Auflösungsvermögen optischer Instrumente
- Holografie



### 3.2.6 Quantenobjekte

Die Lernenden erweitern in diesem Themenfeld ihr Weltbild, indem sie Erkenntnisprozesse beim Übergang von der klassischen zur modernen Physik nachvollziehen und reflektieren. Dabei entwickeln sie ein quantenphysikalisches Weltbild hinsichtlich der Begriffe Realität, Lokalität, Kausalität und Determinismus.

Die vorgesehenen Experimente können gegebenenfalls – sofern eine entsprechende Ausstattung nicht zur Verfügung steht – durch geeignete interaktive Bildschirmexperimente (IBE) ersetzt oder mithilfe von Simulationen veranschaulicht werden.

Die HEISENBERGSche Unbestimmtheitsrelation kann im Grundkursunterricht zur inhaltlichen Vertiefung beitragen.

Im Leistungskurs ist es möglich, die Äquivalenz von Masse und Energie als Ausgangspunkt für die Diskussion grundlegender Materieeigenschaften zu nehmen.

	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– äußerer lichtelektrischer Effekt, Widerspruch zum Wellenmodell</li> <li>– EINSTEINSche Deutung im Photonenmodell des Lichts <math>E_{\text{Ph}} = h \cdot f = E_{\text{kin}} + W_{\text{A}}</math></li> <li>– Impuls von klassischen Teilchen und Photonen: <math>p = m \cdot v</math>, <math>p_{\text{Ph}} = \frac{h \cdot f}{c}</math></li> <li>– Hypothese von DE BROGLIE <math>\lambda = \frac{h}{p}</math></li> <li>– Elektronenbeugung (qualitativ)</li> <li>– TAYLOR-Experiment: stochastische Vorhersagbarkeit der Häufigkeitsverteilung (qualitativ)</li> <li>– Komplementarität von Weginformation und Interferenzfähigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Elektronenbeugung an Kristallgittern (quantitativ)</li> <li>– HEISENBERGSche Unbestimmtheitsrelation <math display="block">\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}</math></li> <li>– Äquivalenz von Masse und Energie <math>\Delta E = \Delta m \cdot c^2</math></li> </ul>
Fachbegriffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Photon</li> <li>– PLANCKSches Wirkungsquantum</li> <li>– Austrittsarbeit</li> <li>– Grenzfrequenz</li> <li>– Materiewelle, DE-BROGLIE-Wellenlänge</li> <li>– Aufenthaltswahrscheinlichkeit</li> </ul>	

3.2.6 Quantenobjekte		
	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
Experimente, Untersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fotoeffekt: Einfluss der Intensität und Frequenz des Lichts</li> <li>– Bestimmung des PLANCKSchen Wirkungsquantums mit der Gegenfeldmethode</li> <li>– Elektronenbeugung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <math>h</math>-Bestimmung mithilfe von LEDs</li> <li>– Simulation zum Nachweis der Komplementarität von Weginformation und Interferenzfähigkeit</li> </ul>
Basiskonzepte	<p><b>Erhaltung und Gleichgewicht</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Betrachtung der Energieerhaltung beim Fotoeffekt</li> </ul> <p><b>Superposition und Komponenten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Deutung des Interferenzmusters im Doppelspaltexperiment als Häufigkeitsverteilung bei der Registrierung von Einzelergebnissen</li> </ul> <p><b>Zufall und Determiniertheit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Beschreibung der Ereignisse einzelner Quantenobjekte (z. B. Registrierung eines Photons auf einem Schirm) unter Verwendung von Wahrscheinlichkeitsaussagen</li> </ul>	<p><b>Erhaltung und Gleichgewicht</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Herleitung der Gleichung  <math display="block">\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m_e \cdot e \cdot U}}</math> aus der DE-BROGLIE-Hypothese und dem Energieansatz</li> </ul> <p><b>Mathematisieren und Vorhersagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– linearisierte Darstellung von Messwerten aus dem Elektronenbeugungsexperiment zur Bestimmung von <math>h</math></li> <li>– mathematische Beschreibung des Zusammenhangs zwischen der Wellenlänge und der Lage der Beugungsringe in der Elektronenbeugungsröhre</li> </ul>
mögliche Beiträge zur Kompetenzentwicklung	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– reflektieren die Relevanz der Ergebnisse zum Fotoeffekt für physikalische Erkenntnisgewinnung und erläutern das Versagen klassischer Modelle. (E 9)</li> <li>– erklären, wie sich mithilfe eines Experiments zum Fotoeffekt das PLANCKSche Wirkungsquantum ermitteln lässt. (S 6)</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– erklären im Photonenmodell die am Einfachspalt gefundenen Zusammenhänge zwischen Spaltbreite und Breite des Hauptmaximums mithilfe der HEISENBERGSchen Unbestimmtheitsrelation. (E 6)</li> <li>– reflektieren Grenzen der Erkenntnisgewinnung vor dem Hintergrund der HEISENBERGSchen Unbestimmtheitsrelation. (E 11)</li> </ul>
mögliche Kontexte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bräunung der Haut</li> <li>– Funktionsprinzip von Nachtsichtgeräten</li> <li>– Sonnensegel als Antrieb von Raumsonden</li> <li>– innerer Fotoeffekt in optoelektronischen Bauelementen</li> <li>– Fotoemissionselektronen-Mikroskop</li> </ul>	

### 3.2.7 Atome

Der Schwerpunkt liegt in der diskreten Struktur der Energieniveaus der Atomhülle. Eine detaillierte Behandlung der Quantenzahlen  $l$ ,  $m$  und  $s$  ist nicht erforderlich.

Experimente zur Röntgenstrahlung können durch geeignete interaktive Bildschirmexperimente (IBE) ersetzt oder mithilfe von Simulationen veranschaulicht werden.

Medizinische Kontexte zur Röntgenstrahlung bieten die Möglichkeit, Bezüge zur Gesundheitsförderung herzustellen.

	<b>Grundkurs</b>	<b>Leistungskurs</b> (zusätzlich zum Grundkurs)
<b>Inhalte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Linienspektrum des atomaren Wasserstoffs, Serienformel:  <math display="block">f = f_R \cdot \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)</math> </li> <li>– Emission und Absorption von Photonen als Energieabgabe und Anregung von Atomen</li> <li>– Energiewerte für das Wasserstoffatom  <math display="block">E_n = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}</math> </li> <li>– Zusammenhang zwischen Energieniveauschema und Linienspektrum</li> <li>– Orbitale des Wasserstoffatoms als Veranschaulichung der Nachweiswahrscheinlichkeiten für das Elektron</li> <li>– Optische Spektralanalyse unterschiedlicher atomarer Gase</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– FRANCK-HERTZ-Experiment</li> <li>– Modell des eindimensionalen Potenzialtopfes mit diskreten Energiewerten und seine Grenzen</li> <li>– Betragsquadrat der Wellenfunktion zur Beschreibung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit</li> <li>– Energiewerte für Ein-Elektron-Systeme <math>E_n = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{Z^2}{n^2}</math></li> <li>– Ausblick auf Mehrelektronensysteme, PAULI-Prinzip</li> <li>– Eigenschaften von Röntgenstrahlung</li> <li>– Röntgenspektrum (Drehkristallverfahren)</li> <li>– Entstehung der kontinuierlichen und der diskreten Röntgenstrahlung</li> </ul>
<b>Fachbegriffe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Emissions- und Absorptionsspektrum</li> <li>– Orbital, Hauptquantenzahl <math>n</math></li> <li>– Grundzustand, angeregte Zustände, Ionisationsenergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kurzwellige Grenze des Röntgenbremsspektrums</li> <li>– charakteristische Röntgenstrahlung</li> </ul>
<b>Experimente, Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Darstellung eines Emissions- und Absorptionsspektrums</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Darstellung von Röntgenspektren (IBE oder Realexperiment)</li> </ul>

3.2.7 Atome		
	Grundkurs	Leistungskurs (zusätzlich zum Grundkurs)
Basiskonzepte	<p><b>Erhaltung und Gleichgewicht</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Erläuterung der Prozesse bei der quantenhaften Emission und Absorption von Licht</li> </ul> <p><b>Mathematisieren und Vorhersagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Entwicklung eines Energieniveauschemas aus einem Emissionsspektrum und umgekehrt</li> <li>– Vorhersage von Spektrallinien außerhalb des sichtbaren Spektrums</li> </ul>	<p><b>Erhaltung und Gleichgewicht</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Erläuterung der Prozesse beim FRANCK-HERTZ-Experiment</li> <li>– Bestimmung des PLANCKSchen Wirkungsquantums aus der kurzwelligen Grenze der Röntgenstrahlung</li> </ul> <p><b>Zufall und Determiniertheit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Erklärung der unterschiedlichen Intensitäten von Spektrallinien als Folge unterschiedlicher Wahrscheinlichkeiten bei der Besetzung von Energieniveaus</li> <li>– Erklärung dafür, dass in einer Gasentladungsröhre der Zeitpunkt der Emission eines Photons durch ein einzelnes Gasatom zufällig ist, sich aber bei fest eingestellter Spannung dennoch eine eindeutig vorher-sagbare Strahlungsleistung ein-stellt</li> </ul>
mögliche Beiträge zur Kompetenzentwicklung	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– entwickeln Fragestellungen zur Analyse von Linienspektren. (E 1)</li> <li>– erklären die Entstehung von Absorptionslinien unter Nutzung eines Energieniveauschemas. (S 1)</li> <li>– veranschaulichen Orbitale des Wasserstoffatoms mithilfe geeigneter Software (K 6)</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– erklären das Drehkristallverfahren sowie die Funktionen der einzelnen Komponenten des Versuchsaufbaus zur Aufnahme eines Röntgenspektrums. (S 5)</li> <li>– erklären, wie aus der grafischen Darstellung <math>\lambda_{\min} \left( \frac{1}{U} \right)</math> für die kurzwellige Grenze der Röntgenstrahlung das PLANCKSche Wirkungsquantum ermittelt werden kann und wenden dieses Auswerteverfahren auf Messergebnisse an. (S 6)</li> </ul>
mögliche Kontexte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Spektren in der Astronomie</li> <li>– Spektroskopie</li> <li>– Fluoreszenz und Phosphoreszenz</li> <li>– Lasertechnik</li> <li>– Röntgenspektroskopie</li> <li>– bildgebende Verfahren in der Medizin</li> </ul>	