



# Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe

**PHYSIK**  
Ausgabe 2024

**Impressum****Herausgeber:**

Hessisches Ministerium für Kultus, Bildung und Chancen (HMKB)  
Luisenplatz 10  
65185 Wiesbaden  
Telefon: 0611 368-0  
E-Mail: [poststelle.hmkb@kultus.hessen.de](mailto:poststelle.hmkb@kultus.hessen.de)  
Internet: <https://kultus.hessen.de>

**Stand:**

Ausgabe 2024, Stand 01.08.2025

## Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung .....	4
<b>1 Die gymnasiale Oberstufe und das berufliche Gymnasium.....</b>	<b>5</b>
1.1 Ganzheitliches Lernen und Kompetenzorientierung in der gymnasialen Oberstufe und dem beruflichen Gymnasium.....	5
1.2 Strukturelemente des Kerncurriculums .....	7
1.3 Überfachliche Kompetenzen .....	9
<b>2 Bildungsbeitrag und didaktische Grundlagen des Faches .....</b>	<b>12</b>
2.1 Beitrag des Faches zur Bildung .....	12
2.2 Kompetenzmodell .....	13
2.3 Kompetenzbereiche .....	14
2.4 Strukturierung der Fachinhalte und Basiskonzepte .....	18
<b>3 Bildungsstandards und Unterrichtsinhalte .....</b>	<b>21</b>
3.1 Einführende Erläuterungen .....	21
3.2 Bildungsstandards .....	22
3.3 Kurshalbjahre und Themenfelder .....	25

**Hinweis:** Anregungen zur Umsetzung des Kerncurriculums im Unterricht sowie weitere Materialien abrufbar im Internet unter: [www.kerncurriculum.hessen.de](http://www.kerncurriculum.hessen.de)

## Vorbemerkung

Das Kerncurriculum für die gymnasiale Oberstufe und das berufliche Gymnasium trat zum Schuljahr 2016/17 in Kraft und ist seither Grundlage eines kompetenzorientierten Oberstufenunterrichts zur Vorbereitung auf das hessische Landesabitur. Den Fächern Mathematik, Deutsch und den fortgeführten Fremdsprachen (Englisch, Französisch) liegen dabei die Bildungsstandards nach dem Beschluss der Kultusministerkonferenz (KMK) vom 18.10.2012 zugrunde. Den naturwissenschaftlichen Fächern Biologie, Chemie und Physik liegen die Bildungsstandards nach dem Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020 zugrunde.

Die politischen Vorhaben zur „Ländervereinbarung über die gemeinsame Grundstruktur des Schulwesens und die gesamtstaatliche Verantwortung der Länder in zentralen bildungspolitischen Fragen“ (Beschluss der KMK vom 15.10.2020) in Verbindung mit der „Vereinbarung zur Gestaltung der gymnasialen Oberstufe und der Abiturprüfung“ (Beschluss der KMK vom 07.07.1972 in der Fassung vom 06.06.2024) bedingen eine Ausweitung der für das schriftliche Abitur prüfungsrelevanten Themen und Inhalte auf das Kurshalbjahr Q4, das vor den Osterferien endet.

Dies macht eine Anpassung der Kerncurricula der gymnasialen Oberstufe in allen Abiturprüfungsfächern notwendig. Die Änderungen betreffen die inhaltliche Anschlussfähigkeit der Q4 sowie gegebenenfalls notwendige Anpassungen in den vorherigen Kurshalbjahren.

## 1 Die gymnasiale Oberstufe und das berufliche Gymnasium

### 1.1 Ganzheitliches Lernen und Kompetenzorientierung in der gymnasialen Oberstufe und dem beruflichen Gymnasium

Das Ziel der gymnasialen Oberstufe und des beruflichen Gymnasiums ist die Allgemeine Hochschulreife, die zum Studium an einer Hochschule berechtigt und auch den Weg in eine berufliche Ausbildung ermöglicht. Lernende, die die gymnasiale Oberstufe besuchen, wollen auf die damit verbundenen Anforderungen vorbereitet sein. Erwarten können sie daher einen Unterricht, der sie dazu befähigt, Fragen nach der Gestaltung des eigenen Lebens und der Zukunft zu stellen und orientierende Antworten zu finden. Sie benötigen Lernangebote, die in sinnstiftende Zusammenhänge eingebettet sind, in einem verbindlichen Rahmen eigene Schwerpunktsetzungen ermöglichen und Raum für selbstständiges Arbeiten schaffen. Mit diesem berechtigten Anspruch geht die Verpflichtung der Lernenden einher, die gebotenen Lerngelegenheiten in eigener Verantwortung zu nutzen und mitzugestalten. Lernen wird so zu einem stetigen, nie abgeschlossenen Prozess der Selbstbildung und Selbsterziehung, getragen vom Streben nach Autonomie, Bindung und Kompetenz. In diesem Verständnis wird die Bildung und Erziehung junger Menschen nicht auf zu erreichende Standards reduziert, vielmehr kann Bildung Lernende dazu befähigen, selbstbestimmt und in sozialer Verantwortung, selbstbewusst und resilient, kritisch-reflexiv und engagiert, neugierig und forschend, kreativ und genussfähig ihr Leben zu gestalten und wirtschaftlich zu sichern.

Für die Lernenden stellen die gymnasiale Oberstufe und das berufliche Gymnasium ein wichtiges Bindeglied zwischen einem zunehmend selbstständigen, dennoch geleiteten Lernen in der Sekundarstufe I auf der einen Seite und dem selbstständigen und eigenverantwortlichen Weiterlernen auf der anderen Seite dar, wie es mit der Aufnahme eines Studiums oder einer beruflichen Ausbildung verbunden ist. Auf der Grundlage bereits erworbener Kompetenzen zielt der Unterricht in der gymnasialen Oberstufe und dem beruflichen Gymnasium auf eine vertiefte Allgemeinbildung, eine allgemeine Studierfähigkeit sowie eine fachlich fundierte wissenschaftspropädeutische Bildung. Dabei gilt es in besonderem Maße, flankiert durch Angebote zur beruflichen Orientierung, die Potenziale der Jugendlichen zu entdecken und zu stärken sowie die Bereitschaft zu beständigem Weiterlernen zu wecken, damit die jungen Erwachsenen selbstbewusste, ihre Neigungen und Stärken berücksichtigende Entscheidungen über ihre individuellen Bildungs-, Berufs- und Lebenswege treffen können. So bietet der Unterricht in der Auseinandersetzung mit ethischen Fragen die zur Bildung reflektierter Werthaltungen notwendigen Impulse – den Lernenden kann so die ihnen zukommende Verantwortung für Staat, Gesellschaft und das Leben zukünftiger Generationen bewusst werden. Auf diese Weise nehmen die gymnasiale Oberstufe und das berufliche Gymnasium den ihnen in den §§ 2 und 3 des Hessischen Schulgesetzes (HSchG) aufgegebenen Erziehungsauftrag wahr.

Das Lernen in der gymnasialen Oberstufe und dem beruflichen Gymnasium differenziert die Inhalte und die Lern- und Arbeitsweisen der Sekundarstufe I weiter aus. So zielt der Unterricht auf den Erwerb profunden Wissens sowie auf die Vertiefung beziehungsweise Erweiterung von Sprachkompetenz. Der Unterricht fördert Team- und Kommunikationsfähigkeit, lernstrategische und wissenschaftspropädeutische Fähigkeiten und Fertigkeiten, um zunehmend selbstständig lernen zu können, sowie die Fähigkeit, das eigene Denken und Handeln zu reflektieren. Ein breites, in sich gut organisiertes und vernetztes sowie in unterschiedlichen Anwendungssituationen erprobtes Orientierungswissen hilft dabei, unterschiedliche, auch interkulturelle Horizonte des Weltverständens zu erschließen. Aus dieser Handlungsorientierung

leiten sich die didaktischen Aufgaben der gymnasialen Oberstufe und des beruflichen Gymnasiums ab:

- sich aktiv und selbstständig mit bedeutsamen Gegenständen und Fragestellungen zentraler Wissensdomänen auseinanderzusetzen,
- wissenschaftlich geprägte Kenntnisse für die Bewältigung persönlicher und gesellschaftlicher Herausforderungen zu nutzen,
- Inhalte und Methoden kritisch zu reflektieren und daraus folgend Erkenntnisse und Erkenntnisweisen auszuwerten und zu bewerten,
- in kommunikativen Prozessen sowohl aus der Perspektive aufgeklärter Laien als auch aus der Expertenperspektive zu agieren.

Lernende begegnen der Welt auf unterschiedliche Art und Weise. Ganzheitliche schulische Bildung eröffnet den Lernenden daher unterschiedliche Dimensionen von Erkenntnis und Verstehen. Sie reflektieren im Bildungsprozess verschiedene „Modi der Weltbegegnung und -erschließung“<sup>1</sup>, die sich – in flexibler beziehungsweise mehrfacher Zuordnung – in den Unterrichtsfächern und deren Bezugswissenschaften wiederfinden:

- (1) eine kognitiv-instrumentelle Modellierung der Welt (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften oder Technik),
- (2) ästhetisch-expressive Begegnung und Gestaltung (Sprache/Literatur, Musik / bildende und theatrale Kunst / physische Expression)
- (3) normativ-evaluative Auseinandersetzung mit Wirtschaft und Gesellschaft (Geschichte, Politik, Ökonomie, Recht, Wirtschaft, Gesundheit und Soziales)
- (4) einen Modus, in dem „Probleme konstitutiver Rationalität“ behandelt werden und über „die Bedingungen menschlicher Erkenntnis und menschlichen In-der-Welt-Seins“ nachgedacht wird (Religion, Ethik und Philosophie).

Jeder dieser gleichrangigen Modi bietet also eine eigene Art und Weise, die Wirklichkeit zu konstituieren – aus einer jeweils besonderen Perspektive, mit den jeweils individuellen Erschließungsmustern und Erkenntnisräumen. Den Lernenden eröffnen sich dadurch Möglichkeiten für eine mehrperspektivische Betrachtung und Gestaltung von Wirklichkeit, die durch geeignete Lehr-Lern-Prozesse initiiert werden.

Die Grundstruktur der Allgemeinbildung besteht in der Verschränkung der oben genannten Sprachkompetenzen und lernstrategischen Fähigkeiten mit den vier „Modi der Weltbegegnung und -erschließung“ und gibt damit einen Orientierungsrahmen für kompetenzorientierten Unterricht auf Basis der KMK-Bildungsstandards für die allgemeine Hochschulreife. Mit deren Erreichen dokumentieren die Lernenden, dass sie ihre Kompetenzen und fundierten Fachkenntnisse in innerfachlichen, fachübergreifenden und fächerverbindenden Zusammenhängen verständig nutzen können.

In der Umsetzung eines ganzheitlichen Bildungsanspruchs verbinden sich sowohl Erwartungen der Schule an die Lernenden als auch Erwartungen der Lernenden an die Schule.

---

<sup>1</sup> Hier und im Folgenden adaptiert aus Jürgen Baumert: Deutschland im internationalen Bildungsvergleich, in: Nelson Killius und andere (Herausgeber), Die Zukunft der Bildung, Frankfurt am Main: Suhrkamp 2002, Seite 113, und Bernhard Dressler: Bildung und Differenzkompetenz, in: Österreichisches Religionspädagogisches Forum 2/2021, Seite 216.

Den Lehrkräften kommt daher die Aufgabe zu,

- Lernende darin zu unterstützen, sich die Welt aktiv und selbstbestimmt fortwährend lernend zu erschließen, eine Fragehaltung zu entwickeln sowie sich reflexiv und zunehmend differenziert mit den unterschiedlichen „Modi der Weltbegegnung und Welterschließung“ zu beschäftigen,
- Lernende mit Respekt, Geduld und Offenheit sowie durch Anerkennung ihrer Leistungen und förderliche Kritik darin zu unterstützen, in einer komplexen Welt mit Herausforderungen wie fortschreitender Technisierung, beschleunigtem globalen Wandel, der Notwendigkeit erhöhter Flexibilität und Mobilität und diversifizierten Formen der Lebensgestaltung angemessen umgehen zu lernen sowie im Sinne des Allgemeinen Gleichbehandlungsgesetzes (AGG) kultureller Heterogenität und weltanschaulich-religiöser Pluralität mit Offenheit und Toleranz zu begegnen,
- Lernen in Gemeinschaft und das Schulleben mitzugestalten.

Aufgabe der Lernenden ist es,

- das eigene Lernen und die Lernumgebungen aktiv mitzugestalten sowie eigene Fragen und Interessen, Fähigkeiten und Fertigkeiten bewusst einzubringen und zu mobilisieren; schulische Lernangebote als Herausforderungen zu verstehen und zu nutzen; dabei Disziplin und Durchhaltevermögen zu beweisen; sich zu engagieren und sich anzustrengen,
- Lern- und Beurteilungssituationen zum Anlass zu nehmen, ein an Kriterien orientiertes Feedback einzuholen, konstruktiv mit Kritik umzugehen, sich neue Ziele zu setzen und diese konsequent zu verfolgen,
- im Sinne des Allgemeinen Gleichbehandlungsgesetzes (AGG) kultureller Heterogenität und weltanschaulich-religiöser Pluralität mit Offenheit und Toleranz zu begegnen,
- Lernen in Gemeinschaft und das Schulleben mitzugestalten.

Die Entwicklung von Kompetenzen wird möglich, wenn Lernende sich mit komplexen und herausfordernden Aufgabenstellungen, die Problemlösen erfordern, auseinandersetzen, wenn sie dazu angeleitet werden, ihre eigenen Lernprozesse zu steuern und an der Gestaltung des Unterrichts aktiv mitzuwirken. Solchermaßen gestalteter Unterricht bietet Lernenden Arbeitsformen und Strukturen, in denen sie wissenschaftspropädeutisches und berufsbezogenes Arbeiten in realitätsnahen Kontexten erproben und erlernen können. Es bedarf der Bereitstellung einer motivierenden Lernumgebung, die neugierig macht auf die Entdeckung bisher unbekannter Wissens, in welcher die Suche nach Verständnis bestärkt und Selbstreflexion gefördert wird. Und es bedarf Formen der Instruktion, der Interaktion und Kommunikation, die Diskurs und gemeinsame Wissensaneignung, und auch das Selbststudium und die Konzentration auf das eigene Lernen ermöglichen.

## 1.2 Strukturelemente des Kerncurriculums

Das Kerncurriculum für die gymnasiale Oberstufe und das berufliche Gymnasium formuliert Bildungsziele für fachliches (Bildungsstandards) und überfachliches Lernen sowie inhaltliche Vorgaben als verbindliche Grundlage für die Prüfungen im Rahmen des Landesabiturs. Die Leistungserwartungen werden auf diese Weise für alle, Lehrende wie Lernende, transparent und nachvollziehbar. Das Kerncurriculum ist in mehrfacher Hinsicht anschlussfähig: Es nimmt zum einen die Vorgaben in den Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (EPA) und den Beschluss der Kultusministerkonferenz (KMK) vom 18.10.2012 zu den

Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife in den Fächern Deutsch und Mathematik sowie in der fortgeführten Fremdsprache (Englisch, Französisch) und vom 18.06.2020 in den naturwissenschaftlichen Fächern (Biologie, Chemie und Physik) und die Vereinbarung zur Gestaltung der gymnasialen Oberstufe und der Abiturprüfung (Beschluss der KMK vom 07.07.1972 in der Fassung vom 16.03.2023) auf. Zum anderen setzt sich in Anlage und Aufbau des Kerncurriculums die Kompetenzorientierung, wie bereits im Kerncurriculum für die Sekundarstufe I umgesetzt, konsequent fort – modifiziert in Darstellungsformat und Präzisionsgrad der verbindlichen inhaltlichen Vorgaben gemäß den Anforderungen der gymnasialen Oberstufe und des beruflichen Gymnasiums und mit Blick auf die Abiturprüfung.

Das pädagogisch-didaktische Konzept des ganzheitlichen Lernens und der Kompetenzorientierung in der gymnasialen Oberstufe und dem beruflichen Gymnasium spiegelt sich in den einzelnen Strukturelementen wider:

**Überfachliche Kompetenzen** (Abschnitt 1.3): Bildung, nicht nur als individueller, sondern auch sozialer Prozess fortwährender Selbstbildung und Selbsterziehung verstanden, zielt auf fachlichen und überfachlichen Kompetenzerwerb gleichermaßen. Daher sind im Kerncurriculum für die gymnasiale Oberstufe und für das berufliche Gymnasium neben den fachlichen Leistungserwartungen zunächst die wesentlichen Dimensionen und Aspekte überfachlicher Kompetenzentwicklung beschrieben.

**Bildungsbeitrag und didaktische Grundlagen des Faches** (Abschnitt 2): Der „Beitrag des Faches zur Bildung“ (Abschnitt 2.1) beschreibt den Bildungsanspruch und die wesentlichen Bildungsziele des Faches. Dies spiegelt sich in den Kompetenzbereichen (Abschnitt 2.2 beziehungsweise Abschnitt 2.3 in den Naturwissenschaften, in Mathematik und Informatik) und der Strukturierung der Fachinhalte (Abschnitt 2.3 beziehungsweise Abschnitt 2.4 Naturwissenschaften, Mathematik, Informatik) wider. Die didaktischen Grundlagen, durch den Bildungsbeitrag fundiert, bilden ihrerseits die Bezugsfolie für die Konkretisierung in Bildungsstandards und Unterrichtsinhalten.

**Bildungsstandards und Unterrichtsinhalte** (Abschnitt 3): Bildungsstandards weisen die Erwartungen an das fachbezogene Können der Lernenden am Ende der gymnasialen Oberstufe und des beruflichen Gymnasiums aus (Abschnitt 3.2). Sie konkretisieren die Kompetenzbereiche und zielen grundsätzlich auf kritische Reflexionsfähigkeit sowie den Transfer beziehungsweise das Nutzen von Wissen für die Bewältigung persönlicher und gesellschaftlicher Herausforderungen.<sup>2</sup>

Die Lernenden setzen sich mit geeigneten und repräsentativen Lerninhalten und Themen, deren Sachaspekten und darauf bezogenen Fragestellungen auseinander und entwickeln auf diese Weise die in den Bildungsstandards formulierten fachlichen Kompetenzen. Entsprechend gestaltete Lernarrangements zielen auf den Erwerb jeweils bestimmter Kompetenzen aus in der Regel unterschiedlichen Kompetenzbereichen. Auf diese Weise können alle Bildungsstandards mehrfach und in unterschiedlichen inhaltlichen Zusammenhängen erarbeitet werden. Hieraus erklärt sich, dass Bildungsstandards und Unterrichtsinhalte nicht bereits im Kerncurriculum miteinander verknüpft werden, sondern dies erst sinnvoll auf der Unterrichtsebene erfolgen kann.

<sup>2</sup> In den sieben Fächern, für die Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife (Beschluss der KMK vom 18.10.2012 für die Fächer Deutsch, Mathematik sowie die fortgeführten Fremdsprachen Englisch und Französisch und vom 18.06.2020 für die naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie, Physik) vorliegen, werden diese in der Regel wörtlich übernommen.

Die Lerninhalte sind in unmittelbarer Nähe zu den Bildungsstandards in Form verbindlicher Themen der Kurshalbjahre, gegliedert nach Themenfeldern, ausgewiesen (Abschnitt 3.3). Hinweise zur Verbindlichkeit der Themenfelder finden sich im einleitenden Text zu Abschnitt 3.3 sowie in jedem Kurshalbjahr. Die Thematik eines Kurshalbjahres wird jeweils in einem einführenden Text skizziert und begründet. Im Sinne eines Leitgedankens stellt er die einzelnen Themenfelder in einen inhaltlichen Zusammenhang und zeigt Schwerpunktsetzungen für die Kompetenzanbahnung auf.

### 1.3 Überfachliche Kompetenzen

Für Lernende, die nach dem erfolgreichen Abschluss der gymnasialen Oberstufe oder des beruflichen Gymnasiums ein Studium oder eine berufliche Ausbildung beginnen und die damit verbundenen Anforderungen erfolgreich meistern wollen, kommt dem Erwerb all jener Kompetenzen, die über das rein Fachliche hinausgehen, eine fundamentale Bedeutung zu. Nur in der Verknüpfung mit personalen und sozialen Kompetenzen können sich fachliche Expertise und nicht zuletzt auch die Bereitschaft und Fähigkeit, für Demokratie und Teilhabe sowie zivilgesellschaftliches Engagement und einen verantwortungsvollen Umgang mit den natürlichen Ressourcen einzustehen, adäquat entfalten.

Daher liegt es in der Verantwortung aller Fächer, dass Lernende im fachgebundenen wie auch im projektorientiert ausgerichteten fachübergreifenden und fächerverbindenden Unterricht ihre überfachlichen Kompetenzen weiterentwickeln können, auch im Hinblick auf eine kompetenz- und interessenorientierte sowie praxisbezogene Studien- und Berufsorientierung. Dabei kommt den Fächern Politik und Wirtschaft sowie Deutsch eine besondere Verantwortung zu, Lernangebote bereitzustellen, die den Lernenden die Möglichkeit eröffnen, ihre Interessen und Neigungen zu entdecken und die gewonnenen Informationen mit Blick auf ihre Ziele zu nutzen.

Überfachliche Kompetenzen umspannen ein weites Spektrum. Es handelt sich dabei um Fähigkeiten und Fertigkeiten genauso wie um Haltungen und Einstellungen. Mit ihnen stehen kulturelle Werkzeuge zur Verfügung, in denen sich auch normative Ansprüche widerspiegeln.

Im Folgenden werden die anzustrebenden überfachlichen Kompetenzen als sich ergänzende und ineinander greifende gleichrangige Dimensionen beschrieben, dem Prinzip „vom Individuum zur Gemeinschaft“ entsprechend:

**a) Personale Kompetenzen:** eigenständig und verantwortlich handeln und entscheiden; selbstbewusst mit Irritationen umgehen, Dissonanzen aushalten (Ambiguitätstoleranz); widerstandsfähig mit Enttäuschungen und Rückschlägen umgehen; sich zutrauen, die eigene Person und inneres Erleben kreativ auszudrücken; divergent denken; fähig sein zu naturbezogenem sowie ästhetisch ausgerichtetem Erleben; sensibel sein für die eigene Körperllichkeit und psychische Gesundheit, eigene Bedürfnisse wahrnehmen und äußern.

Dazu gehören

**emotionale Kompetenzen:** den eigenen emotionalen Zustand erkennen, adressaten- und situationsadäquat ausdrücken können und damit umgehen; aversive oder belastende Emotionen bewältigen (Emotionsregulation); emotionale Selbstwirksamkeit; empathisch auf Emotionen anderer eingehen, anderen vertrauen.

**Motivation/Lernbereitschaft:** sich (auf etwas) einlassen; für eine Sache fiebern; sich motiviert fühlen und andere motivieren; von epistemischer Neugier geleitete Fragen formulieren;

sich vertiefen, etwas herausbekommen, einer Sache/Fragestellung auf den Grund gehen; (etwas) durchhalten, etwas vollenden; eine Arbeitshaltung kultivieren (sich Arbeitsschritte vornehmen, Arbeitserfolg kontrollieren).

**Lernkompetenz / wissenschaftspropädeutische Kompetenzen:** eigenes Lernen reflektieren („Lernen lernen“) und selbst regulieren; Lernstrategien sowohl der Zielsetzung und Zielbindung als auch der Selbstbeobachtung (*self-monitoring*) anwenden; Probleme im Lernprozess wahrnehmen, analysieren und Lösungsstrategien entwickeln; eine positive Fehler-Kultur aufbauen; sich im Spannungsverhältnis zwischen Fremd- und Selbstbestimmung orientieren; fachliches Wissen nutzen und bewerten und dabei seine Perspektivität reflektieren, dabei verschiedene Stufen von Erkenntnis und Wissen erkennen und zwischen diesen differenzieren, auf einem entwickelten/gesteigerten Niveau abstrahieren; in Modellen denken und modellhafte Vorstellungen als solche erkennen; Verfahren und Strategien der Argumentation anwenden, Zitierweisen beherrschen.

**Sprachkompetenzen (im Sinne eines erweiterten Sprachbegriffs):** unterschiedliche Zeichensysteme beherrschen (*literacy*): Verkehrssprache, Fachsprache, Mathematik, Fremdsprachen, Naturwissenschaften, musisch-künstlerische Fächer, symbolisch-analoges Sprechen (wie etwa in religiösen Kontexten), Ästhetik, Informations- und Kommunikationstechnologien; sich in den unterschiedlichen Symbol- und Zeichengefügen ausdrücken und verständigen; Übersetzungsleistungen erbringen: Verständigung zwischen unterschiedlichen Sprachniveaus und Zeichensystemen ermöglichen.

**b) Soziale Kompetenzen:** sich verständigen und kooperieren; Verantwortung übernehmen und Rücksichtnahme praktizieren; im Team agieren; Konflikte aushalten, austragen und konstruktiv lösen; andere Perspektiven einnehmen; von Empathie geleitet handeln; sich durchsetzen; Toleranz üben; Zivilcourage zeigen: sich einmischen und in zentralen Fragen das Miteinander betreffend Stellung beziehen.

Dazu gehören

**wertbewusste Haltungen:** um Kategorien wie Respekt, Gerechtigkeit, Fairness, Kostbarkeit, Eigentum und deren Stellenwert für das Miteinander wissen; ökologisch nachhaltig handeln; mit friedlicher Gesinnung im Geiste der Völkerverständigung handeln, ethische Normen sowie kulturelle und religiöse Werte kennen, reflektieren und auf dieser Grundlage eine Orientierung für das eigene Handeln gewinnen; demokratische Normen und Werthaltungen im Sinne einer historischen Weltsicht reflektieren und Rückschlüsse auf das eigene Leben in der Gemeinschaft und zum Umgang mit der Natur ziehen; selbstbestimmt urteilen und handeln.

**interkulturelle Kompetenz:** Menschen aus verschiedenen soziokulturellen Kontexten und Kulturen vorurteilsfrei sowie im Handeln reflektiert und offen begegnen; sich kulturell unterschiedlich geprägter Identitäten, einschließlich der eigenen, bewusst sein; die unverletzlichen und unveräußerlichen Menschenrechte achten und sich an den wesentlichen Traditionen der Aufklärung orientieren; wechselnde kulturelle Perspektiven einnehmen, empathisch und offen das Andere erleben.

Mit Blick auf gesellschaftliche Entwicklungen und die vielfältigen damit verbundenen Herausforderungen für junge Erwachsene zielt der Erwerb fachlicher und überfachlicher Kompetenzen insbesondere auf die folgenden **drei gesellschaftlichen Dimensionen**, die von übergreifender Bedeutung sind:

**Demokratie und Teilhabe / zivilgesellschaftliches Engagement:** sozial handeln, politische Verantwortung übernehmen; Rechte und Pflichten in der Gesellschaft wahrnehmen; sich einmischen, mitentscheiden und mitgestalten; sich persönlich für Einzelne und/oder das Gemeinwohl engagieren (aktive Bürgerschaft); Fragen des Zusammenlebens der Geschlechter / Generationen / sozialen Gruppierungen / Kulturen reflektieren; Innovationspotenzial zur Lösung gesellschaftlicher Probleme des sozialen Miteinanders entfalten und einsetzen; entsprechende Kriterien des Wünschenswerten und Machbaren differenziert bedenken.

**Nachhaltigkeit / Lernen in globalen Zusammenhängen:** globale Zusammenhänge bezogen auf ökologische, soziale und ökonomische Fragestellungen wahrnehmen, analysieren und darüber urteilen; Rückschlüsse auf das eigene Handeln ziehen; sich mit den Fragen, die im Zusammenhang des wissenschaftlich-technischen Fortschritts aufgeworfen werden, auseinandersetzen; sich dem Diskurs zur nachhaltigen Entwicklung stellen, sich für nachhaltige Entwicklung engagieren.

#### **Selbstbestimmtes Leben in der digitalisierten Welt:**

**Lernkompetenz:** digitale Werkzeuge zur Organisation von Lernprozessen nutzen (zum Beispiel Dateiablage, zieltreue Nutzung von Programmen, Recherche, Gestaltung, Zugriff auf Arbeitsmaterialien über das Internet beziehungsweise schulische Intranet); digitale Bearbeitungswerzeuge handhaben und zur Ergebnisdarstellung nutzen; beim Lernen digital kommunizieren und sich vernetzen (zum Beispiel über Messengerdienste, Videochats) sowie sich gegenseitig unterstützen und sich dabei gegenseitig Lern- und Lösungsstrategien erklären. Medienkompetenz ist heutzutage genauso wichtig wie Lesen, Schreiben und Rechnen. Die Digitalisierung spielt dabei eine zentrale Rolle bei der Vermittlung von digitalen Medien und bereitet die Schüler auf die sich ständig verändernde Lebenswelt vor. Die prozessbezogenen Kompetenzen umfassen Fähigkeiten wie das Strukturieren und Modellieren, Implementieren, Kommunizieren und Darstellen sowie Begründen und Bewerten. Diese Kompetenzen bilden eine Grundlage für lebenslanges Lernen und die Anpassung an den Wandel in der Digitalisierung.

Die Lernenden sollen die Funktionsweise und Struktur von Informatiksystemen verstehen, diese konstruieren können und sich mit den Wechselwirkungen zwischen Digitalisierung, Medienerziehung und Gesellschaft auseinandersetzen. Dabei stellt der Umgang mit Informatiksystemen und Digitalisierungs-Werkzeugen eine grundlegende Qualifikation für die Teilhabe an der Gesellschaft und insbesondere in der Berufswelt dar. Prozess- und inhaltsbezogene Kompetenzen, wie z.B. Daten und ihre Spuren, Computerkompetenz, algorithmisches Problemlösen und automatisierte Prozesse sind Bestandteil des Unterrichts.

**Personal/Sozial:** den Einfluss von digitaler Kommunikation auf eigenes Erleben, soziale Interaktion und persönliche Erfahrungen wahrnehmen und reflektieren; damit verbundene Chancen und Risiken erkennen; Unterschiede zwischen unmittelbaren persönlichen Erfahrungen und solchen in „digitalen Welten“ identifizieren; in der mediatisierten Welt eigene Bedürfnisse wahrnehmen und Interessen vertreten; Möglichkeiten und Risiken digitaler Umgebungen in unterschiedlichen Lebensbereichen (Alltag, soziale Beziehungen, Kultur, Politik) kennen, reflektieren und berücksichtigen: zum Beispiel in sozialen Medien; Umgangsregeln bei digitaler Interaktion kennen und anwenden; Urheberrechte wahren; auch im „online-Modus“ ethisch verantwortungsvoll handeln, das heißt unter anderem einen selbstbestimmten Umgang mit sozialen Netzwerken im Spannungsfeld zwischen Wahrung der Privatsphäre und Teilhabe an einer globalisierten Öffentlichkeit praktizieren.

## 2 Bildungsbeitrag und didaktische Grundlagen des Faches

### 2.1 Beitrag des Faches zur Bildung

Die naturwissenschaftlichen Fächer befassen sich mit der kognitiv-instrumentellen Modellierung der Welt als einem Modus der Weltbegegnung und des Weltverständens (vergleiche Abschnitt 1.1). Sie umfassen damit die empirisch erfassbare, in formalen Strukturen beschreibbare und durch Technik gestaltbare Wirklichkeit sowie die Verfahrens- und Erkenntnisweisen, die ihrer Erschließung und Gestaltung dienen.

Naturwissenschaftliche Bildung gehört zu den konstitutiven Bestandteilen unserer Kultur und umfasst grundlegende und spezifische Denkstrukturen und Sichtweisen, die eine differenzierte Betrachtung der natürlichen und technischen Umwelt in ihrer Beziehung zum Menschen ermöglicht. Sie befähigt die Lernenden, ihre Umwelt in einer naturwissenschaftlichen Perspektive zu erschließen und in ihr reflektiert zu handeln. Naturwissenschaftliche Bildung ist daher eine Voraussetzung für eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung. Sie leistet einen essenziellen Beitrag für die persönliche Entwicklung des Einzelnen und kann anschlussfähige Grundlagen für ein Lernen in Beruf und Studium sowie Perspektiven für den späteren Werdegang eröffnen. In der gymnasialen Oberstufe beinhaltet die naturwissenschaftliche Bildung das Verständnis für den Vorgang der Abstraktion und Idealisierung, die Fähigkeit zu empirisch begründeten Schlussfolgerungen, Sicherheit im Umgang mit Kalkülen, Einsichten in die Mathematisierung von Sachverhalten und die Besonderheiten naturwissenschaftlicher Methoden, Entwicklung von Modellvorstellungen und deren Anwendung auf die belebte und unbelebte Natur sowie das Verständnis naturwissenschaftlicher Theorien in ihrer Funktion der Beschreibung und Erklärung naturwissenschaftlicher Zusammenhänge.

Im Fach Physik erlangen die Lernenden grundlegende Einsichten in den Aufbau und damit in die innere Struktur der materiellen Welt sowie in die gesetzmäßige, räumliche und auch zeitliche Interdependenz ihrer Teile. Die Physik bemüht sich darum, naturwissenschaftliche Aussagen über die Beschaffenheit der Welt zu formulieren, die unabhängig von der soziokulturellen Entwicklung einer Gesellschaft ist. Physikalische Bildung ermöglicht neben einem tieferen Verständnis der unbelebten Natur auch eine reflektierte Einschätzung der Nutzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und dient dem verantwortungsbewussten gesellschaftlichen Handeln. Dies bedeutet, auf Basis eines grundlegenden Wissens über Physik und Technik gesellschaftliche Probleme naturwissenschaftlichen Inhalts verstehen und entsprechend verantwortungsbewusst und nachhaltig handeln zu können. Physikalische Bildung ermöglicht dem Individuum, an sachbezogenen öffentlichen Diskussionen zu physikalischen Technologien teilzunehmen und an demokratischen Entscheidungsprozessen teilzuhaben.

Im Fach Physik setzen sich die Lernenden mit physikalischen Inhalten auseinander und nutzen Modelle und Theorien zur Erklärung physikalischer Phänomene. Sie vertiefen so ihr Verständnis der Naturwissenschaft Physik als theoriegeleiteter Erfahrungswissenschaft, die Vorgänge über die menschliche Wahrnehmung hinaus durch (digitale) Messtechnik erfahrbar und durch Modelle beschreibbar macht. Die Lernenden verstehen die Beobachtung als selektives Wahrnehmen, beurteilen physikalische Messmethoden und Nachweise in ihrer Reichweite und Zuverlässigkeit. Sie erfahren im Unterricht die Bedeutung der abstrahierenden, idealisierenden und formalisierten Beschreibung von Prozessen und Systemen, indem sie regelmäßig mathematisch modellieren und Vorhersagen treffen. Gleichzeitig sind sich die Lernenden der begrenzten Gültigkeit der Modelle bewusst, lernen mit der physikalischen Systematik umzugehen und sich mit der wissenschaftlichen Arbeitsweise auseinanderzusetzen. Dies zielt darauf, dass

die Lernenden die Auswirkungen der aus physikalischen Erkenntnissen hervorgegangenen technischen Entwicklungen auf verschiedene Lebensbereiche einschätzen können. Damit verbunden ist die Einsicht, dass Physik und Technik infolge ihrer mitunter rasanten Entwicklung das zunehmend technisierte und digitalisierte Leben in einer modernen Gesellschaft prägen und Eingang in viele berufliche Tätigkeitsfelder gefunden haben und zunehmend finden werden.

Wesentliches Anliegen des Physikunterrichts ist neben dem Erwerb fachlicher (vergleiche Abschnitt 3.2) und überfachlicher Kompetenzen (vergleiche Abschnitt 1.3) im Besonderen die Betrachtung exemplarischer Unterrichtsgegenstände (vergleiche Abschnitt 3.3) mit der Maßgabe, deren verschiedene, sich ergänzende fachliche Aspekte (vergleiche Abschnitt 3.2) in ein schlüssiges Gesamtbild zu fügen. Darüber hinaus eröffnet den Lernenden das fachübergreifende und fächerverbindende Lernen ein Verstehen in größeren Sinnzusammenhängen mit dem Ziel der reflexiven Beschäftigung mit den verschiedenen Modi der Weltbegegnung und des Weltverständens (vergleiche Abschnitt 1.1).

## 2.2 Kompetenzmodell

Das Modell der naturwissenschaftlichen Kompetenz unterstützt die Übersetzung von Bildungszielen in Unterrichtsvorhaben und in Aufgabenstellungen für Prüfungen. Es stellt somit ein Bindeglied zwischen Bildungszielen und Aufgaben im Unterricht beziehungsweise in Prüfungssituationen dar.

Das Fach Physik betreffend wird im Kompetenzmodell unterschieden zwischen den **Kompetenzbereichen** Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz (Abschnitte 2.3 und 3.2), die wesentliche Bereiche naturwissenschaftsbezogenen Arbeitens und Reflektierens beschreiben, den **Basiskonzepten** Erhaltung und Gleichgewicht, Superposition und Komponenten, Mathematisieren und Vorhersagen sowie Zufall und Determiniertheit (Abschnitt 2.4), die die Vernetzung fachlicher Inhalte ermöglichen, sowie den unterschiedlichen **Anforderungsniveaus** in Grund- und Leistungskurs, die für jeden Kompetenzbereich in Abschnitt 3.3 gegeneinander abgegrenzt werden.

Die Inhalte, an denen die Kompetenzen erworben werden sollen, sind im Abschnitt 3.3 aufgeführt. Sie sind in Themenfelder strukturiert, welche den inhaltlichen Kern der jeweiligen Kurshalbjahre bilden. Für die Einführungsphase werden die Themen der beiden Kurshalbjahre zu einem Jahresthema zusammengefasst. Für die Qualifikationsphase sind die angegebenen Themen zeitlich konkreten Kurshalbjahren zugeordnet. Innerhalb der Themenfelder der Qualifikationsphase ist eine Niveaudifferenzierung in Grund- und Leistungskurs im Rahmen der inhaltlichen Angaben ausgewiesen.

Anforderungsbereiche sind kein Bestandteil fachspezifischer Kompetenzbereiche, sondern ein Merkmal von Aufgaben und werden an anderer Stelle beschrieben (vergleiche § 25 Absatz 4 der Oberstufen- und Abiturverordnung (OAVO) in der jeweils geltenden Fassung).

### 2.3 Kompetenzbereiche

Die Kompetenzbereiche sind in Teilbereiche gegliedert (siehe nachfolgend dargestellte Übersichtstabelle). Für jeden Teilbereich werden abschlussbezogene Bildungsstandards in Form von Regelstandards (Abschnitt 3.2) angegeben. Sie definieren, welche Kompetenzen Lernende „in der Regel“ beziehungsweise im Durchschnitt in einem Fach erreichen sollen. Die Kompetenzbereiche, ihre Teilbereiche und die zugehörigen Bildungsstandards werden aus den Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18. Juni 2020) übernommen. Sie knüpfen an die Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss an und entwickeln diese spezifisch für die gymnasiale Oberstufe weiter.

Die in der Sekundarstufe I erworbenen Kompetenzen und Inhalte bilden die Grundlage für die unterrichtliche Arbeit in der Sekundarstufe II. Die in Abschnitt 3.2 aufgeführten Bildungsstandards sind abschlussbezogen formuliert. Damit diese von den Lernenden erreicht werden können, ist der fachbezogene Kompetenzerwerb über die gesamte Lernzeit der gymnasialen Oberstufe zu fördern.

Die Bildungsstandards sind so formuliert, dass sie bezüglich der konkreten Lerninhalte variabel interpretiert werden können. In Lern- und Prüfungssituationen ist die inhaltliche Anbindung der Kompetenzen durch die ausgewiesenen Inhalte der Kurshalbjahre (vergleiche Abschnitt 3.3) gegeben. Die Verben in den Standards beschreiben zu erwerbende Kompetenzen. Sie sind nicht gleichzusetzen mit Operatoren in Aufgaben, stehen aber nicht im Widerspruch zu diesen.

Die Bildungsstandards sind nicht nach Anforderungsniveaus differenziert formuliert. Die unterschiedlichen Anforderungen für den Grundkurs und den Leistungskurs in den Bildungsstandards ergeben sich durch die in Abschnitt 3.3 genannten Aspekte und vertiefenden Inhalte in den Themenfeldern.

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.

Die folgende Tabelle stellt die Kompetenzbereiche und Teilbereiche im Fach Physik im Überblick dar. Den Bildungsstandards werden in Abschnitt 3.2 Kennziffern zugeordnet, auf die sich die rechte Spalte der Tabelle bezieht.

Kompetenzbereiche	Teilbereiche	Bildungsstandards
Sachkompetenz (S)	Modelle und Theorien zur Bearbeitung von Aufgaben und Problemen nutzen	S 1–3
	Verfahren und Experimente zur Bearbeitung von Aufgaben und Problemen nutzen	S 4–7
Erkenntnisgewinnungskompetenz (E)	Fragestellungen und Hypothesen auf Basis von Beobachtungen und Theorien bilden	E 1–2
	Fachspezifische Modelle und Verfahren charakterisieren, auswählen und zur Untersuchung von Sachverhalten nutzen	E 3–5
	Erkenntnisprozesse und Ergebnisse interpretieren und reflektieren	E 6–9
	Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren	E 10–11
Kommunikationskompetenz (K)	Informationen erschließen	K 1–3
	Informationen aufbereiten	K 4–7
	Informationen austauschen und wissenschaftlich diskutieren	K 8–10
Bewertungskompetenz (B)	Sachverhalte und Informationen multiperspektivisch beurteilen	B 1–2
	Kriteriengeleitet Meinungen bilden und Entscheidungen treffen	B 3–4
	Entscheidungsprozesse und Folgen reflektieren	B 5–8

### 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, zum Beispiel 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.

### **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 beziehungsweise 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.

### **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 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- beziehungsweise Erkenntnisgewinnungskompetenz, die Berücksichtigung von außerfachlichen Aspekten für die Meinungsbildung und die Entscheidungsfindung ist in den Bildungsstandards im Kompetenzbereich Bewerten enthalten.

### **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 beziehungsweise 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 (zum Beispiel 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 zum Beispiel der Anwendbarkeit eines Modells, der Güte von Experimentierergebnissen oder der Korrektheit fachwissenschaftlicher Argumentationen den anderen drei Kompetenzbereichen zugeordnet sind.

### **Kompetenzerwerb in fachübergreifenden und fächerverbindenden Zusammenhängen**

Fachübergreifende und fächerverbindende Lernformen ergänzen fachliches Lernen in der gymnasialen Oberstufe und sind unverzichtbarer Bestandteil des Unterrichts (vergleiche § 7 Absatz 7 OAVO). In diesem Zusammenhang gilt es insbesondere auch, die Kompetenzbereiche der Fächer zu verbinden und dabei zugleich die Dimensionen überfachlichen Lernens

sowie die besonderen Bildungs- und Erziehungsaufgaben, erfasst in Aufgabengebieten (vergleiche § 6 Absatz 4 Hessisches Schulgesetz (HSchG)), zu berücksichtigen. So können Synergienmöglichkeiten ermittelt und genutzt werden. Für die Lernenden ist diese Vernetzung zugleich Voraussetzung und Bedingung dafür, Kompetenzen in vielfältigen und vielschichtigen inhaltlichen Zusammenhängen und Anforderungssituationen zu erwerben.

Damit sind zum einen Unterrichtsvorhaben gemeint, die mehrere Fächer gleichermaßen berühren und unterschiedliche Zugangsweisen der Fächer integrieren. So lassen sich zum Beispiel in Projekten – ausgehend von einer komplexen problemhaltigen Fragestellung – fachübergreifend und fächerverbindend und unter Bezugnahme auf die drei herausgehobenen überfachlichen Dimensionen komplexere inhaltliche Zusammenhänge und damit Bildungsstandards aus den unterschiedlichen Kompetenzbereichen der Fächer erarbeiten (vergleiche Abschnitt 1.3). Zum anderen können im Fachunterricht Themenstellungen bearbeitet werden, die – ausgehend vom Fach und einem bestimmten Themenfeld – auch andere, eng verwandte Fächer berühren. Dies erweitert und ergänzt die jeweilige Fachperspektive und trägt damit zum vernetzten Lernen bei.

## 2.4 Strukturierung der Fachinhalte und Basiskonzepte

Die Fachinhalte sind in Themenfelder gegliedert und den Kurshalbjahren zugeordnet.

Der Beschreibung von physikalischen Sachverhalten liegen fachspezifische Gemeinsamkeiten zugrunde, die sich in Form von Basiskonzepten strukturieren lassen. Die Basiskonzepte im Fach Physik ermöglichen somit eine 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.

Die Basiskonzepte werden aus den Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18. Juni 2020) übernommen. Sie berücksichtigen die Ziele des Unterrichts der gymnasialen Oberstufe in besonderer Weise und sind anschlussfähig an die Basiskonzepte der Sekundarstufe I (vergleiche Bildungsstandards und Inhaltsfelder. Das neue Kerncurriculum für Hessen. Sekundarstufe I / Gymnasium. Physik).

Im Fach Physik werden folgende Basiskonzepte unterschieden:

- **Erhaltung und Gleichgewicht**
- **Superposition und Komponenten**
- **Mathematisieren und Vorhersagen**
- **Zufall und Determiniertheit**

Die Basiskonzepte liegen allen Themenfeldern zugrunde und sollen in allen Kurshalbjahren in der oben beschrieben Weise in den Unterricht einfließen. Als Beispiel kann das Basiskonzept

Mathematisieren und Vorhersagen dienen, das in allen Kurshalbjahren eine zentrale Bedeutung besitzt und auf das im Leistungskursunterricht in besonderer Weise Bezug genommen wird.

In Abschnitt 3.3 werden dem Kursjahr der E-Phase und jedem Kurshalbjahr der Q-Phase zwei Basiskonzepte (der Q4 eines) zugeordnet, die in den jeweiligen Themenfeldern eine zentrale Rolle einnehmen.

Im folgenden Abschnitt werden alle Basiskonzepte näher erläutert und neben einer fachlichen Beschreibung auch exemplarisch Anwendungssituationen aufgeführt.

### **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 zum Beispiel der Energie- und der Impulserhaltungssatz eine wesentliche Rolle. Das Basiskonzept Erhaltung und Gleichgewicht ermöglicht einen auch quantifizierenden Zugang zu Themen wie zum Beispiel der Beschleunigung geladener Teilchen im elektrischen Feld parallel zur Feldrichtung, dem Millikan-Versuch im Schwebefall, dem Hall-Effekt, der Gegenfeldmethode bei der Fotozelle, dem Franck-Hertz-Versuch, der Energieabgabe beziehungsweise -aufnahme von Atomen durch Emission beziehungsweise Absorption von Photonen.

Dieses Basiskonzept soll bei der Erarbeitung der Inhalte der Einführungsphase in besonderem Maße angewendet und thematisiert werden.

### **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 zum Beispiel bei der Kräfteaddition, bei der Vektorsumme von Feldstärken, bei der Bewegung von geladenen Teilchen in Feldern, beim Induktionsgesetz, bei der Interferenz von Wellen oder bei der Polarisation verwendet. Darüber hinaus ist die Superposition ein zentraler Begriff in der Quantenphysik.

Dieses Basiskonzept soll bei der Erarbeitung der Inhalte des Kurshalbjahrs Q1 in besonderem Maße angewendet und thematisiert werden.

### **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, zum Beispiel bei der Beschreibung von Bewegungen, bei den Lade- und Entladevorgängen von Kondensatoren, bei Schwingungen oder bei Induktionsvorgängen.

Dieses Basiskonzept soll bei der Erarbeitung der Inhalte der Einführungsphase in besonderem Maße angewendet und thematisiert werden.

### 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, zum Beispiel als Messunsicherheit, als statistische Verteilung physikalischer Größen oder im Zusammenhang mit Quantenobjekten.

In der Atomphysik ist zum Beispiel bei einer Gasentladungsrohre der Zeitpunkt der Emission eines Photons durch ein einzelnes Atom 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.

Dieses Basiskonzept soll bei der Erarbeitung der Inhalte des Kurshalbjahrs Q4 in besonderem Maße angewendet und thematisiert werden.

### 3 Bildungsstandards und Unterrichtsinhalte

#### 3.1 Einführende Erläuterungen

Nachfolgend werden die am Ende der gymnasialen Oberstufe erwarteten fachlichen Kompetenzen in Form von Bildungsstandards, gegliedert nach Kompetenzbereichen (Abschnitt 3.2), aufgeführt. Die verbindlichen Unterrichtsinhalte (Abschnitt 3.3) werden in Kurshalbjahre und Themenfelder strukturiert. Diese sind durch verbindlich zu bearbeitende inhaltliche Aspekte konkretisiert und durch ergänzende Erläuterungen didaktisch fokussiert; zusätzliche methodische Anmerkungen stellen eine Anregung für eine Ausgestaltung der Inhalte dar.

Im Unterricht werden Bildungsstandards und Themenfelder so zusammengeführt, dass die Lernenden in unterschiedlichen inhaltlichen Kontexten die Bildungsstandards – je nach Schwerpunktsetzung – erarbeiten können. Mit wachsender Komplexität der fachlichen Zusammenhänge und der kognitiven Operationen entwickeln sie in entsprechend gestalteten Lernumgebungen ihre fachlichen Kompetenzen weiter.

Die Themenfelder bieten die Möglichkeit – im Rahmen der Unterrichtsplanung didaktisch-methodisch aufbereitet – jeweils in thematische Einheiten umgesetzt zu werden. Zugleich lassen sich, themenfeldübergreifend, inhaltliche Aspekte der Themenfelder, die innerhalb eines Kurshalbjahres vielfältig miteinander verschränkt sind und je nach Kontext auch aufeinander aufbauen können, in einen unterrichtlichen Zusammenhang stellen.

Themenfelder und inhaltliche Aspekte sind über die Kurshalbjahre hinweg so angeordnet, dass im Verlauf der Lernzeit – auch Kurshalbjahre übergreifend – immer wieder Bezüge zwischen den Themenfeldern hergestellt werden können. In diesem Zusammenhang bieten die Basiskonzepte (vergleiche die ausführliche Darstellung in Abschnitt 2.4) Orientierungshilfen, um fachliches Wissen zu strukturieren, anschlussfähig zu machen und zu vernetzen.

Die Bildungsstandards sind nicht nach Kursen auf grundlegendem Niveau (Grund- und Leistungskurs) und auf erhöhtem Niveau (Leistungskurs) differenziert. Hingegen werden in den Kurshalbjahren der Qualifikationsphase die Fachinhalte nach grundlegendem Niveau (Grundkurs und Leistungskurs) und erhöhtem Niveau (Leistungskurs) unterschieden. Die jeweils fachbezogenen Anforderungen, die an Lernende in Grund- und Leistungskurs gestellt werden, unterscheiden sich wie folgt: „Grundkurse vermitteln grundlegende wissenschaftspropädeutische Kenntnisse und Einsichten in Stoffgebiete und Methoden, Leistungskurse exemplarisch vertieftes wissenschaftspropädeutisches Verständnis und erweiterte Kenntnisse“ (§ 8 Absatz 2 OAVO).

Im Unterricht ist ein Lernen in Kontexten anzustreben. Lernen in Kontexten bedeutet, dass Fragestellungen aus der Forschung, technische und gesellschaftliche Fragestellungen und solche aus der Lebenswelt der Lernenden den Rahmen für Unterricht und Lernprozesse bilden. Geeignete Kontexte beschreiben Situationen mit Problemen, deren Relevanz für die Lernenden erkennbar ist und die mit den zu erwerbenden Kompetenzen gelöst werden können.

### 3.2 Bildungsstandards

#### Kompetenzbereich: Sachkompetenz (S)

##### 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 beziehungsweise 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.

#### Kompetenzbereich: Erkenntnisgewinnungskompetenz (E)

##### 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 (zum Beispiel Reproduzierbarkeit, Falsifizierbarkeit, Intersubjektivität, logische Konsistenz, Vorläufigkeit).

**Kompetenzbereich: Kommunikationskompetenz (K)****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.

### Kompetenzbereich: Bewertungskompetenz (B)

#### 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 außeraufachlichen 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.

### 3.3 Kurshalbjahre und Themenfelder

Dem Unterricht in der **Einführungsphase** kommt mit Blick auf den Übergang in die Qualifikationsphase eine Brückenfunktion zu. Zum einen erhalten die Lernenden die Möglichkeit, das in der Sekundarstufe I erworbene Wissen und Können zu festigen und zu vertiefen beziehungsweise zu erweitern (Kompensation) sowie Neigungen und Stärken zu identifizieren, um auf die Wahl der Grundkurs- und Leistungskursfächer entsprechend vorbereitet zu sein. Zum anderen werden sie an das wissenschaftspropädeutische Arbeiten herangeführt. Damit wird eine solide Ausgangsbasis geschaffen, um in der Qualifikationsphase erfolgreich zu lernen. Die Themenfelder der Einführungsphase sind dementsprechend ausgewählt und bilden die Basis für die Qualifikationsphase.

In der **Qualifikationsphase** erwerben die Lernenden eine solide Wissensbasis sowohl im Fachunterricht als auch in fachübergreifenden und fächerverbindenden Zusammenhängen und wenden ihr Wissen bei der Lösung zunehmend anspruchsvoller und komplexer Frage- und Problemstellungen an. Dabei erschließen sie Zusammenhänge zwischen Wissensbereichen und erlernen Methoden und Strategien zur systematischen Beschaffung, Strukturierung und Nutzung von Informationen und Materialien. Der Unterricht in der Qualifikationsphase zielt auf selbstständiges und eigenverantwortliches Lernen und Arbeiten sowie auf die Weiterentwicklung der Kommunikationsfähigkeit; der Erwerb einer angemessenen Fachsprache ermöglicht die Teilhabe am fachbezogenen Diskurs. In diesem Kontext beschreiben die Bildungsstandards und die verbindlichen Themenfelder die Leistungserwartungen für das Erreichen der Allgemeinen Hochschulreife. Durch die Wahl von Grund- und Leistungskursen ist die Möglichkeit gegeben, individuelle Schwerpunkte zu setzen und auf unterschiedlichen Anspruchsebenen zu lernen.

#### Verbindliche Regelungen zur Bearbeitung der Themenfelder

##### Einführungsphase

In der Einführungsphase sind die Themenfelder 1 bis 3 verbindliche Grundlage des Unterrichts. Die „zum Beispiel“-Nennungen in den Themenfeldern dienen der inhaltlichen Anregung und sind nicht verbindlich. Soweit sich eine bestimmte Reihenfolge der Themenfelder nicht aus fachlichen Erfordernissen ableitet, kann die Reihenfolge frei gewählt werden. In jedem Fall ist aber mindestens eines der verbindlichen Themenfelder im zweiten Kurshalbjahr zu bearbeiten. Für die Bearbeitung der verbindlichen Themenfelder sind etwa zwei Drittel der gemäß OAVO zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit – in der Regel circa 24 Unterrichtswochen – vorgesehen. Die verbleibende Unterrichtszeit bietet die Möglichkeit, Aspekte der verbindlichen Themenfelder zu vertiefen oder zu erweitern, und den notwendigen Zeitrahmen für Unterrichtsvorhaben, die in besonderer Weise auf den Kompetenzerwerb in den einzelnen Kompetenzbereichen ausgerichtet sind. Darüber hinaus kann diese Zeit auch zur Bearbeitung eines nicht verbindlichen Themenfeldes genutzt werden.

##### Qualifikationsphase

Verbindliche Grundlage des Unterrichts sind im Kurshalbjahr Q1 die Themenfelder 1 und 2, in den Kurshalbjahren Q2 und Q3 die Themenfelder 1 bis 3, die den dafür vorgesehenen zeitlichen Rahmen abdecken, und im Kurshalbjahr Q4 das Themenfeld 1. Insgesamt gibt es neun verbindliche Themenfelder für die schriftlichen Abiturprüfungen. Durch Erlass können Schwerpunkte sowie Konkretisierungen innerhalb dieser Themenfelder ausgewiesen werden. Je nach

Länge der Kurshalbjahre Q1 bis Q4 können Teile eines der Themenfelder zwischen zwei aufeinanderfolgenden Halbjahren verschoben werden.

Die „zum Beispiel“-Nennungen in den Themenfeldern dienen der inhaltlichen Anregung und sind nicht verbindlich. Inhalte im Kontext der Formulierung „am Beispiel“ sind hingegen verbindlich. Soweit sich eine bestimmte Reihenfolge der Themenfelder nicht aus fachlichen Erfordernissen ableitet, kann die Reihenfolge innerhalb eines Kurshalbjahres frei gewählt werden.

### Differenzierung zwischen Grund- und Leistungskursen

Gemeinsames Ziel von Grund- und Leistungskursen in den naturwissenschaftlichen Fächern ist die Förderung und Entwicklung grundlegender Kompetenzen als Teil der Allgemeinbildung und Voraussetzung für Studium und Beruf. Daher werden für beide Kursarten gemeinsame Könnenserwartungen (vergleiche Abschnitt 3.2) in Form von Bildungsstandards formuliert. Diese Kompetenzen erfahren im Unterricht und in Prüfungen durch eine Verschränkung mit den nach Grund- und Leistungskurs differenzierten Inhalten (vergleiche Abschnitt 3.3) auch eine Differenzierung im Leistungsniveau. Ein exemplarisches Arbeiten lässt Zusammenhänge im Fach und über dessen Grenzen hinaus erkennbar werden.

Grund- und Leistungskurse führen in grundlegende Fragestellungen, Sachverhalte, Problemkomplexe und Strukturen ein. Sie machen dabei wesentliche Arbeits- und Fachmethoden sowie Darstellungsformen bewusst und erfahrbar. Der Unterricht in Grundkursen fördert durch lebensweltliche Bezüge Einsicht in die Bedeutung des Faches sowie durch schülerzentriertes und handlungsorientiertes Arbeiten die Selbstständigkeit der Lernenden.

Zusätzlich vertiefen Leistungskurse die Inhalte, Modelle, Theorien und Arbeitsweisen, sodass die Komplexität und die vielfachen Aspekte des Faches noch deutlicher werden. Der Unterricht ist auf eine Beherrschung der Arbeits- und Fachmethoden, deren selbstständige Anwendung, Übertragung und Reflexion sowie auf ein exemplarisch vertieftes wissenschaftspropädeutisches Arbeiten ausgerichtet. Leistungskurse zielen auf einen hohen Grad an Selbsttätigkeit der Lernenden vor allem während des Experimentierens sowie des Erarbeitens fachlicher Kenntnisse und deren gesellschaftlicher und wissenschaftlicher Bezüge.

Die Anforderungen im Leistungskurs unterscheiden sich daher nicht nur quantitativ, sondern vor allem qualitativ von denen im Grundkurs. Dies zeigt sich in allen Kompetenzbereichen.

Im Bereich der Sachkompetenz äußert sich das erhöhte Anforderungsniveau im Leistungskurs darin, dass zu bestimmten Themen mehr Sachverhalte eventuell in höherer Komplexität der verwendeten Modelle detaillierter betrachtet werden und eine deutlich umfangreichere und tiefere Mathematisierung genutzt wird.

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.

Im Bereich der Kommunikationskompetenz besitzen die Lernenden des erhöhten Anforderungsniveaus 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.

## Übersicht über die Themen der Kurshalbjahre und die Themenfelder

### Einführungsphase (E)

<b>E1/E2 Mechanik</b>	
Themenfelder	
E.1	<b>Bewegungen und ihre Beschreibung</b>
E.2	<b>Newton'sche Axiome und Erhaltungssätze</b>
E.3	<b>Waagerechter Wurf und Kreisbewegung</b>
E.4	Weitere Bewegungen
E.5	Gravitation
E.6	Grundlagen der Thermodynamik
E.7	Drehbewegungen

**verbindlich:** Themenfelder 1 bis 3

### Qualifikationsphase (Q)

<b>Q1 Elektrisches und magnetisches Feld</b>	
Themenfelder	
Q1.1	<b>Elektrisches Feld</b>
Q1.2	<b>Magnetisches Feld</b>

**verbindlich:** Themenfelder 1 und 2, innerhalb dieser Themenfelder können durch Erlass Schwerpunkte sowie Konkretisierungen ausgewiesen werden; je nach Länge der Kurshalbjahre Q1 bis Q4 können Teile eines der Themenfelder zwischen zwei aufeinanderfolgenden Halbjahren verschoben werden.

<b>Q2 Schwingungen, Induktion und mechanische Wellen</b>	
Themenfelder	
Q2.1	<b>Mechanische Schwingungen</b>
Q2.2	<b>Induktion und elektromagnetische Schwingungen</b>
Q2.3	<b>Mechanische Wellen</b>

**verbindlich:** Themenfelder 1 bis 3; innerhalb dieser Themenfelder können durch Erlass Schwerpunkte sowie Konkretisierungen ausgewiesen werden; je nach Länge der Kurshalbjahre Q1 bis Q4 können Teile eines der Themenfelder zwischen zwei aufeinanderfolgenden Halbjahren verschoben werden.

<b>Q3 Elektromagnetische Wellen und Quantenphysik</b>	
Themenfelder	
Q3.1	<b>Elektromagnetische Wellen</b>
Q3.2	<b>Welle-Teilchen-Dualismus</b>
Q3.3	<b>Atomvorstellungen</b>

**verbindlich:** Themenfelder 1 bis 3; innerhalb dieser Themenfelder können durch Erlass Schwerpunkte sowie Konkretisierungen ausgewiesen werden; je nach Länge der Kurshalbjahre Q1 bis Q4 können Teile eines der Themenfelder zwischen zwei aufeinanderfolgenden Halbjahren verschoben werden.

<b>Q4 Struktur von Materie, Raum und Zeit</b>	
Themenfelder	
Q4.1	<b>Quantenobjekte</b>
Q4.2	Technische Anwendungen der Quantenphysik
Q4.3	Kernphysik
Q4.4	Spezielle Relativitätstheorie
Q4.5	Festkörperphysik
Q4.6	Astrophysik

**verbindlich:** Themenfeld 1; innerhalb des Themenfeldes können durch Erlass Schwerpunkte sowie Konkretisierungen ausgewiesen werden; je nach Länge der Kurshalbjahre Q1 bis Q4 können Teile eines der Themenfelder zwischen zwei aufeinanderfolgenden Halbjahren verschoben werden.

Im Zusammenhang der Bearbeitung der Themen der Kurshalbjahre und der Themenfelder des Faches lassen sich vielfältig Bezüge auch zu Themenfeldern anderer Fächer (innerhalb eines Kurshalbjahres) herstellen, um sich komplexeren Fragestellungen aus unterschiedlichen Fachperspektiven zu nähern. Auf diese Weise erfahren die Lernenden die Notwendigkeit und Wirksamkeit interdisziplinärer Kooperation und erhalten gleichzeitig Gelegenheit, ihre fachspezifischen Kenntnisse in anderen Kontexten zu erproben und zu nutzen. Dabei erwerben sie neues Wissen, welches die Fachdisziplinen verbindet. Dies bereitet sie auf den Umgang mit vielschichtigen und vielgestaltigen Problemlagen vor und fördert eine systemische Sichtweise. Durch fachübergreifende und fächerverbindende Themenstellungen können mit dem Anspruch einer stärkeren Lebensweltorientierung auch die Interessen und Fragestellungen, die junge Lernende bewegen, Berücksichtigung finden. In der Anlage der Themenfelder in den Kurshalbjahren sind – anknüpfend an bewährte Unterrichtspraxis – fachübergreifende und fächerverbindende Bezüge jeweils mitgedacht. Dies erleichtert die Kooperation zwischen den Fächern und ermöglicht interessante Themenstellungen.

---

## E1/E2 Mechanik

---

Den Lernenden begegnen im Alltag zahlreiche mechanische Vorgänge, etwa aus den Bereichen Verkehr oder Sport, welche der Beobachtung und Messung leicht zugänglich sind. Die Mechanik eignet sich daher besonders zur exemplarischen Erarbeitung der mathematischen Beschreibung dieser Vorgänge. Die Anwendung der Kenntnisse der Mechanik auf Alltagssituationen gibt den Lernenden Anlass, ihr Verhalten zum Beispiel im Straßenverkehr kritisch zu reflektieren und entsprechend anzupassen.

In der Analyse mechanischer Probleme stehen die Lernenden zunächst vor der Aufgabe, den physikalischen Kern eines Vorgangs herauszuarbeiten. Dies kann durch Untersuchung der wirkenden Kräfte oder der Energieformen und deren Umwandlungen erfolgen. Die Lernenden nutzen dazu gegebenenfalls Vereinfachungen und rechtfertigen diese. Werden quantitative Aussagen getätigt, müssen sie mathematische Gleichungen aufstellen und diese lösen. Die Unverzichtbarkeit mathematischer Verfahren wird insbesondere zur Lösung anspruchsvollerer Probleme auch des Alltags deutlich. Indem die Lernenden Modelle nutzen, diese gegebenenfalls modifizieren und die nötigen mathematischen Verfahren anwenden, wird ihnen deutlich, dass physikalische Modelle nicht nur die Basis zahlreicher technischer Anwendungen, sondern auch zum Verständnis vieler Alltagsphänomene nötig sind. Die regelmäßige Verwendung geeigneter Software erleichtert das Auswerten experimenteller Daten und veranschaulicht physikalische Sachverhalte.

Die klassische Mechanik basiert auf einem umfassenden Satz grundlegender Gesetze. Diese erschließen sich den Lernenden durch die Auseinandersetzung mit Modellvorstellungen, die Planung und Auswertung von Experimenten und die Anwendung damit verbundener mathematischer Verfahren. Ausgehend von diesem Fundament können die Lernenden quantitative Vorhersagen über die Entwicklung mechanischer Systeme machen. Der damit verbundene deterministische Anspruch, die Dynamik eines Systems bis in alle Zukunft beschreiben zu können, wurde erst im 20. Jahrhundert im Rahmen der Quantenmechanik und Chaostheorie relativiert.

Die gleichförmige und die gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung, die gleichförmige Kreisbewegung, die Newton'schen Axiome und die Erhaltungssätze bilden das Fundament zum Verständnis der Fachinhalte der Qualifikationsphase. Beispiele hierfür sind die Bewegung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern, mechanische Schwingungen und Wellen und die Veranschaulichung der Emission und Absorption von Photonen in einem Energieniveauschema.

Bezug zu den Basiskonzepten: Bei der Erarbeitung der Inhalte der Kurshalbjahre werden die Basiskonzepte **Mathematisieren und Vorhersagen** und **Erhaltung und Gleichgewicht** in besonderem Maße angewendet und thematisiert.

**Themenfelder**

---

**verbindlich:** Themenfelder 1 bis 3

---

**E.1 Bewegungen und ihre Beschreibung**

- Untersuchung von Bewegungen
- $t$ - $s$ -,  $t$ - $v$ - und  $t$ - $a$ -Diagramme
- gleichförmige Bewegung
  - Definition der Geschwindigkeit
  - Messung des Geschwindigkeitsbetrages (handlungsorientierter Versuch)
- gleichmäßig beschleunigte Bewegung ohne Anfangsgeschwindigkeit und Anfangsort
  - Definition der Beschleunigung
  - Durchschnittsgeschwindigkeit (Vergleich zur Momentangeschwindigkeit)
  - freier Fall (experimentelle Datenerhebung, grafische Darstellung, Bestimmung der Gravitationsbeschleunigung, Diskussion der Abweichung zum Literaturwert, Formulierung eines mathematischen Modells, Ermittlung des Zeit-Ort-Gesetzes)
- Idealisierung
  - Massenpunkt (Vernachlässigung von Rotation und Ausdehnung)
  - Vernachlässigung der Reibung
- Zeit-Ort- und Zeit-Geschwindigkeit-Gesetze und deren Zusammenhang (Herleitung / Ermittlung anhand der Diagramme)

**E.2 Newton'sche Axiome und Erhaltungssätze**

- die drei Newton'schen Axiome
  - Trägheitsgesetz
  - Grundgleichung der Mechanik:  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$
  - Wechselwirkungsprinzip (Abgrenzung gegen Kräftegleichgewicht)
  - Inertialsystem (Definition über das Trägheitsgesetz, kein Inertialsystem ist ausgezeichnet)
- Energie und Energieerhaltung
  - kinetische Energie (grafische Herleitung der Formel)
  - Erhaltung der Summe von kinetischer und potenzieller Energie bei Vernachlässigung der Reibung, energetisch abgeschlossene Systeme
- Impuls und Impulserhaltung
  - eindimensionaler elastischer Stoß mit einem ruhenden Stoßpartner (Schülerexperiment oder Demonstrationsexperiment, Beschreibung mittels Energieerhaltung)
  - Notwendigkeit einer weiteren Erhaltungsgröße, Begriff des Impulses
  - Rückstoß
  - inelastischer Stoß, dabei auftretende Energieumwandlungen

**E.3 Waagerechter Wurf und Kreisbewegung**

- Bezugssysteme, Superpositionsprinzip
  - waagerechter Wurf (Versuch, Darstellung der Flugbahn im x-y-Diagramm als Überlagerung)
- Bahn- und Winkelgeschwindigkeit bei Kreisbewegungen (Definition und Vergleich)
- Kreisbewegung
  - Zentripetalkraft als Ursache der Kreisbewegung (zum Beispiel Haftreibung bei Kurvenfahrten)
  - Scheinkraft

**E.4 Weitere Bewegungen**

- schiefer Wurf
- Reibung
  - geradlinige Bewegung mit Reibung
  - freier Fall mit Luftreibung (Herleitung der Grenzgeschwindigkeit)
- numerische Simulation
  - mathematisches Modell (in der Regel Gleichungen mit Differenzenquotienten)
  - Berechnung (zum Beispiel mittels Tabellenkalkulationsprogramm)

**E.5 Gravitation**

- Massenanziehung
  - Gravitationsfeld (Begriff des Feldes und Erweiterung des Begriffs der Kraft)
  - Gravitationsgesetz, Gewichtskraft
- Planetenbewegung
  - Kepler'sche Gesetze
  - geschichtliche Entwicklung des astronomischen Weltbildes

**E.6 Grundlagen der Thermodynamik**

- Wärmeenergie als innere Energie (Nutzen der Definition „innere Energie“, historischer Bezug)
- reversible und irreversible Vorgänge
- erster und zweiter Hauptsatz der Thermodynamik
- Entropieerzeugung und Wirkungsgrad (Entropie als Konzept, das die Richtung natürlicher Abläufe beschreibt)

**E.7 Drehbewegungen**

- Drehmoment
- Drehimpuls
  - Definition, Erhaltungsgröße
  - Präzessionsbewegung
- Trägheitsmoment
  - anwendungsbezogene Beispiele (zum Beispiel Pirouette)

---

## Q1 Elektrisches und magnetisches Feld

---

In diesem Kurshalbjahr vertiefen die Lernenden die in der Sekundarstufe I entwickelte Vorstellung von Feldern. Dies hilft ihnen, viele natürliche Phänomene und technische Anwendungen aus ihrer Lebenswelt wie zum Beispiel Gewitter oder Elektrizität zu erklären sowie elektrische und magnetische Phänomene quantitativ mittels des Begriffs der Feldstärke (beziehungsweise Flussdichte) zu beschreiben. Darüber hinaus ist die klassische Elektrodynamik ein Thema in vielen technischen und naturwissenschaftlichen Studiengängen. Das dabei zentrale Konzept der Differenzialgleichung wird im Leistungskurs thematisiert.

Die Lernenden setzen sich explizit mit dem Konzept Feld auseinander, welches von Faraday bei der Entwicklung der Elektrodynamik in besonderer Weise genutzt wurde und bis in die moderne Physik der Quantenfelder überaus erfolgreich angewendet wird. Durch den Begriff der Feldstärke (beziehungsweise Flussdichte) können sie das Feld quantitativ erfassen.

Die Lernenden knüpfen vor allem bei der Bewegung von Elektronen in elektrischen und magnetischen Feldern an ihre im vorhergehenden Schuljahr erworbenen Kenntnisse an. Es werden wichtige Grundlagen für das Verständnis zum Beispiel des elektromagnetischen Schwingkreises, der Abgrenzung des Wellenmodells vom Photonenmodell des Lichtes, der Gültigkeitsbereiche von Atommodellen sowie für das Verständnis großtechnischer Anlagen wie Kraftwerke oder Teilchenbeschleuniger gelegt.

Bezug zu den Basiskonzepten: Bei der Erarbeitung der Inhalte des Kurshalbjahres wird das Basiskonzept **Superposition und Komponenten** in besonderem Maße angewendet und thematisiert. Das Basiskonzept **Erhaltung und Gleichgewicht** wird aufgegriffen und weiter ausdifferenziert.

### Themenfelder

---

**verbindlich:** Themenfelder 1 und 2; innerhalb dieser Themenfelder können durch Erlass Schwerpunkte sowie Konkretisierungen ausgewiesen werden; je nach Länge der Kurshalbjahre Q1 bis Q4 können Teile eines der Themenfelder zwischen zwei aufeinanderfolgenden Halbjahren verschoben werden.

---

#### Q1.1 Elektrisches Feld

##### grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)

- Begriff des Feldes am Beispiel von elektrischen Feldern
  - grundlegende Eigenschaften eines Feldes, Definition des Begriffs „Feld“
  - Eigenschaften und Feldlinienbilder: homogenes Feld eines Plattenkondensators, radsymmetrisches Feld einer Punktladung
  - weitere Feldlinienbilder: Dipolfeld, Faraday'scher Käfig, Spitzeneffekt
  - Ladung als Erhaltungsgröße
  - Influenz bei Leitern (Experiment)
- elektrische Feldstärke
  - Definition der elektrischen Feldstärke:  $\vec{E} = \frac{\vec{F}_{\text{el}}}{q}$

- Feldstärke im radialsymmetrischen Feld
- Superposition von Feldern am Beispiel von elektrischen Feldern durch grafische Addition von Feldstärkevektoren
- Kondensator als Energiespeicher: elektrisches Feld, Kapazität, elektrische Energie
- Feldstärke im Plattenkondensator
- Zusammenhang zwischen Spannung und elektrischer Feldstärke im Plattenkondensator:  $E = \frac{U}{d}$
- Definition der Kapazität:  $C = \frac{Q}{U}$
- Abhängigkeit der Kapazität von den geometrischen Daten des Plattenkondensators und vom Dielektrikum (ohne Deutung der Vorgänge im Dielektrikum)  $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$ , mit  $\epsilon_r$  als materialabhängigem Proportionalitätsfaktor und  $\epsilon_0$  als Naturkonstante
- Definition der elektrischen Stromstärke als  $I = \dot{Q}$
- zeitlicher Verlauf der Stromstärke beim Auf- und Entladevorgang am Kondensator, Einfluss der Parameter Widerstand und Kapazität
- Energie des elektrischen Feldes eines Plattenkondensators:  $E_{el} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$
- Beispiel für eine Einsatzmöglichkeit des Kondensators als Energiespeicher
- Coulomb'sches Gesetz:  $F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$
- Kräfte auf Körper in homogenen elektrischen Feldern, Bahnformen (qualitativ), Energiebetrachtung
  - Kraft auf geladene Teilchen bei gegebener elektrischer Feldstärke
  - Millikan-Versuch im Schwebefall: Quantelung der Ladung
  - potenzielle Energie einer Probeladung im homogenen elektrischen Feld
  - Energiebetrachtung bei der Beschleunigung geladener Teilchen parallel zur Feldrichtung (quantitativ)
  - Bewegung geladener Teilchen bei Eintritt senkrecht zur Feldrichtung (qualitativ)

### **erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- Begriff des Feldes am Beispiel von elektrischen Feldern
  - Flächenladungsdichte  $\frac{Q}{A} = \sigma = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot E$
  - quantitative Superposition von Feldern am Beispiel von elektrischen Feldern für parallele und orthogonale Feldstärkevektoren
- Kondensator als Energiespeicher: elektrisches Feld, Kapazität, elektrische Energie
  - Polarisation bei Nichtleitern, Dielektrikum
  - $\epsilon_r$  als charakteristische Konstante des jeweiligen Dielektrikums

- mathematische Herleitung von  $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$  über die Flächenladungsdichte im Plattenkondensator
- Aufstellen der Differentialgleichung für die Entladung eines Kondensators und Lösung mithilfe eines Lösungsansatzes
- Spannung als Potenzialdifferenz
  - Begriff des elektrischen Potenzials, Äquipotenziallinien
  - Zusammenhang zwischen Spannung und elektrischer Feldstärke
- Kräfte auf Körper in homogenen elektrischen Feldern, Bahnformen, Energiebetrachtung
  - Bewegung geladener Teilchen bei Eintritt senkrecht zur Feldrichtung (quantitativ)
  - Vergleich mit waagerechtem Wurf
  - Energiebetrachtung bei der Beschleunigung geladener Teilchen parallel zur Feldrichtung am Beispiel des Linearbeschleunigers (Hintereinanderschaltung mehrerer Beschleunigungsstrecken, relativistische Massenzunahme als Phänomen)

## Q1.2 Magnetisches Feld

### grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)

- Begriff des Feldes am Beispiel von magnetischen Feldern
  - grundlegende Eigenschaften von magnetischen Feldern
  - Feldlinienbilder, unter anderem homogenes Feld, Dipolfeld, Feld eines geraden Leiters und einer stromdurchflossenen langen Spule (als weiteres Beispiel der Superposition von Feldern)
- magnetische Flussdichte
  - Definition der magnetischen Flussdichte:  $B = \frac{F}{I \cdot s}$
  - Flussdichte im Inneren einer langen Spule:  $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N \cdot \frac{I}{\ell}$ , mit  $\mu_0$  als Naturkonstante und  $\mu_r$  als materialabhängigem Proportionalitätsfaktor (Messung von Flussdichten auch bei Elektromagneten)
- Kräfte auf Körper in homogenen magnetischen Feldern, Bahnformen (qualitativ)
  - geladene Teilchen im homogenen magnetischen Feld, Bewegung geladener Teilchen bei Eintritt senkrecht und parallel zur Feldrichtung (quantitativ)
  - Lorentzkraft – neue Qualität einer Kraft:  $\vec{F} \perp \vec{v}$ ,  $\vec{F} \perp \vec{B}$
  - Lorentzkraft als Zentripetalkraft,
    - Kreisbahn von Elektronen im Fadenstrahlrohr:  $\frac{e}{m_e}$ -Bestimmung

**erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- quantitative Betrachtung von Bahnformen in homogenen Feldern
  - geladene Teilchen in orthogonal aufeinander stehenden, homogenen elektrischen und magnetischen Feldern in technischen Anwendungen: Geschwindigkeitsfilter
- Hall-Effekt
- Teilchenbeschleuniger (zum Beispiel Zyklotron, Synchrotron)

---

## Q2 Schwingungen, Induktion und mechanische Wellen

---

Kommunikationstechnologien nutzen die Lernenden alltäglich – sie sind aus ihrem Leben nicht mehr wegzudenken. Viele dieser Technologien basieren auf den Phänomenen Schwingungen und Wellen. Die Lernenden erfahren, dass sich Schwingungen als Wellen mit einer bestimmten Geschwindigkeit ausbreiten können. Sie beobachten, dass Wellen reflektiert werden und bei der Überlagerung von Wellen Interferenzerscheinungen auftreten können. Die Bedeutung der Interferenz wird den Lernenden durch Beispiele aus vielen Bereichen der Natur, Technik und Forschung deutlich, zum Beispiel bei der Ultraschallortung und der aktiven Geräuschunterdrückung. Stehende Wellen ermöglichen den Lernenden einen Zugang zum Verständnis des quantenmechanischen Atommodells und sind damit grundlegende Voraussetzung für einen Zugang zur modernen Physik.

Die Lernenden untersuchen zunächst einfache mechanische Schwingungen. Dazu müssen neue physikalische Größen eingeführt werden, die geeignet sind, Schwingungsvorgänge quantitativ zu erfassen. Aufbauend auf den in der Einführungsphase erworbenen Kompetenzen vertiefen die Lernenden zentrale Begriffe wie zum Beispiel den der Energie und modellieren schwingende Systeme mathematisch. Hierfür bieten sich auch numerische Methoden an. Bei der Übertragung ihrer Kenntnisse vom mechanischen Pendel auf den elektromagnetischen Schwingkreis nutzen die Lernenden im Leistungskurs Analogiebetrachtungen als typische Vorgehensweise der Physik und lernen, dass dieselben Konzepte und Methoden in zunächst ganz verschiedenen erscheinenden Bereichen angewendet werden können.

Während der Erarbeitung der Induktion nutzen die Lernenden ihre Kenntnisse über die im Mathematikunterricht erarbeitete Unterscheidung des Wertes einer Größe von ihrer Änderungsrate (beziehungsweise einer Funktion von ihrer Ableitung).

Durch die Auseinandersetzung mit den Themenfeldern dieses Kurshalbjahres können die Lernenden nachvollziehen, wie sich Mitte des 18. Jahrhunderts die Idee entwickelte, Phänomene durch Wechselwirkung kleiner Teilchen mit ihren unmittelbaren Nachbarn zu erklären. Diese Idee der Ausbreitung mechanischer Wellen ermöglicht zum Beispiel die Erklärung der Schallausbreitung mithilfe sich kontinuierlich ausbreitender Dichteschwankungen.

Bezug zu den Basiskonzepten: Bei der Erarbeitung der Inhalte des Kurshalbjahres werden die Basiskonzepte **Superposition und Komponenten** und **Mathematisieren und Vorhersagen** aufgegriffen und weiter ausdifferenziert.

### Themenfelder

---

**verbindlich:** Themenfelder 1 bis 3, innerhalb dieser Themenfelder können durch Erlass Schwerpunkte sowie Konkretisierungen ausgewiesen werden; je nach Länge der Kurshalbjahre Q1 bis Q4 können Teile eines der Themenfelder zwischen zwei aufeinanderfolgenden Halbjahren verschoben werden.

---

#### Q2.1 Mechanische Schwingungen

##### grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)

- mechanische harmonische Schwingungen: charakteristische Größen und ihre Zusammenhänge

- Schwingung als periodischer Vorgang
- charakteristische Größen: Auslenkung/Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz
- Zusammenhang zwischen Frequenz und Periodendauer
- Energieformen und Energieerhaltung in der reibungsfreien Idealisierung (qualitativ)
- zeitlicher Verlauf einer harmonischen Schwingung
  - lineare Rückstellkraft als Kriterium für harmonische Schwingungen
  - Federpendel, Fadenpendel (mit Kleinwinkel Näherung)
  - Abhängigkeit der Periodendauer von systembeschreibenden Größen (Erarbeitung im Schülerexperiment an einem Beispiel)
  - Schwingungsgleichung  $s(t) = s_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$  und  $s(t) = s_{\max} \cdot \cos(\omega \cdot t)$  (Ableitung aus dem  $t$ - $s$ -Diagramm)
  - Energieumwandlung an Beispielen (quantitativ)
- gedämpfte mechanische Schwingungen
  - Dämpfung als Erweiterung der reibungsfreien Idealisierung: Abnahme der Amplitude (qualitativ)

### **erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- zeitlicher Verlauf einer harmonischen Schwingung
  - Differenzialgleichung der ungedämpften harmonischen Schwingung (Lösung mithilfe eines Lösungsansatzes)
- gedämpfte Schwingungen: Dämpfungsverhalten der Form  $s(t) = s_{\max} \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_D \cdot t)$  und  $s(t) = s_{\max} \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \cos(\omega_D \cdot t)$  mit  $\omega_D = \sqrt{\omega^2 - \delta^2}$  (ohne Herleitung)
- erzwungene Schwingungen
  - Veranschaulichung durch Experimente, Eigenfrequenz, Resonanz mit Anwendungsbereich, Resonanzkatastrophe
  - Beschreibung von Resonanzkurven für verschiedene Dämpfungen (qualitativ)

## **Q2.2 Induktion und elektromagnetische Schwingungen**

### **grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)**

- Induktion aufgrund einer zeitlichen Änderung des magnetischen Flusses
  - Definition des magnetischen Flusses  $\Phi$
  - Induktionsgesetz unter Verwendung der mittleren Änderungsrate des magnetischen Flusses (Differenzenquotient):  $U_{\text{ind}} = -N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  (quantitativ nur für Veränderungen entweder der Fläche  $A$  oder der magnetischen Flussdichte  $B$ )
- Zusammenhang zwischen der Richtung des Induktionsstroms und seiner Wirkung (Lenz'sche Regel)
- Selbstinduktion und Induktivität einer langen Spule (phänomenologisch)
- Beispiel für eine technische Anwendung der Induktion
- elektromagnetische harmonische Schwingungen

- charakteristische Größen: Periodendauer, Frequenz, Amplituden  $U_{\max}, I_{\max}$
- periodische Energieumwandlung im Schwingkreis
- Thomson'sche Gleichung  $T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$  (ohne Herleitung)

### **erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- Induktion aufgrund einer zeitlichen Änderung des magnetischen Flusses
  - Induktionsgesetz in differenzieller Form, Anwendung auch in nicht linearen Fällen:  $U_{\text{ind}} = -N \cdot \dot{\Phi}$  (erhöhter Grad der Mathematisierung: Vergleich von Differenzen- und Differenzialquotienten), quantitative Betrachtung nur für  $\dot{A} \neq 0, \dot{B} = 0$  sowie  $\dot{A} = 0, \dot{B} \neq 0$
  - weitere Beispiele für technische Anwendungen der Induktion
- Selbstinduktion und Induktivität
  - Ein- und Ausschaltvorgänge bei der Spule (qualitativ)
  - Definition der Induktivität  $L$
- Energie des Feldes einer stromdurchflossenen Spule:  $E_{\text{mag}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$  (ohne Herleitung)
- Vergleich von mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen unter energetischen Aspekten
- gedämpfte Schwingungen
- erzwungene Schwingungen, Resonanz (qualitativ)

### **Q2.3 Mechanische Wellen**

#### **grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)**

- harmonische Wellen: charakteristische Größen und ihre Zusammenhänge
  - Erzeugung und Ausbreitung
  - charakteristische Größen: Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge, Frequenz und deren Zusammenhang:  $c = \lambda \cdot f$
- Definition einer harmonischen Welle als räumlich und zeitlich periodischer Vorgang: Darstellung im  $t$ - $y$ - und  $x$ - $y$ -Diagramm, Longitudinal- und Transversalwellen, lineare Polarisierung
  - Unterschied zwischen Longitudinal- und Transversalwellen (charakteristische Beispiele zur Veranschaulichung)
  - Polarisierbarkeit von Transversalwellen als Unterscheidungsmerkmal gegenüber Longitudinalwellen, Schwingungsebene
- Brechung, Reflexion, Beugung als charakteristische Wellenphänomene
  - Demonstration von Wellenphänomenen (zum Beispiel mithilfe der Wellenwanne)
  - Huygens'sches Prinzip

- Überlagerung von Wellen
  - Superposition von Wellen, Verstärkung und Auslöschung bei zwei Punkterregern, Bedeutung des Gangunterschiedes und Bestimmung der Orte der Maxima und Minima (Demonstrationsexperiment, zum Beispiel Wellenwanne, Lautsprecher)
- stehende Wellen
  - Überlagerung von Wellen im eindimensionalen Fall
  - Wellenlängenbestimmung mittels einer durch Reflexion erzeugten stehenden Welle (ohne Behandlung von Phasensprüngen, Experiment)

**erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- harmonische Wellen: charakteristische Größen und ihre Zusammenhänge
  - Beschreibung der zeitlichen und räumlichen Entwicklung einer harmonischen eindimensionalen Welle mithilfe der Gleichung  $y(x,t) = y_{\max} \cdot \sin\left(2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right)$
- Behandlung des Phasensprungs bei Reflexion, festes und loses Ende bei stehenden Wellen

---

### Q3 Elektromagnetische Wellen und Quantenphysik

---

Die Lernenden reflektieren und festigen in diesem Kurshalbjahr die Vorstellung, dass Beobachtungen, Experimente und die daraus entwickelten Modelle die wesentlichen Grundlagen der Erkenntnisgewinnung in der Physik bilden. Durch die Übertragung der Modellvorstellung mechanischer Wellen auf elektromagnetische Wellen lassen sich die Gesetze der Strahlenoptik auf die Wellentheorie zurückführen. Die Kenntnisse über Wellen sind grundlegend für die Auseinandersetzung mit den Quantenobjekten in der modernen Physik, bei denen Teilchen- und Wellenvorstellungen zu einer Einheit verschmelzen.

In der Auseinandersetzung mit den grundlegenden Experimenten der Quantenphysik erfahren die Lernenden, dass sich kleinste Objekte wie Photonen und Elektronen durch die klassische Physik nicht vollständig und widerspruchsfrei beschreiben lassen und einer quantenphysikalischen Modellbildung bedürfen.

Auf Basis ihrer Modellvorstellungen der Atomphysik aus der Sekundarstufe I und ihrer Kenntnisse über Wellen beschreiben und erkennen die Lernenden exemplarisch Eigenschaften von Quantenobjekten. Über die quantitative Auswertung und Deutung des Fotoeffekts mithilfe von Photonen wird ihnen deutlich, dass Licht neben Welleneigenschaften auch Teilcheneigenschaften besitzt. Die Diskussion von Experimenten zur Elektronenbeugung führt umgekehrt zu der Erkenntnis, dass Elektronen neben Teilcheneigenschaften auch Welleneigenschaften besitzen. Mittels der De-Broglie-Gleichung lassen sich die neuen Erkenntnisse auch quantitativ fassen. Die Lernenden erkennen, dass das klassische Teilchenbild zur Beschreibung des Verhaltens kleinsten Objekte unzureichend ist und durch den Welle-Teilchen-Dualismus ersetzt werden muss.

Anhand des Bohr'schen Atommodells wird die Wechselwirkung zwischen Theorie, Modellvorstellung und Experiment an ausgewählten Beispielen aufgezeigt. Mithilfe experimenteller Befunde wird demonstriert, dass Atome elektromagnetische Strahlung nur in bestimmten diskreten Energieportionen absorbieren oder emittieren. Die Lernenden erfahren, dass das Bohr'sche Atommodell historisch deshalb stationäre Zustände mit diskreten Energien postuliert hat. Sie lernen mithilfe von Energieniveauschemata diese Absorption beziehungsweise Emission quantitativ zu verstehen und zu veranschaulichen. Sie sollen die Anwendbarkeit der Quantenphysik gegenüber der klassischen Physik abgrenzen und an historischen und aktuellen Experimenten diskutieren können.

Bezug zu den Basiskonzepten: Bei der Erarbeitung der Inhalte des Kurshalbjahres wird das Basiskonzept **Zufall und Determiniertheit** angebahnt. Das Basiskonzept **Superposition und Komponenten** wird aufgegriffen und weiter ausdifferenziert.

**Themenfelder**

**verbindlich:** Themenfelder 1 bis 3, innerhalb dieser Themenfelder können durch Erlass Schwerpunkte sowie Konkretisierungen ausgewiesen werden; je nach Länge der Kurshalbjahre Q1 bis Q4 können Teile eines der Themenfelder zwischen zwei aufeinanderfolgenden Halbjahren verschoben werden.

---

**Q3.1 Elektromagnetische Wellen**

- Spektrum elektromagnetischer Wellen
  - Überblick über die verschiedenen Frequenzbereiche elektromagnetischer Wellen und deren technische Anwendungen
- charakteristische Wellenphänomene
  - lineare Polarisation am Beispiel von Licht, Schwingungsebene
  - Totalreflexion (qualitativ, Anwendung Glasfaser)
- Überlagerung von elektromagnetischen Wellen
  - Interferenz am Doppelspalt (Experiment, Herleitung der Formel für die Orte der Maxima, Bedingung für die Anwendung der Kleinwinkel Näherung)
  - Wellenlängenbestimmung von monochromatischem Licht (auch mit Beugungsgitter ohne Herleitung der Formel)
  - Spektren von polychromatischem (auch weißem) Licht beim Doppelspalt beziehungsweise Beugungsgitter
  - stehende elektromagnetische Wellen im eindimensionalen Fall

**erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- Brechung, Reflexion, Beugung bei elektromagnetischen Wellen
  - $$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$
 mit  $n_i = \frac{c_{\text{Vakuum}}}{c_i}$
- Überlagerung von elektromagnetischen Wellen
  - Einzelpunkt mit monochromatischem Licht (Beugung und Interferenz, Bestimmung der Orte der Maxima und Minima, Bedingung für die Anwendung der Kleinwinkel Näherung)
  - Aufbau und Funktionsweise eines Interferometers

**Q3.2 Welle-Teilchen-Dualismus****grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)**

- Zusammenhänge der Größen Energie, Impuls, Frequenz und Wellenlänge zur Beschreibung von Quantenobjekten
  - Fotoeffekt: Einstein'sche Deutung und Widersprüche zur Wellentheorie (Demonstrationsexperiment mit Sonnenlicht oder anderer geeigneter Lichtquelle, Glasscheibe als Filter)
  - Fotoeffekt: experimentelle Bestimmung der Energie der Photoelektronen mit der Gegenfeldmethode (gegebenenfalls mit Animation), Grenzfrequenz, Austrittsenergie, Einheit Elektronenvolt, Planck'sches Wirkungsquantum, Energie eines Photons

- Energie-Masse-Äquivalenz, Masse und Impuls von Photonen
- De-Broglie-Wellen und De-Broglie-Gleichung

**erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- Elektronenbeugung an Kristallen, Bragg-Bedingung
- Compton-Effekt (Formel für die Compton-Wellenlänge ohne Herleitung)

**Q3.3 Atomvorstellungen****grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)**

- Quantisierung
- Bohr'sche Postulate
- Energieniveaus für Wasserstoff:  $E_n = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}$
- Franck-Hertz-Versuch (Stoßanregung, Existenz diskreter Energieniveaus in Atomen)
- Emission und Absorption, Zusammenhang zwischen diskretem Spektrum und Energieniveauschema
  - Energieabgabe beziehungsweise -aufnahme von Atomen durch Emission beziehungsweise Absorption von Photonen
  - Veranschaulichung von Emission und Absorption im Energieniveauschema
  - Linienspektren, Anwendung der Rydberg-Formel

**erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- Quantisierung
  - Energiewerte für wasserstoffähnliche Atome
  - Ausblick auf Mehrelektronensysteme, Pauli-Prinzip
- Röntgenstrahlung
  - Entstehung des kontinuierlichen und diskreten Röntgenspektrums, kurzwellige Grenze des kontinuierlichen Spektrums, Moseley-Gesetz, Aufbau einer Röntgenröhre, Bragg-Reflexion

---

#### **Q4 Struktur von Materie, Raum und Zeit**

---

Wesentliche Ziele in diesem Kurshalbjahr sind die Auseinandersetzung der Lernenden mit den inhaltlichen Fragestellungen und grundlegenden Modellvorstellungen der Quantenphysik sowie das Kennenlernen von einigen damit verbundenen erkenntnistheoretischen Fragestellungen.

Durch die Beschäftigung mit dem einfachsten quantenmechanischen Atommodell, dem eindimensionalen Potenzialtopf, wird den Lernenden die Quantelung der Energie verständlich. Sie werden damit konfrontiert, dass die Eigenschaften von Quantenobjekten interpretiert werden müssen und sich der in der makroskopischen Welt geschulten Anschauung entziehen. Die Lernenden können so ihr physikalisches Verständnis grundlegend weiterentwickeln. Hier bietet es sich mit Blick auf die im Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung formulierten Bildungsstandards insbesondere an, der Diskussion erkenntnistheoretischer Fragestellungen, die sich aus den Experimenten und den zu deren Erklärung entwickelten Modellen ergeben, einen breiten Raum zu geben.

Die Ergebnisse von Doppelspaltversuchen mit Elektronen und Photonen bei geringer Intensität führen zu einer Vertiefung dieser Modellvorstellung und einer Auseinandersetzung mit dem quantenphysikalischen Weltbild, das sich der menschlichen Anschauung weitgehend entzieht, der Deutung bedarf und unter anderem den strengen Determinismus der klassischen Physik durch Wahrscheinlichkeitsaussagen ersetzt.

Im weiteren Verlauf eröffnet sich den Lernenden die Möglichkeit, erworbene Kompetenzen in der Auseinandersetzung mit den Fragestellungen eines gewählten Themas zu vertiefen sowie weitere Kompetenzen neu zu erwerben.

Das Themenfeld „Technische Anwendungen der Quantenphysik“ schließt direkt an die Erarbeitung der Atomphysik an. Durch die Beschäftigung mit der Funktionsweise eines Lasers können die Lernenden einen Rückbezug zu den Themen der Q3 herstellen und die Vorteile des Einsatzes von Laserlicht in Experimenten und technischen Anwendungen erkennen. Im Leistungskurs geschieht dieser Rückbezug zusätzlich durch die Beschäftigung mit der Funktionsweise des Rastertunnelmikroskops.

Zahlreiche Anwendungsbezüge, zum Beispiel zu der Energiewirtschaft oder der Medizin, begründen die Relevanz des Themenfeldes „Kernphysik“ und geben den Lernenden Anlass zu einer kritischen Reflexion. Im Leistungskurs übertragen sie das Potenzialtopfmodell für die Atomhülle auf den Atomkern und erweitern dieses um die Vorstellung zweier unterschiedlicher Töpfe für Neutronen und Protonen.

Die spezielle Relativitätstheorie stellt intuitive Überzeugungen wie diejenige, dass Zeit gleichmäßig vergeht, infrage. Dies sensibilisiert die Lernenden für den neben der Entwicklung der Quantenphysik zweiten großen Umbruch des modernen physikalischen Weltbilds. Mit der Verwendung von Minkowski-Diagrammen zur Veranschaulichung von Längenkontraktion und Zeidilatation festigen und erweitern die Lernenden ihre Kompetenzen im Umgang mit den aus der Einführungsphase bekannten *t-s*-Diagrammen. Sie lernen das Phänomen der relativistischen Massenzunahme kennen. Im Leistungskurs bietet sich darüber hinaus die Möglichkeit, die relativistische Massenzunahme aus grundlegenden Prinzipien abzuleiten.

Die Festkörperphysik ist unter anderem die Basis der gesamten Informationstechnologie und daher für viele Lernende besonders bedeutsam. Dieses Themenfeld bietet eine gute Gelegenheit dafür, dass die Lernenden Versuche durchführen, die nicht nur das theoretische Verständnis, sondern auch die Kompetenzen im kreativen Umgang mit dieser Technologie fördern. Im

Leistungskurs wenden die Lernenden ihre Kenntnisse aus der Quantenphysik an, um Phänomene im Festkörper zu erklären.

Durch die Beschäftigung mit der Astrophysik erweitern die Lernenden ihr Weltbild um eine wesentliche Perspektive. Infolge der Erkenntnisse zur Struktur von Sonnensystem und Galaxien und zur Sternentwicklung vom Urknall bis in die Zukunft hinein treten immer wieder neue, existenzielle Fragen auf, die die eigene Weltsicht berühren und damit – über die naturwissenschaftliche Betrachtungsweise hinaus – auch Anknüpfungsmöglichkeiten etwa zu den Bereichen Religion und Ethik bieten. Astronomische Erkenntnisse leiteten Anfang des 17. Jahrhunderts den Beginn der modernen Naturwissenschaft ein. Daher können die Lernenden gerade in der Auseinandersetzung mit den Gesetzen der Himmelsmechanik im historischen Kontext über den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess und die zentrale Stellung der Beobachtung reflektieren. Insbesondere bietet dieses Themenfeld durch die Betrachtung kernphysikalischer Vorgänge zum Beispiel in Sternen sowie von Aussagen der allgemeinen Relativitätstheorie den Lernenden die Möglichkeit, wichtige Bezüge zwischen den verschiedenen physikalischen Teilgebieten herzustellen.

Bezug zu den Basiskonzepten: Bei der Erarbeitung der Inhalte des Kurshalbjahres wird das Basiskonzept **Zufall und Determiniertheit** weiter ausdifferenziert.

## Themenfelder

---

**verbindlich:** Themenfeld 1, innerhalb des Themenfeldes können durch Erlass Schwerpunkte sowie Konkretisierungen ausgewiesen werden; je nach Länge der Kurshalbjahre Q1 bis Q4 können Teile eines der Themenfelder zwischen zwei aufeinanderfolgenden Halbjahren verschoben werden.

---

### Q4.1 Quantenobjekte

#### grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)

- qualitative Betrachtung eines quantenmechanischen Atommodells
  - Orbitale des Wasserstoffatoms: Weiterentwicklung der Vorstellung von diskreten Elektronenbahnen zu Orbitalen als Veranschaulichung der Wahrscheinlichkeiten, das Elektron in bestimmten Raumelementen anzutreffen
  - gebundenes Elektron als stehende De-Broglie-Welle in einem eindimensionalen Potenzialtopf und Grenzen des Modells
- grundlegende Aspekte der Quantentheorie: stochastische Vorhersagbarkeit, Interferenz und Superposition, Determiniertheit der Zufallsverteilung, Komplementarität
  - Doppelpaltversuche mit Elektronen und Photonen bei geringer Intensität, stochastische Deutung (Animation)
  - Determiniertheit der zeitlichen Entwicklung der Quantenzustände
  - Komplementarität von Weginformation und Interferenzfähigkeit
- quantenphysikalisches Weltbild hinsichtlich der Begriffe Realität, Lokalität, Kausalität, Determinismus
  - Problematik der Übertragung von Begriffen aus der klassischen Physik in die Quantenphysik

**erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- quantitative Betrachtung eines quantenmechanischen Atommodells
  - Modell eines gebundenen Elektrons als stehende De-Broglie-Welle in einem eindimensionalen Potenzialtopf, diskrete Energiewerte, Wellenfunktionen und die Wahrscheinlichkeiten, das Elektron in bestimmten Längenintervallen im Potenzialtopf mit unendlich hohen Wänden anzutreffen; begrenzte Gültigkeit dieser Modellvorstellung unter Berücksichtigung der Unbestimmtheitsrelation
- stochastische Deutung mittels des Quadrats der quantenmechanischen Wellenfunktion (qualitativ)
  - Interpretation des Betragsquadrates der quantenmechanischen Wellenfunktion als Maß für die Wahrscheinlichkeit, das Quantenobjekt in einem Raumelement anzutreffen
  - Delayed-choice-Experiment (zum Beispiel Komplementarität am Interferometer)
- Orts-Impuls-Unbestimmtheit in der Form: Unmöglichkeit, einen Zustand zu präparieren, bei dem die zueinander komplementären Größen Ort und Impuls jeweils einen exakten Wert besitzen
- Koinzidenzmethode zum Nachweis einzelner Photonen anhand eines Beispiels (Nachweis der Unteilbarkeit von Photonen mithilfe eines Mach-Zehnder-Interferometers oder Compton-Effekt oder Positronen-Emissions-Tomographie)

**Q4.2 Technische Anwendungen der Quantenphysik****grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)**

- Laser
  - metastabile Niveaus, Besetzungsinversion
  - stimulierte Emission
  - Aufbau, Funktionsprinzip und Anwendungen von Lasern

**erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- Rastertunnelmikroskop
  - Tunneleffekt
  - Aufbau, Funktionsprinzip und Anwendungen von Rastertunnelmikroskopen

**Q4.3 Kernphysik****grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)**

- radioaktive Strahlung
  - Arten radioaktiver Strahlung, Nachweis (Präsentation)
  - Wirkung, Anwendungen und Gefahren (Präsentation)
- Zerfallsgesetze
  - Kernzerfall, Aktivität, Halbwertzeit, Zerfallskonstante (exponentielle Abnahme der radioaktiven Substanz beziehungsweise der Aktivität)
  - C14-Methode (Anwendungsbeispiele)
- Bindungsenergie

- Bindungsenergie pro Nukleon (Grundzüge der Kernmodelle: starke Wechselwirkung mit kurzer Reichweite)
- Massendefekt, Berechnung der während einer Kernreaktion freigesetzten Energie (Äquivalenz von Masse und Energie, Berechnung der Bindungsenergie von Kernen)
- Kernreaktionen, Kernspaltung, Kernfusion (Präsentation)

#### **erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- Zerfallsgesetze
- Zerfallsreihen
- Potenzialtopfmodell für Kerne (nur qualitativ)
  - unterschiedliche Tiefen des Topfes für Protonen und Neutronen
  - $\alpha$ -Zerfall durch Tunneleffekt

### **Q4.4 Spezielle Relativitätstheorie**

#### **grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)**

- Relativitätspostulate
  - Relativitätsprinzip (Gleichberechtigung verschiedener gegeneinander gleichförmig bewegter Bezugssysteme, Galilei-Transformation)
  - Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Michelson-Morley-Experiment (Präsentation)
  - Zeitdilatation und Längenkontraktion
  - Einstein-Synchronisation (Animation)
  - experimentelle Nachweise
  - Veranschaulichung an Minkowski-Diagrammen
- relativistische Massenzunahme (nur phänomenologisch)

#### **erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- Lorentztransformation und Addition von Geschwindigkeiten
- Herleitung der relativistischen Massenzunahme

### **Q4.5 Festkörperphysik**

#### **grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)**

- Leiter, Nichtleiter und Halbleiter
  - Bändermodell (nur qualitativ)
  - Dotierung
- Diode und Transistor
  - p-n-Übergang, Durchlass- und Sperrpolung (experimentelle Bestimmung der Kennlinie)
  - Gleichrichterschaltungen (Demonstrations- und/oder Schülerexperimente)
  - bipolarer Transistor (nur pnp oder npn, Animation)
  - Transistor als Schalter (Flip-Flop-Schaltung)

**erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- quantenphysikalische Erklärung der Energiebänder (Fermienergie, nur qualitativ)
- Verstärkerschaltung (Demonstrations- und/oder Schülerexperimente)
- Supraleitung (nur qualitativ)

**Q4.6 Astrophysik****grundlegendes Niveau (Grundkurs und Leistungskurs)**

- unser Sonnensystem (Präsentation, Animation, Simulation)
  - Sonne, Planeten, Kometen
  - Gravitationsgesetz
  - Kepler'sche Gesetze
  - Gezeiten
- Kosmologie (Präsentation)
  - größere Strukturen, Galaxien
  - Rotverschiebung, Urknall
- Struktur des Universums
  - Größe und Alter des Universums
  - Hintergrundstrahlung, dunkle Materie, dunkle Energie

**erhöhtes Niveau (Leistungskurs)**

- Energieumwandlung in der Sonne (Präsentation)
  - Proton-Proton-Reaktion
  - weitere Reaktionen
- Sterntypen, Sternentstehung und -entwicklung
  - Hauptreihensterne
  - Lebenszyklus eines Sterns

HESSEN



**Hessisches Ministerium  
für Kultus, Bildung und Chancen**  
Luisenplatz 10  
60185 Wiesbaden  
<https://kultus.hessen.de>