

# Fachlehrplan Gymnasium

Stand: 01.07.2019



**SACHSEN-ANHALT**

Ministerium für Bildung

# Physik

An der Erarbeitung des Fachlehrplans haben mitgewirkt:

Dittmer, Frank	Thale
Kaminski, Edda	Halle
Dr. Pommeranz, Hans-Peter	Halle (Leitung der Fachgruppe)
Dr. Schülbe, Rüdiger	Eisleben
Talanow, Martin	Halle

An der Anpassung des Fachlehrplans gemäß der „Verordnung über die gymnasiale Oberstufe (Oberstufenverordnung)“ vom 3. Dezember 2013, zuletzt geändert durch Verordnung vom 6. März 2019 (GVBl. LSA S. 39), haben mitgewirkt:

Blanke, Kathrin	Halle (Leitung der Fachgruppe)
Dittmer, Frank	Thale
Kaminski, Edda	Halle
Dr. Schülbe, Rüdiger	Eisleben

**Inhaltsverzeichnis**

	Seite
1 Bildung und Erziehung im Fach Physik .....	2
2 Entwicklung fachbezogener Kompetenzen .....	5
3 Kompetenzentwicklung in den Schuljahrgängen .....	14
3.1 Übersicht.....	14
3.2 Schuljahrgang 6 .....	17
3.3 Schuljahrgänge 7/8 .....	22
3.4 Schuljahrgang 9 .....	28
3.5 Schuljahrgang 10 (Einführungsphase) .....	33
3.6 Schuljahrgänge 11/12 (Qualifikationsphase) .....	38
3.6.1 Grundlegendes Anforderungsniveau.....	38
3.6.2 Erhöhtes Anforderungsniveau .....	53
3.6.3 Zweistündiges Wahlpflichtfach .....	70
3.6.4 Dreistündiges Wahlpflichtfach .....	84

# 1 Bildung und Erziehung im Fach Physik

## *Teilhabe und Teilnahme am gesellschaftlichen Leben*

Naturwissenschaft und Technik prägen unser Leben in allen Bereichen und bilden einen bedeutenden Teil unserer kulturellen Identität. Die Wechselwirkung zwischen naturwissenschaftlicher Erkenntnis und technischer Anwendung bewirkt Fortschritte auf vielen Gebieten, z. B. in der Medizin, in der Informations- und Kommunikationstechnik oder im Verkehrswesen. Jede naturwissenschaftlich-technische Entwicklung birgt aber auch Risiken und kann ungeplante Wirkungen erzeugen. Diese müssen erkannt und in ihrer Beherrschbarkeit bewertet werden.

Physikalische Bildung, als Teil der naturwissenschaftlichen Bildung, ermöglicht den Schülerinnen und Schülern eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung über technische Entwicklungen, Erscheinungen in der Natur sowie Ziele und Methoden physikalischer Forschung. Ziel physikalischer Bildung ist es, Phänomene erfahrbar zu machen und zu erklären, die Sprache und Historie der Physik zu verstehen, über Ergebnisse physikalischer Forschung zu kommunizieren sowie sich mit ihren spezifischen Methoden der Erkenntnisgewinnung und deren Grenzen auseinanderzusetzen sowie die Möglichkeiten und Grenzen menschlichen Handelns exemplarisch zu erfahren.

Der Physikunterricht leistet wesentliche Beiträge zum Handlungs- und Orientierungswissen der Schülerinnen und Schüler. In der natürlichen Umwelt finden sich vielfältige, zum Teil sehr auffällige Phänomene, welche durch naturgesetzliche Zusammenhänge erklärbar sind. Ebenso gibt es Dinge, die mit den menschlichen Sinnen nicht unmittelbar wahrnehmbar sind (z. B. elektrische Ladungen, Atome, Felder, Quanten) und erst durch die Physik zugänglich werden. Ziel des Physikunterrichts ist es, dass die Schülerinnen und Schüler den Blick dafür schärfen und ihnen dabei das Aspekthafte des Bildes der Physik von der Welt bewusst wird. Derartige Betrachtungen geben Schülerinnen und Schülern Gelegenheit, ihre Umwelt bewusst und mit Neugier wahrzunehmen, Fragen zu stellen und insbesondere ihr Vorwissen zu prüfen. Sie können durch eine physikalische Deutung ausgewählter Naturerscheinungen ihr Verständnis der Natur vertiefen und dadurch zu dieser eine erweiterte emotionale Einstellung entwickeln.

Physikalisches Wissen ermöglicht die Erklärung der Funktionsweise technischer Geräte, insbesondere auch solcher aus dem Alltag der Schülerinnen und Schüler. Damit wird es möglich, die Vielfalt technischer Anwendungen entsprechend der zugrunde liegenden physikalischen Gesetze zu ordnen. Zugleich erfahren die Schülerinnen und Schüler, dass physikalische Erkenntnisse und technische Entwicklungen sich gegenseitig beeinflussen und das menschliche Leben verändern.

*Lebenswelt-  
bezogenes  
Lernen*

Bei der Bewältigung von verschiedenen Problemen des Alltags, ob beim gesundheits- und sicherheitsgerechten Verhalten oder beim nachhaltigen Umgang mit Ressourcen, ist die Beachtung physikalischer Erkenntnisse hilfreich.

Die physikalische Grundbildung ermöglicht den Schülerinnen und Schülern einen fachlichen Zugang zu solchen Menschheitsproblemen wie „nachhaltige Energieversorgung“ und „Folgen der Klimaveränderung“.

Die Schülerinnen und Schüler erfahren, dass mit der physikalischen Sichtweise immer nur bestimmte Aspekte erfasst und beschrieben werden können. An ausgewählten Beispielen erwerben sie die Fähigkeit, komplexe Prozesse und Erscheinungen auch unter Berücksichtigung von biologischen, chemischen, ökologischen, ökonomischen, sozialen oder ethischen Aspekten zu betrachten und einzuschätzen.

Der Physikunterricht trägt zur Ausprägung der Studierfähigkeit und damit zur Allgemeinen Hochschulreife bei, indem die Schülerinnen und Schüler

*Allgemeine Hoch-  
schulreife*

- sich mit fachlichen Standpunkten mündlich und schriftlich kritisch, konstruktiv und sachgerecht auseinandersetzen (Diskursfähigkeit),
- sich Erkenntnisse und Methoden auch aus didaktisch wenig aufbereiteten Quellen zielgerichtet erschließen,
- eigene Arbeitsergebnisse wissenschaftlichen Normen entsprechend darstellen,
- wesentliche Gedanken von Vorträgen erschließen und systematisch mit-schreiben,
- längerfristige Lernprozesse, z. B. bei der Erstellung von Facharbeiten oder der Durchführung von Projekten, realistisch, ergebnisorientiert planen, umsetzen und reflektieren,
- das eigene Wissen strukturieren sowie ggf. auftretende Lücken feststellen und zielgerichtet schließen.

*Wissenschaftspropädeutisches Arbeiten*

Der Physikunterricht am Gymnasium führt auch schon in der Sekundarstufe I, aber insbesondere in der Qualifikationsphase in die Wissenschaft Physik ein (Wissenschaftspropädeutik), indem

- die Rolle von Modellen und Experimenten im physikalischen Erkenntnisprozess und bei der Theoriebildung bewertet wird,
- die zeitliche Entwicklung und Veränderung von Begriffen, Theorien, Methoden und Arten der Darstellung exemplarisch betrachtet werden,
- Methoden der Erkenntnisgewinnung über Modellbildungssysteme sowie computergestützte Messwerterfassung und -auswertung eine zeitgemäße Realisierung erfahren,
- mathematische Methoden bei der Verallgemeinerung von Erkenntnissen und bei der quantitativen Voraussage von Ereignissen gezielt eingesetzt werden,
- die Schülerinnen und Schüler durch eigene Tätigkeit erfahren, dass naturwissenschaftliches Arbeiten Ausdauer und Kooperation erfordert und ebenso Kreativität, Intuition sowie Offenheit für neue Wege im Erkenntnisprozess gefragt sind.

Schülerinnen und Schüler erleben im Physikunterricht beispielhaft und auszugsweise die Natur der Naturwissenschaft Physik, erfahren Charakteristisches über die Natur des Wissens, über Methoden der Wissensgenerierung und deren Grenzen sowie über soziale und kulturelle Einflüsse auf dieses Wissen.

Die Schülerinnen und Schüler lernen im Physikunterricht neben typischen Tätigkeiten auch Berufsprofile von Beschäftigten, z. B. in der Forschung, in der Produktion oder im Dienstleistungswesen kennen, für die eine vertiefte physikalische Bildung Voraussetzung ist. Dazu sollten auch außerschulische Lernorte und Gespräche mit Experten genutzt werden.

Damit wird ein wesentlicher Beitrag zur Studien- und Berufsorientierung geleistet.

## 2 Entwicklung fachbezogener Kompetenzen

In den naturwissenschaftlichen Fächern werden die zu erwerbenden Kompetenzen durch ein gemeinsames Kompetenzmodell strukturiert und in seinen vier Bereichen beschrieben.

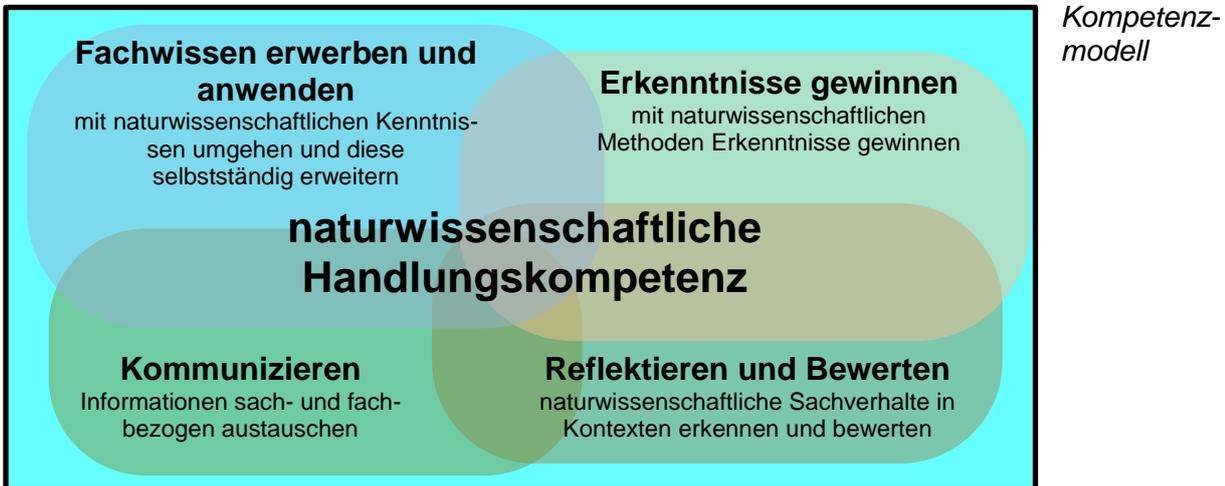


Abb. 1: Kompetenzmodell der Fächer Astronomie, Biologie, Chemie und Physik

In den Fächern Astronomie, Biologie, Chemie und Physik wird im Kompetenzbereich „Fachwissen erwerben und anwenden“ beschrieben, welches Wissen und welche Fähigkeiten die Schülerinnen und Schüler bzgl. konkreter fachwissenschaftlicher Inhalte erwerben. Das Wissen wird mithilfe von Basis- konzepten strukturiert. Diese den traditionellen Fachgebieten übergeordneten Basiskonzepte ermöglichen den Schülerinnen und Schülern deshalb auch eine interdisziplinäre Vernetzung von Wissen, weil sie in den naturwissenschaftlichen Fächern vergleichbare Strukturierungselemente benutzen.

Den Kompetenzbereichen „Erkenntnisse gewinnen“, „Kommunizieren“ sowie „Reflektieren und Bewerten“ werden typische naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen zugeordnet, die die Schülerinnen und Schüler zur Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Sachverhalten in anwendungsbezogenen, fachlichen und gesellschaftlichen Kontexten benötigen.

Die Zuordnung einzelner Kompetenzen zu einem der vier Bereiche ist oft nicht eindeutig möglich, da eine Kompetenz meist Facetten aus mehreren Bereichen umfasst. Auch wenn im Unterricht die Ausprägung einer bestimmten Kompetenz eines Bereiches im Mittelpunkt steht, werden stets weitere Kompetenzen aus diesem und anderen Bereichen benötigt bzw. entwickelt.

Die Konkretisierungen dieser vier Kompetenzbereiche für das Fach Physik werden im Folgenden dargestellt.

*Kompetenzbereich  
Fachwissen  
erwerben und  
anwenden*

Die Schülerinnen und Schüler erwerben Kompetenzen in der Auseinandersetzung mit vielfältigen fachlichen Fragestellungen und Inhalten. Die Breite der Naturwissenschaft Physik, ihr Wissensstand und ihre Dynamik erfordern für den Physikunterricht eine Reduktion auf wesentliche Inhalte und ein exemplarisches Vorgehen.

Bei der Bearbeitung physikalischer Fragestellungen nehmen die Lernenden flexibel Perspektivwechsel vor und erweitern dadurch ihre Handlungsfähigkeit. Durch den Aufbau von vernetztem Wissen entwickeln sie in besonderem Maße multiperspektivisches Denken.

Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten die Inhalte mit der Orientierung auf miteinander vernetzte Basiskonzepte. Diese dienen der Strukturierung sowie der Systembildung und legen die Grundlagen für das Verständnis von Zusammenhängen.

Mithilfe ihres strukturierten physikalischen Grundwissens verfolgen und bewerten die Schülerinnen und Schüler naturwissenschaftliche Problemfelder unter physikalischem Aspekt in gesellschaftlichen Zusammenhängen und Diskussionen.

Sie nutzen die Basiskonzepte zur Analyse neuer Phänomene und wenden sie bei der Lösung von Problemen an. Mit ihrer Hilfe ordnen sie neue Erkenntnisse ein und verknüpfen sie mit den bereits bekannten Sachverhalten.

Auf diese Weise entwickeln sie ein anschlussfähiges Wissen, das ihnen als eine tragfähige Grundlage die Orientierung in einer sich sehr schnell wandelnden Welt und eine Vertiefung der physikalischen Bildung in weiterführenden Bildungsgängen ermöglicht.

Die Basiskonzepte *Materie, System, Wechselwirkungen und Energie* erleichtern kumulatives Lernen, den Aufbau von strukturiertem Wissen und die Erschließung neuer Inhalte. *Basiskonzepte*

Mit dem Basiskonzept **Materie** können die Schülerinnen und Schüler den zur Erklärung bestimmter physikalischer Phänomene notwendigen Perspektivwechsel – aus der Makroebene in die Mikroebene – vollziehen und auch eine für die konkrete Betrachtung notwendige weitere Strukturierung der Materiebausteine vornehmen.

Mit dem Basiskonzept **Wechselwirkung** können die Schülerinnen und Schüler sowohl die direkten Wirkungen von Körpern aufeinander als auch die über Felder vermittelten Wirkungen beschreiben und erklären. Bedeutsam dabei ist, dass durch die Wechselwirkung nicht nur der Körper, auf den eingewirkt wird, eine Veränderung erfährt, sondern auch der wirkende Körper oder die wirkende Strahlung sich selbst verändert.

Mit dem Basiskonzept **System** können die Schülerinnen und Schüler begrenzte Ausschnitte der Realität betrachten. Das heißt, sie können die Grenzen dieses Ausschnittes, seine strukturierenden Elemente sowie deren Aufgaben und Wechselwirkungen, z. T. vereinfacht und idealisiert, genauer untersuchen und beschreiben. Insbesondere können sie erkennen, unter welchen Bedingungen Systeme im Gleichgewicht sind und welche Wirkungen durch Störungen des Systemgleichgewichts hervorgerufen werden.

Mit dem Basiskonzept **Energie** können die Schülerinnen und Schüler einen wesentlichen Aspekt erkennen, der allen natürlichen und technischen Prozessen gemeinsam ist: Die Energie bleibt erhalten, sie wird nur gewandelt, in verschiedenen Formen gespeichert und dabei insgesamt entwertet.

	Am Ende der <b>Einführungsphase</b>   <b>Qualifikationsphase</b> entsprechend des kursbezogenen Anforderungsniveaus können die Schülerinnen und Schüler in der Regel	
<i>Endniveau</i>	– physikalische Größen beschreiben.	
	– physikalische Gesetze herleiten. – mit physikalischen Gleichungen einzelne Zusammenhänge ableiten und Größen berechnen.	– physikalische Sachverhalte mathematisch modellieren und dabei Idealisierungen und Vereinfachungen vornehmen.
	– komplexe physikalische Zusammenhänge beschreiben.	– komplexe physikalische Probleme in Teilprobleme aufgliedern und diese bearbeiten.
	– physikalische Gesetze bei der Erklärung von Alltagsphänomenen und der Wirkungsweise technischer Geräte anwenden.	– physikalische Gesetze bei der Erklärung von Naturphänomenen und der Wirkungsweise komplexer technischer Anlagen anwenden.
	– Basiskonzepte auf andere Phänomene übertragen und als Mittel zur Erklärung von Phänomenen nutzen.	– Basiskonzepte zur Strukturierung ihres Wissens und zur Erschließung neuer Kontexte nutzen.
		– Strategien zur Generierung physikalischen Wissens aus verschiedenen Quellen zielgerichtet anwenden.

*Kompetenzbereich  
Erkenntnisse gewinnen*

Im Physikunterricht werden grundlegende wissenschaftsmethodische Verfahren genutzt. Dies geschieht vorwiegend im Rahmen der problemorientierten Methode, die sich an naturwissenschaftlichem Arbeiten orientiert. Die Schülerinnen und Schüler beobachten und beschreiben Phänomene, formulieren Fragestellungen und stellen Hypothesen auf. Andererseits leiten sie aus theoretischen Grundlagen Schlussfolgerungen ab und überprüfen diese experimentell. Sie planen ihr Vorgehen und erschließen sachgerechte Informationen mithilfe entsprechender Untersuchungs- sowie Recherchemethoden.

Sie wenden dabei fachspezifische und allgemeine naturwissenschaftliche Arbeitstechniken an: Zurückführen auf und Einordnen in bereits Bekanntes, Ordnen, Vergleichen, Systematisieren, Aufstellen von Hypothesen, Experimentieren, Verallgemeinern.

Die Lernenden werten gewonnene Daten bzw. Ergebnisse aus, verallgemeinern diese mithilfe der Mathematik auch unter Nutzung geeigneter Werkzeuge, überprüfen Hypothesen und beantworten ihre Fragestellungen. Dabei reflektieren sie kritisch ihr Vorgehen und diskutieren Ursachen möglicher Messfehler.

Modelle und Modellbildung kommen im physikalischen Erkenntnisprozess besonders dann zur Anwendung, wenn komplexe Phänomene bearbeitet oder veranschaulicht werden müssen. Lernende verwenden ein Modell als eine idealisierte oder generalisierte Darstellung eines existierenden oder gedachten Objekts, Systems oder Prozesses. Die Auswahl bzw. die Erstellung eines geeigneten Modells unter Beachtung der Fragestellung und das kritische Reflektieren des Modells sind bedeutsame Teile der physikalischen Erkenntnisgewinnung.

Insbesondere bei der Bearbeitung physikalischer Fragestellungen mithilfe von Schülerexperimenten arbeiten die Schülerinnen und Schüler kooperativ, konstruktiv und zielorientiert zusammen.

Am Ende der <b>Einführungsphase</b>	<b>Qualifikationsphase</b> entsprechend des kursbezogenen Anforderungsniveaus
können die Schülerinnen und Schüler in der Regel	
– grundlegende Vorgänge in Natur und Technik unter Nutzung geeigneter Hilfsmittel selbstständig beobachten.	– schnell ablaufende Vorgänge mit geeigneter Technik erfassen und auswerten.
– elektrische und nichtelektrische Messgeräte sicher einsetzen.	– Messwerte mit Sensoren erfassen und mithilfe digitaler Werkzeuge auswerten.
– systematische und zufällige Messfehler unterscheiden und ihren Einfluss auf das Ergebnis erkennen.	– Messfehler und ihre Minimierung diskutieren.
– einfache Experimente angeleitet planen sowie selbstständig durchführen und auswerten.	– ausgewählte Experimente selbstständig planen, durchführen und auswerten.
– Zusammenhänge aus Messdaten ermitteln, die mit mathematischen Funktionen beschrieben werden können.	– Zusammenhänge aus Messdaten u. a. mithilfe der Differential- und Integralrechnung ermitteln (Anstiege, Flächen).

*Endniveau*

**Kompetenzbereich Kommunizieren**

Die Fähigkeit zu adressatengerechter, sachbezogener und ergebnisorientierter Kommunikation unter Einbeziehung unterschiedlicher Medien ist ein wesentlicher Bestandteil naturwissenschaftlicher Bildung. In ihrer Lebenswelt begegnen den Schülerinnen und Schülern Phänomene, die sie unter Nutzung der Fachbegriffe beschreiben und erklären können. In der Auseinandersetzung mit diesen Phänomenen erkennen sie Zusammenhänge, suchen Informationen und werten diese aus. Dazu ist es notwendig, dass sie die entsprechende Fachsprache verstehen, korrekt anwenden und mit der Alltagssprache in Beziehung setzen. Ergebnisse werden mithilfe verschiedener fachspezifischer Arten der Darstellung präsentiert.

Die Schülerinnen und Schüler stellen ihre Position unter Orientierung auf das Fach dar, reflektieren sie, finden Argumente oder revidieren gegebenenfalls ihre Auffassung aufgrund der vorgetragenen Einwände. Kommunizieren ist Methode und Ziel des Lernens gleichermaßen.

**Endniveau**

Am Ende der  <b>Einführungsphase</b>	<b>Qualifikationsphase</b> entsprechend des kursbezogenen Anforderungsniveaus
können die Schülerinnen und Schüler in der Regel	
– Texte aus unterschiedlichen Quellen auf Relevanz prüfen und erschließen.	– Aussagen aus verschiedenen Quellen vergleichen und bewerten sowie ggf. die Absicht der Autoren erkennen.
– das Vorgehen zur Lösung physikalischer Probleme und Arbeitsergebnisse diskutieren.	– unterschiedliche Standpunkte zu fachlichen Problemen oder technischen Anwendungen physikalischer Erkenntnisse sachlich und konstruktiv diskutieren.
– Ergebnisse von Beobachtungen und Experimenten unter Nutzung fachspezifischer Darstellungsformen dokumentieren.	– Ergebnisse auch von komplexen Untersuchungen dokumentieren sowie adressaten- und situationsgerecht darstellen.

Die Schülerinnen und Schüler reflektieren Chancen und Grenzen der physikalischen Natur- und Weltbetrachtung.

Sie können exemplarisch die historische und gesellschaftliche Bedingtheit der Wissenschaft Physik darstellen und insbesondere die wechselseitige Beziehung zwischen der Entwicklung der Physik und der Technik aufzeigen. Das Heranziehen physikalischer Methoden und Erkenntnisse zum Verständnis und zur Bewertung naturwissenschaftlicher, technischer und gesellschaftlicher Entscheidungen ist Teil einer zeitgemäßen Allgemeinbildung.

Durch die Auswahl geeigneter Sachverhalte können die Schülerinnen und Schüler Vernetzungen der einzelnen Naturwissenschaften in Alltag, Umwelt und Forschung erkennen.

Die gezielte Auswahl von Kontexten ermöglicht es den Lernenden, physikalische Kenntnisse auf neue Fragestellungen zu übertragen, Probleme in realen Situationen zu erfassen, Interessenkonflikte auszumachen, mögliche Lösungen zu erwägen und deren Konsequenzen zu diskutieren. Bei der Betrachtung gesellschaftsrelevanter Themen aus unterschiedlichen Perspektiven erkennen die Schülerinnen und Schüler, dass Problemlösungen von Werteentscheidungen abhängig sind. Sie prüfen Argumente auf ihren sachlichen und ideologischen Anteil und treffen Entscheidungen sachgerecht, selbstbestimmt und verantwortungsbewusst.

Sie differenzieren nach naturwissenschaftlich belegten, hypothetischen oder nicht naturwissenschaftlichen Aussagen in Texten und Darstellungen.

*Kompetenz-  
Bereich  
Reflektieren und  
bewerten*

<i>Endniveau</i>	Am Ende der	
	<b>Einführungsphase</b>	<b>Qualifikationsphase</b> entsprechend des kursbezogenen Anforderungsniveaus
	können die Schülerinnen und Schüler in der Regel	
	– Chancen und Grenzen physikalischer Sichtweisen an einfachen Beispielen aufzeigen.	– Veränderungen der Natur- und Weltbetrachtung innerhalb der Physik erläutern.
	– alternative technische Lösungen unter vorgegebenen Aspekten der Nachhaltigkeit vergleichen und bewerten.	
	– exemplarisch die wechselseitigen Beziehungen zwischen der Entwicklung der Physik und der Entwicklung der Technik aufzeigen.	
	– unter Nutzung ihres physikalischen Wissens Risiken bei Experimenten, im Alltag und bei modernen Technologien erkennen und Sicherheitsmaßnahmen ableiten.	– über den gesellschaftlichen Umgang mit Risiken bei technischen Anwendungen diskutieren.
	– Auswirkungen physikalischer Erkenntnisse in historischen und gesellschaftlichen Zusammenhängen beschreiben.	– die historischen und gesellschaftlichen Bedingungen der Physik reflektieren.
		– die Wissenschaft Physik (Wissen, Methoden, Organisation) als kulturelle Errungenschaft erfassen.

*Beitrag zur Entwicklung der Schlüsselkompetenzen*

Bei der Entwicklung der im Grundsatzband dargestellten Schlüsselkompetenzen leistet der Physikunterricht zur naturwissenschaftlichen Kompetenz einen bedeutenden Beitrag. Darüber hinaus wird bezüglich der weiteren Schlüsselkompetenzen die Herausbildung von Teilkompetenzen unterstützt, die in der Beschreibung der fachspezifischen Kompetenzbereiche berücksichtigt wurden.

*Kompetenzen im Umgang mit digitalen Werkzeugen und Endgeräten*

Zu einer vertieften Allgemeinbildung gehört im Fach Physik auch ein verständiges zielgerichtetes Nutzen von digitalen Medien und Werkzeugen, welches im Physikunterricht fortlaufend und an ausgewiesenen Stellen gezielt zu berücksichtigen ist.

Die Schülerinnen und Schüler erwerben dabei folgende Kompetenzen:

- physikalische Größen mit einem „klassischen“ wissenschaftlichen Taschenrechner berechnen,
- Messwerte mit Sensoren erfassen und mit digitalen Werkzeugen auswerten, d. h. die Werte grafisch darstellen, Mittelwerte berechnen und Trends ermitteln,
- Computeranimationen und -simulationen zur Untersuchung physikalischer Phänomene gezielt durch Variation von Parametern nutzen,
- komplexe Geräte, Anlagen, Verfahren und Zusammenhänge mithilfe digitaler Medien visualisieren,
- digitale Medien und Werkzeuge zur Dokumentation und Präsentation, zur Strukturierung von Fachwissen sowie zur Kommunikation und Kollaboration nutzen.

Das Experimentalpraktikum im Schuljahrgang 10 dient

*Praktika*

- der zielgerichteten Entwicklung von Kompetenzen hinsichtlich der naturwissenschaftlichen Methoden zur Gewinnung von Erkenntnissen,
- einer Evaluierung der Kompetenzentwicklung der einzelnen Schülerin und des einzelnen Schülers, um daraus individuelle Entscheidungen und Maßnahmen für die Gestaltung von Lernwegen oder auch die Kurswahl ableiten zu können.

Das Experimental- und das Aufgabenpraktikum im Schuljahrgang 12 dienen

- der Wiederholung, Systematisierung und Anwendung bereits erworbener Kompetenzen,
- der Erprobung wissenschaftlicher Methoden hinsichtlich aktueller und interessierender Fragestellungen,
- der Entwicklung der Fähigkeit der weitgehend selbstständigen Erarbeitung theoretischer Grundlagen,
- der Entwicklung von Strategien zur Lösung von theoretisch oder experimentell zu bearbeitender Aufgaben,
- der Anwendung der Differential- und Integralrechnung bei der Beschreibung physikalischer Vorgänge.

In den Kursen auf grundlegendem und erhöhtem Anforderungsniveau wird eine individuelle naturwissenschaftlich-technische Handlungskompetenz ausgeprägt. Unterschiede ergeben sich vor allem in Hinblick auf:

*Differenzierung zwischen grundlegendem und erhöhtem Anforderungsniveau*

- Anzahl und Umfang der Kompetenzschwerpunkte,
- Komplexität und Vielfalt der Untersuchungsaspekte,
- Ausmaß und Vielfalt der zu analysierenden Materialien sowie den Grad der Selbstständigkeit bei der Gestaltung des Erkenntnisprozesses,
- theoretische Grundlegung des Erkenntnisprozesses,
- die Modellierung physikalischer Sachverhalte.

### 3 Kompetenzentwicklung in den Schuljahrgängen

#### 3.1 Übersicht

Schuljahrgänge	Kompetenzschwerpunkte
6	Die Naturwissenschaft Physik
	Strahlenoptik
	Eigenschaften und Bewegung von Körpern und Teilchen
	Temperatur und Wärme
	Magnetismus
7/8	Kräfte und ihre Wirkungen
	Elektrischer Strom und seine Wirkungen
	Wärme und Aggregatzustände
	Druck und Auftrieb
	Verhalten von Gasen und technische Anwendungen
	Stromkreise und Elektromagnetismus
9	Beschleunigte Bewegungen und Energiebilanzen
	Elektromagnetische Induktion und Leitungsvorgänge
	Radioaktivität und Kernenergie
10 (Einführungsphase)	Mechanische Schwingungen und Wellen
	Eigenschaften des Lichtes
	Experimentalpraktikum

#### Schuljahrgänge 11/12

#### Qualifikationsphase (Grundlegendes Anforderungsniveau, Dreistündiges Wahlpflichtfach)

Themenbereich	Kompetenzschwerpunkte
Mechanik	Kinematik der Punktmasse
	Dynamik der Punktmasse
Elektrodynamik	Elektrisches Feld
	Magnetisches Feld
	Elektromagnetische Induktion und Wechselstromwiderstände
Ausgewählte Gebiete der nichtklassischen Physik	Spezielle Relativitätstheorie
	Eigenschaften von Quantenobjekten
	Quantenphysikalisches Atommodell

Praktika	Experimentalpraktikum
	Aufgabenpraktikum

**Qualifikationsphase (Erhöhtes Anforderungsniveau)**

Themenbereich	Kompetenzschwerpunkte
Mechanik	Kinematik der Punktmasse
	Dynamik der Punktmasse
	Gravitationsfeld
Elektrodynamik	Elektrisches Feld
	Magnetisches Feld
	Elektromagnetische Induktion und Wechselstromwiderstände
Ausgewählte Gebiete der nichtklassischen Physik	Spezielle Relativitätstheorie
	Eigenschaften von Quantenobjekten
	Quantenphysikalisches Atommodell
Praktika	Experimentalpraktikum
	Aufgabenpraktikum

**Qualifikationsphase (Zweistündiges Wahlpflichtfach)**

Themenbereich	Kompetenzschwerpunkte
Mechanik*	Kinematik der Punktmasse
	Dynamik der Punktmasse
	Analyse von realen Bewegungsvorgängen
Elektrodynamik*	Elektrisches Feld
	Magnetisches Feld
	Elektromagnetische Induktion
	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen
Quantenphysik*	Eigenschaften von Quantenobjekten
	Quantenphysikalisches Atommodell
	Anwendungen der Quantenphysik
Wellen*	Ausbreitung von Wellen
	Anwendungen von Wellen

\* Von den im Zweistündigen Wahlpflichtfach ausgewiesenen vier Themenbereichen sind zwei verbindlich auszuwählen.

## Hinweise zur Darstellung der Kompetenzschwerpunkte

Die angestrebte **Handlungskompetenz** wird durch Teilkompetenzen in den einzelnen Bereichen des Kompetenzmodells nacheinander und getrennt beschrieben. Im Unterricht sind diese wieder zusammenzuführen und in ihrer wechselseitigen Abhängigkeit auszuprägen.

Im Sinne eines Spiralcurriculums werden bei den einzelnen Kompetenzschwerpunkten bereits in der Sekundarstufe I erworbene Kompetenzen und grundlegende Wissensbestände noch einmal aufgeführt, weil bestimmte Aspekte der Vertiefung oder Erweiterung aufgezeigt werden sollen.

Bei der Auswahl und Formulierung der einzelnen Teilkompetenzen im Bereich „Fachwissen erwerben und anwenden“ werden die **Basiskonzepte** in spezifischer Weise immer wieder aufgegriffen.

Die **verbindlichen Schülerexperimente** sind mit unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen durchzuführen:

- Umgang mit Messgeräten und Experimentieranordnungen
- Auffinden gesetzmäßiger Zusammenhänge
- Auswerten und kritisches Reflektieren der Ergebnisse

In den Schuljahrgängen 10 bis 12 können diese Experimente auch in die Experimentalpraktika aufgenommen werden.

Die **grundlegenden Wissensbestände** sind fachlich geordnet dargestellt und beschreiben damit das Wissenssystem nach der Auseinandersetzung mit den Inhalten im Unterricht. Diese Darstellung soll keine Reihenfolge der unterrichtlichen Behandlung nahelegen.

Bezüglich der bei den grundlegenden Wissensbeständen aufgeführten gesetzmäßigen Zusammenhänge und Größen sollen die Schülerinnen und Schüler in der Lage sein,

- eine Gleichung auch unter Zuhilfenahme eines Nachschlagewerkes zu benennen,
- spezielle Abhängigkeiten aus verschiedenen Darstellungsarten (Gleichungen, Diagramme, Wertetabellen) abzuleiten und
- die Gültigkeitsbedingungen anzugeben.

Im Sinne eines motivierenden, lebensweltbezogenen und anschaulichen Unterrichts ist die **sinnvolle Einbettung fachlicher Zusammenhänge in geeignete Kontexte** gezielt vorzunehmen. Das betrifft sowohl den Prozess der Kompetenzentwicklung als auch die Überprüfung des erreichten Standes. Die in den Kompetenzschwerpunkten ausgewiesenen Kompetenzen geben bis auf wenige Ausnahmen keine verbindlichen oder auch vorzugsweise auszuwählenden Kontexte vor.

### 3.2 Schuljahrgang 6

<b>Kompetenzschwerpunkt: Die Naturwissenschaft Physik</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zu grundlegenden physikalischen Größen des Alltags Formelzeichen, gebräuchliche Einheiten und Messgeräte angeben sowie ihre jeweilige Größenordnung abschätzen</li> <li>– Alltagsphänomene der Physik ihren Teilgebieten zuordnen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– für einfache Vorgänge Beobachungskriterien festlegen</li> <li>– bei der Bestimmung von Längen und Zeiten geeignete Messgeräte auswählen und diese sach- und sicherheitsgerecht einsetzen</li> <li>– bei einfachen Vorgängen Vermutungen darüber aufstellen, welche Wirkungen die Veränderung einzelner Bedingungen haben können und diese experimentell überprüfen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– einfache Erscheinungen und Vorgänge aus Natur und Technik hilfsmittelfrei beobachten und das Beobachtete beschreiben</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Plausibilität von Messergebnissen einschätzen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Teilgebiete der Physik</li> <li>– physikalische Größen: Länge, Zeit, Volumen, Masse, Temperatur</li> <li>– Beobachten</li> <li>– Messen</li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bestimmung von Längen und Zeiten</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Strahlenoptik</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Schattenbildung, Reflexion und Bildentstehung mit dem Modell „Lichtstrahl“ erklären und dieses zur zeichnerischen Darstellung des Strahlengangs verwenden</li> <li>– das Reflexionsgesetz in Alltagssituationen anwenden</li> <li>– die Brechung und die Totalreflexion an ebenen Grenzflächen qualitativ beschreiben</li> <li>– die Bildentstehung am ebenen Spiegel und an der Sammellinse beschreiben und die Eigenschaften von Bildern angeben</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– altersgerecht Vermutungen zur Ursache optischer Phänomene äußern</li> <li>– einfache Experimente zur Ausbreitung von Licht an Grenzflächen überwiegend angeleitet planen, durchführen und auswerten</li> <li>– Messergebnisse nach Anleitung in Tabellen und Diagrammen darstellen und als Je-desto-Beziehung auswerten</li> <li>– nach vorgegebenem Schema Protokolle von ausgewählten einfachen Experimenten anfertigen</li> <li>– mögliche Messfehler nennen</li> <li>– Modelle der Strahlenoptik zur Darstellung von Licht-, Schatten- und Halbschattenbereichen anwenden</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nach Anleitung aus vorgegebenen Medien z. B. zu den Finsternissen einzelne Informationen und Daten entnehmen</li> <li>– Beobachtungen, physikalische Zusammenhänge und Arbeitsergebnisse in der Alltagssprache unter Einbeziehung erster Fachbegriffe verständlich mitteilen</li> <li>– altersgerechte Präsentationen der Arbeitsergebnisse erstellen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– einfache optische Phänomene in Alltagszusammenhängen erkennen</li> <li>– die Bilder von Spiegeln, Sammellinsen sowie Lochkamas vergleichen und ihre Qualität bewerten</li> <li>– den Einfluss der Beleuchtung und von reflektierenden Materialien auf die Verkehrssicherheit beurteilen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Modell „Lichtstrahl“, Lichtausbreitung</li> <li>– natürliche und künstliche Lichtquellen, beleuchtete Körper</li> <li>– Schatten: Kernschatten, Halbschatten, Sonnen- und Mondfinsternis</li> <li>– Reflexion, Reflexionsgesetz, ebener Spiegel, Hohlspiegel, diffuse Reflexion</li> <li>– Absorption</li> <li>– Brechung, Brechungsgesetz (qualitativ)</li> <li>– Sammellinsen: Brennpunkt, Brennweite, Bildkonstruktion mit charakteristischen Strahlen, reelle und virtuelle Bilder</li> <li>– Lochkamera und Fotoapparat</li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reflexionsgesetz</li> <li>– Brechungsgesetz (qualitativ)</li> <li>– Bestimmung von Brenn-, Bild- und Gegenstandsweite</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Eigenschaften und Bewegung von Körpern und Teilchen</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reinstoffe und Stoffgemische unterscheiden</li> <li>– typische Stoffeigenschaften angeben</li> <li>– Symbole der Größen Masse, Volumen, Dichte, Weg, Zeit und Geschwindigkeit angeben und deren Einheiten umrechnen</li> <li>– Aggregatzustände unterscheiden</li> <li>– Dichten flüssiger und fester Körper aus vorgegebenen oder gemessenen Massen und Volumina berechnen</li> <li>– Aggregatzustände mithilfe des Zusammenhalts der Teilchen beschreiben</li> <li>– gleichförmige und ungleichförmige Bewegungen unterscheiden</li> <li>– verschiedene Bewegungsformen von Körpern angeben</li> <li>– Geschwindigkeiten bei gleichförmigen Bewegungen und Durchschnittsgeschwindigkeiten bei ungleichförmigen Bewegungen berechnen</li> <li>– die Brown'sche Bewegung als Folge der Stöße der Moleküle erfassen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stoffeigenschaften als Ordnungsprinzip anwenden</li> <li>– Experimente zur Dichte und zur Geschwindigkeit von Körpern nach Vorgaben durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beispiele für Bewegungen von Körpern angeben und als Ortsveränderung beschreiben</li> <li>– s(t)-Diagramme anlegen sowie Wege und Zeiten ablesen und Geschwindigkeiten vergleichen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– aus verschiedenen Messverfahren das geeignete auswählen</li> <li>– Verhaltensregeln im Straßenverkehr begründen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Begriff Körper</li> <li>– Aufbau der Körper aus Stoffen</li> <li>– Volumen, Masse und Dichte von Körpern</li> <li>– Aggregatzustände und Teilchenmodell</li> <li>– Bewegung als Ortsveränderung</li> <li>– Weg, Zeit, Geschwindigkeit (Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit)</li> <li>– Bewegungsarten und -formen im Überblick</li> <li>– gleichförmige und ungleichförmige Bewegung</li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dichte flüssiger und fester Körper</li> <li>– Geschwindigkeit von Körpern</li> </ul>	
<b>Möglichkeiten zur Abstimmung in den Schuljahrgängen 5/6</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mathematik: Zuordnungen, direkte und indirekte Proportionalität (Informationen aus grafischen Darstellungen entnehmen und interpretieren)</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Temperatur und Wärme</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zusammenhang zwischen der Bewegung der Teilchen und der Temperatur eines Körpers erfassen</li> <li>– Längen- und Volumenänderung von Stoffen bei Temperaturänderung mit dem Teilchenmodell erklären</li> <li>– Aggregatzustände von ausgewählten Stoffen bei vorgegebener Temperatur angeben</li> <li>– Wärmeaustausch zwischen Körpern verschiedener Temperaturen beschreiben</li> <li>– natürliche und technische Wärmequellen angeben</li> <li>– Arten der Wärmeübertragung kennen und Beispielen zuordnen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zur Temperaturmessung nach Anleitung durchführen und auswerten</li> <li>– Thermometer geeignet auswählen sowie sach- und sicherheitsgerecht verwenden</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aufbau eines Flüssigkeitsthermometers beschreiben und die Funktionsweise erklären</li> <li>– Verwendung von Thermometern mit digitalen Werkzeugen dokumentieren und Ergebnisse in geeigneter Weise kommunizieren</li> <li>– zeitliche Temperaturverläufe grafisch darstellen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bedeutung der Anomalie des Wassers erläutern</li> <li>– Temperaturempfindung und Temperaturmessung vergleichen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperatur, Thermometer (Skalen nach Celsius, Kelvin, Fahrenheit)</li> <li>– Wärmequellen</li> <li>– Wärmeübertragung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitung</li> <li>• Strömung</li> <li>• Strahlung</li> </ul> </li> <li>– Wirkungen der Temperaturänderung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Längen- und Volumenänderung</li> <li>• Aggregatzustandsänderung</li> </ul> </li> <li>– Anomalie des Wassers</li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperatur von Körpern</li> </ul>	
<b>Möglichkeiten zur Abstimmung in den Schuljahrgängen 5/6</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Biologie: Angepasstheit der Wirbeltiere an Lebensweise und Lebensraum erläutern (Körpertemperatur als wesentliches Merkmal von Wirbeltierklassen)</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Magnetismus</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Magnetfelder als realexistierend erfahren</li> <li>– das System „Magnet – Magnetfeld“ beschreiben</li> <li>– das magnetische Feld als Wirkungsbereich eines Magneten definieren</li> <li>– die Wechselwirkung eines Magneten mit verschiedenen Körpern charakterisieren</li> <li>– Anwendungen von Dauermagneten im Alltag beschreiben</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zum Dauermagnetismus planen sowie nach Vorgaben durchführen und auswerten</li> <li>– unerwünschte Wirkungen von Magneten erkunden und in geeigneter Weise dokumentieren</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Feldlinienbilder von Magneten skizzieren und interpretieren</li> <li>– die Entdeckung des Kompasses sowie seine Nutzung in der Geschichte im Internet recherchieren und adressatengerecht präsentieren</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– störende Einflüsse bei der Bestimmung der Nordrichtung mit dem Kompass erkennen und minimieren</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dauermagnet                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• magnetische Stoffe</li> <li>• Nord- und Südpol</li> <li>• Magnetfeld, Modell „Feldlinien“</li> <li>• Wirkung auf andere Körper</li> </ul> </li> <li>– Magnetfeld der Erde, Kompass</li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kraftwirkungen von Dauermagneten</li> </ul>	

### 3.3 Schuljahrgänge 7/8

<b>Kompetenzschwerpunkt: Kräfte und ihre Wirkungen</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Ortsabhängigkeit der Gewichtskraft eines Körpers und den Unterschied zur Masse eines Körpers erklären</li> <li>– die Gewichtskraft eines Körpers mit der Anziehung zwischen Körper und Erde erklären</li> <li>– die Gewichtskraft eines Körpers berechnen</li> <li>– die Erfahrbarkeit einer Kraft durch Wirkungen beschreiben</li> <li>– Kräfte mittels Pfeildarstellung addieren und subtrahieren</li> <li>– das Hebelgesetz auf einseitige und zweiseitige Hebel anwenden</li> <li>– die mechanische Arbeit für einfache Fälle berechnen</li> <li>– den Energieerhaltungssatz der Mechanik in abgeschlossenen mechanischen Systemen formulieren</li> <li>– Zusammenhänge zwischen der mechanischen Arbeit und der mechanischen Energie angeben</li> <li>– den Wirkungsgrad einer Anlage als Quotient aus nutzbarer und aufgewandter Arbeit berechnen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zum gegenseitigen Einwirken von Körpern planen sowie nach Vorgaben durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das Prinzip einer Kraftmessung erläutern</li> <li>– Kräfte mit Kraftpfeilen darstellen und deren Länge und Richtung als Kraftbetrag und Krafrichtung interpretieren</li> <li>– die Goldene Regel der Mechanik formulieren und auf Beispiele anwenden</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verhaltensregeln im Straßenverkehr ableiten</li> <li>– einschätzen, welche Idealisierungen für die Beschreibung praktischer Probleme mithilfe des Energieerhaltungssatzes der Mechanik notwendig sind</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kraft als vektorielle Größe</li> <li>– Gewichtskraft, Ortsfaktor <math>g \approx 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}</math></li> <li>– Wechselwirkungen von Körpern und ihre Folgen</li> <li>– Addition und Zerlegung von Kräften</li> <li>– mechanische Arbeit für <math>\vec{F} \parallel \vec{s}</math> und <math>F = \text{konst.}</math></li> <li>– mechanische Energie, Energieerhaltungssatz der Mechanik</li> <li>– Hebel und Hebelgesetz</li> <li>– Goldene Regel der Mechanik</li> <li>– einfache kraftumformende Einrichtungen</li> <li>– Wirkungsgrad</li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kraftbetrag und Krafrichtung</li> <li>– Hooke'sches Gesetz</li> <li>– einfache kraftumformende Einrichtungen</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Elektrischer Strom und seine Wirkungen</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Phänomene der statischen Elektrizität erkennen und auf Ladungstrennungen zurückführen</li> <li>– Blitze und andere elektrische Schläge als Beispiele für Entladeströme angeben</li> <li>– die elektrische Ladung mithilfe der Elementarladung beschreiben</li> <li>– die elektrische Spannung als Antrieb des Stromflusses erkennen</li> <li>– die Beeinflussung des elektrischen Stromes durch den Antrieb und die Hemmung beschreiben</li> <li>– die Wirkungen des elektrischen Stromes erläutern</li> <li>– mithilfe des Feldlinienmodells das Feld eines Plattenkondensators beschreiben</li> <li>– das elektrische Feld für die Erläuterung von Kraftwirkungen zwischen geladenen Körpern nutzen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zur Messung elektrischer Größen planen, nach Anleitung durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das elektrische und das magnetische Feld vergleichen und mithilfe des Feldlinienmodells darstellen</li> <li>– die Teile des einfachen Stromkreises erläutern und die Energieumwandlungen beschreiben</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Naturerscheinungen mithilfe von Entladungsvorgängen beschreiben</li> <li>– Größenordnungen der Spannung und der Stromstärke bei elektrostatischen Phänomenen und in Stromkreisen angeben</li> <li>– grundlegende Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen beim Umgang mit elektrischen Geräten erläutern und begründen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Phänomene der Elektrizität</li> <li>– Ladung, Ladungstrennung</li> <li>– anziehende und abstoßende Wirkung</li> <li>– elektrisches Feld, Modell „Feldlinien“, Nachweis des Feldes</li> <li>– elektrisches Feld eines Plattenkondensators</li> <li>– elektrischer Strom</li> <li>– Spannungsquellen</li> <li>– Wirkungen des Stromes und deren Nutzung (Energieumwandlungen)                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmewirkung</li> <li>• Lichtwirkung</li> <li>• magnetische Wirkung (Oersted-Versuch)</li> </ul> </li> <li>– einfacher Stromkreis                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau</li> <li>• Stromstärke und deren Messung</li> <li>• Spannung und deren Messung</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stromstärke- und Spannungsmessungen</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Wärme und Aggregatzustände</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aggregatzustandsänderungen eines Körpers mit dem Teilchenmodell beschreiben</li> <li>– Wärmezufuhr und -abgabe bei Aggregatzustandsänderungen angeben</li> <li>– Bedingungen für das Auftreten ausgewählter Wetterphänomene (z. B. Nebel, Hagel) angeben</li> <li>– einfache thermodynamische Systeme hinsichtlich der Durchlässigkeit ihrer Grenzen kennzeichnen</li> <li>– Beeinflussung des Wärmestromes durch Antrieb und Hemmung beschreiben</li> <li>– Energieerhaltungssatz auf thermodynamische Vorgänge erweitern</li> <li>– einfache Bilanzen für Wärmeaustauschprozesse aufstellen und einzelne Größen berechnen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zu Temperaturverlauf und Wärmeaustausch nach Anleitung durchführen und auswerten</li> <li>– Ursachen für systematische Messfehler erkennen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tabellenwerte aus dem Tafelwerk ermitteln</li> <li>– Analogiebetrachtungen zwischen elektrischem Strom und Wärmestrom vornehmen</li> <li>– Aufbau und die prinzipielle Wirkungsweise eines Sonnenkollektors und eines Treibhauses beschreiben</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bedeutung der spezifischen Wärmekapazität von Wasser und anderen Stoffen in Natur und Technik beurteilen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wärme und Wärmeenergie</li> <li>– thermodynamisches System im Gleich- und Ungleichgewicht</li> <li>– spezifische Wärmekapazität (Wärmespeicher, Kühlmittel)</li> <li>– Grundgleichung der Wärmelehre</li> <li>– Wärmeübertragung, Wärmeaustausch zwischen Körpern                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonnenkollektor</li> <li>• Treibhaus</li> </ul> </li> <li>– Schmelzen und Verdampfen, Kondensieren und Erstarren (ohne spezifische Größen)                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beispiele aus Natur und Technik</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– zeitlicher Temperaturverlauf</li> <li>– Mischungsexperiment</li> </ul>	
<b>Möglichkeiten zur Abstimmung in den Schuljahrgängen 7/8</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Biologie: System und Systemebenen am Beispiel des Menschen unter Einbeziehung seiner Umwelt erklären (Energiewechsel im menschlichen Organismus)</li> <li>– Geographie: Veränderungen der Gestalt der Erde analysieren und erläutern (Plattenbewegungen beschreiben)</li> <li>– Chemie: Chemie als Naturwissenschaft beschreiben (Teilchenmodell und Aggregatzustand)</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Druck und Auftrieb</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mithilfe der Druckgleichung Aussagen über die Vergrößerung und die Verkleinerung des Druckes formulieren</li> <li>– konkrete Druckwerte berechnen und gebräuchliche Einheiten des Druckes angeben</li> <li>– den Druck in Gewässern und in der Luft als Schweredruck deuten</li> <li>– Beispiele für die allseitige Ausbreitung des Druckes in Flüssigkeiten und Gasen angeben</li> <li>– Auftriebskräfte auf Druckunterschiede zurückführen</li> <li>– einen Zusammenhang zwischen der Schwimmfähigkeit eines Körpers und den Dichten von Körper und Flüssigkeit herstellen</li> <li>– das Aufsteigen eines Ballons mithilfe der Gesamtdichte des Ballons und der Gasdichte erklären</li> <li>– Kräfte an Tragflächen von Flugzeugen und Flügeln von Windkraftanlagen in strömender Luft erklären und ihre Nutzung erläutern</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zum Auftrieb planen sowie nach Vorgaben durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das Sinken, Schweben, Aufsteigen und Schwimmen eines Körpers in einer Flüssigkeit erklären</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Entwicklung der Luftfahrt in Verbindung mit historischen Persönlichkeiten darlegen</li> <li>– an Beispielen Analogien von Lösungen in der Natur und in der Technik herstellen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Druck</li> <li>– Auflagedruck</li> <li>– Druck in Flüssigkeiten und Gasen</li> <li>– statischer Auftrieb in Flüssigkeiten und Gasen (Archimedisches Gesetz)</li> <li>– dynamischer Auftrieb</li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– schwimmende, schwebende und sinkende Körper</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Verhalten von Gasen und technische Anwendungen</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das Vielteilchensystem auf Gase übertragen</li> <li>– den 1. Hauptsatz der Thermodynamik zur Beschreibung ausgewählter Prozesse anwenden</li> <li>– den prinzipiellen Aufbau eines Verbrennungsmotors beschreiben und seine Funktionsweise analysieren</li> <li>– den prinzipiellen Aufbau eines Kühlschranks oder einer Wärmepumpe beschreiben und seine/ihre Wirkungsweise erklären</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zusammenhänge zwischen den Zustandsgrößen qualitativ erkennen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Energieflussdiagramme bei technischen Anwendungsbeispielen darstellen bzw. auswerten</li> <li>– bei der Beschreibung bzw. Erklärung genannter Geräte oder Abläufe auch geeignete digitale Medien (Bilder, Videosequenzen oder Animationen) nutzen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Umweltproblematik von Verbrennungsmotoren aufzeigen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zustandsgrößen Druck, Volumen, Temperatur und innere Energie</li> <li>– Volumenarbeit</li> <li>– 1. Hauptsatz der Thermodynamik</li> <li>– technische Anwendungen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Otto- oder Dieselmotor</li> <li>• Kühlschrank oder Wärmepumpe</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Möglichkeiten zur Abstimmung in den Schuljahrgängen 7/8</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Chemie: Bestandteile der Luft charakterisieren (Luftschadstoffe benennen)</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Stromkreise und Elektromagnetismus</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den elektrischen Widerstand eines Bauelementes mithilfe des Teilchenmodells beschreiben sowie aus Spannung und Stromstärke berechnen</li> <li>– die Abhängigkeiten des elektrischen Widerstandes eines geraden Leiters beschreiben und anwenden</li> <li>– die Funktionsweise der Potentiometerschaltung erläutern</li> <li>– Stromstärken, Spannungen, Widerstände und Leistungen berechnen</li> <li>– die Energieaufteilung in Reihen- und Parallelschaltungen beschreiben</li> <li>– das Magnetfeld um stromführende Leiter und um Spulen beschreiben und mit dem Feld eines Dauermagneten vergleichen</li> <li>– den Zusammenhang von Magnetfeld, Stromstärke und Kraftwirkung hinsichtlich Betrag und Richtung erläutern (UVW-Regel)</li> <li>– Fachbegriffe und Fachwissen zum Sachgebiet auch unter Verwendung digitaler Werkzeuge strukturieren und festigen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das elektromotorische Prinzip durch experimentelle Untersuchungen gewinnen</li> <li>– elektrische Messgeräte sach- und sicherheitsgerecht einsetzen</li> <li>– Experimente zum Zusammenhang zwischen elektrischen Größen nach Anleitung durchführen und auswerten</li> <li>– zufällige und systematische Messfehler und deren Ursachen erkennen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den Aufbau eines Gleichstrommotors beschreiben und seine prinzipielle Wirkungsweise erklären</li> <li>– Anwendungen von Elektromotoren erkunden und die Ergebnisse präsentieren</li> <li>– das Energieflussdiagramm eines Elektromotors erläutern und den Wirkungsgrad bestimmen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den Energiebedarf im Haushalt nach Leistung und Zeitdauer ermitteln und daraus das energiebewusste Handeln beim Einsatz von Elektroenergie an Beispielen begründen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zusammenhang von Spannung und Stromstärke                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ohm'sches Gesetz: <math>I \sim U</math> bei konstanter Temperatur</li> <li>• elektrischer Widerstand</li> <li>• Widerstandsgesetz</li> </ul> </li> <li>– elektrische Arbeit</li> <li>– elektrische Leistung</li> <li>– Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesetzmäßigkeiten</li> <li>• Anwendungen, Potentiometerschaltung</li> </ul> </li> <li>– Elektromagnet</li> <li>– elektromotorisches Prinzip</li> <li>– Gleichstrommotor</li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kennlinie eines Bauelementes</li> <li>– Bestimmung der Spannungen, Stromstärken und Widerstände in Reihen- und Parallelschaltungen</li> </ul>	

### 3.4 Schuljahrgang 9

<b>Kompetenzschwerpunkt: Beschleunigte Bewegungen und Energiebilanzen</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– konkreten Bewegungen ihre zugehörigen Bewegungsformen und Bewegungsarten zuordnen</li> <li>– Körperbewegungen in unterschiedlichen Bezugssystemen beschreiben</li> <li>– die Bewegungsgesetze auf einfache Realbewegungen übertragen und anwenden</li> <li>– die Newton’schen Gesetze in Zusammenhängen anwenden</li> <li>– die Größengleichung der Reibungskraft angeben und im konkreten Zusammenhang anwenden</li> <li>– Bewegungszustandsänderungen auf Wechselwirkungen zurückführen</li> <li>– die Größengleichungen für die potentielle und kinetische Energie angeben und anwenden</li> <li>– die bei konkreten Bewegungsvorgängen auftretende Reibungsarbeit berechnen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zu Bewegungsvorgängen mit und ohne Reibung planen sowie nach Vorgaben durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die in den drei Newton’schen Gesetzen zusammengefassten Erfahrungen erläutern</li> <li>– Bewegungen von Körpern in geeigneten Diagrammen veranschaulichen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das Trägheitsgesetz für konstante Massen und sich aufhebende Kräfte plausibel machen</li> <li>– das Scheitern von Experimenten zum Nachweis der Erddrehung zu Zeiten von Galilei diskutieren</li> <li>– an Beispielen erläutern, dass die Bewegung von Körpern nicht immer eindeutig vorhersagbar ist</li> <li>– auf den Straßenverkehr bezogene Sach- und Anwendungsaufgaben selbstständig lösen und eine sachgerechte Beurteilung der Ergebnisse vornehmen</li> <li>– die Bedeutung der Vergrößerung bzw. Verkleinerung der Reibung im Alltag (Haushalt, Sport, Verkehr) reflektieren</li> </ul>

**Grundlegende Wissensbestände**

- Bezugssysteme
- Beschleunigung
- Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung ohne Anfangsbedingungen
  - $s(t)$ -,  $v(t)$ - und  $a(t)$ -Diagramme
- Beispiele für Bewegungen auch mit Anfangsbedingungen
- Fallbewegungen
  - der freie Fall als Spezialfall der gleichmäßig beschleunigten Bewegung
  - Fallbeschleunigung  $g$
- Newton'sche Axiome
- mechanische Arbeit und mechanische Energie
  - Beschleunigungsarbeit und kinetische Energie
  - Hubarbeit und potentielle Energie
- Reibung
  - Normalkraft
  - Reibungskraft
  - Reibungsarbeit

**Verbindliche Schülerexperimente**

- gleichmäßig beschleunigte Bewegungen
- Haft- und Gleitreibung

<b>Kompetenzschwerpunkt: Elektromagnetische Induktion und Leitungsvorgänge</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das Entstehen einer Induktionsspannung erläutern</li> <li>– die Selbstinduktion als Rückwirkung des Magnetfeldes der felderzeugenden Spule beschreiben</li> <li>– für den Wechselstromgenerator den zeitlichen Verlauf von Spannung und Stromstärke darstellen und die Bedeutung der Effektivwerte beschreiben</li> <li>– für den idealen Transformator Spannungen, Stromstärken, Windungszahlen und übertragene Leistungen berechnen</li> <li>– die Wirkung der Belastung auf die Vorgänge im Transformator beschreiben</li> <li>– den Aufbau von reinen und dotierten Halbleitern beschreiben und elektrische Eigenschaften ableiten</li> <li>– das Entstehen einer Grenzschicht beim p-n-Übergang erklären</li> <li>– die Freisetzung zusätzlicher Ladungsträger durch Lichteinfall beschreiben</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zur Ermittlung der Abhängigkeiten der Größe der Induktionsspannung auswerten</li> <li>– Experimente an ausgewählten Geräten und Bauelementen nach Vorgaben durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den prinzipiellen Aufbau von Wechselstromgenerator und Transformator beschreiben und deren Wirkungsweisen erklären</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Vorteile der Transformierbarkeit der elektrischen Wechselspannung an Beispielen erläutern</li> <li>– den Einsatz von Glühlampen und Leuchtdioden (LED) unter den Aspekten der Nachhaltigkeit vergleichen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Induktionsgesetz</li> <li>– elektromagnetische Induktion                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• bei veränderlicher wirksamer Fläche (Generatorprinzip)</li> <li>• bei veränderlichem Magnetfeld (Transformatorprinzip)</li> </ul> </li> <li>– Induktionsstrom, Lenz'sches Gesetz</li> <li>– Selbstinduktion</li> <li>– Wechselstromgenerator</li> <li>– Transformator</li> <li>– elektrische Leitungsvorgänge (allgemeines Leitungsmodell)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metalle</li> <li>• Halbleiter (Anwendungen: Diode, Leuchtdiode (LED), Solarzelle)</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Spannungsübersetzung am unbelasteten Transformator</li> <li>– Kennlinie eines Halbleiterbauelementes</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Radioaktivität und Kernenergie</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den Aufbau von Atomkernen mithilfe des Periodensystems der Elemente beschreiben</li> <li>– die Vorgänge im Atomkern bei der Entstehung der verschiedenen Strahlungsarten mit Zerfallsgleichungen beschreiben</li> <li>– den radioaktiven Zerfall als stochastischen Prozess erläutern</li> <li>– die Zerfallskurve diskutieren</li> <li>– die Wirkungen von radioaktiver Strahlung auf Stoffe beschreiben</li> <li>– das Verhalten radioaktiver Strahlung in elektrischen und magnetischen Feldern erläutern</li> <li>– Möglichkeiten zum Nachweis radioaktiver Strahlung nennen</li> <li>– die Energiefreisetzung beim Kernzerfall mit der Verringerung der Kernmasse begründen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zu Eigenschaften radioaktiver Strahlung planen und auswerten</li> <li>– aus Daten die Aktivität (Mittelwert und Streuung) eines radioaktiven Präparates bestimmen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die zeitliche Veränderung der Aktivität grafisch darstellen bzw. aus diesen Darstellungen Informationen entnehmen</li> <li>– die prinzipielle Wirkungsweise von technischen Anwendungen radioaktiver Strahlung recherchieren und darstellen</li> <li>– das Prinzip der C14-Methode zur Altersbestimmung erläutern und die Genauigkeit dieser Methode diskutieren</li> <li>– den prinzipiellen Aufbau eines Druckwasserreaktors beschreiben und seine Wirkungsweise erläutern</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Ambivalenz der Anwendung von Radionukliden in der Medizin diskutieren</li> <li>– das Festlegen von Grenzwerten bei der Arbeit mit radioaktiven Stoffen am Beispiel ausgewählter Berufsgruppen begründen</li> <li>– die radioaktive Strahlung energetisch (und damit hinsichtlich der Wirkung) mit anderen Strahlungsarten vergleichen</li> <li>– aus den Eigenschaften radioaktiver Strahlung Verhaltensregeln ableiten</li> <li>– die Energiebereitstellung durch Kernkraftwerke unter den Aspekten der Nachhaltigkeit auch unter Verwendung digitaler Werkzeuge recherchieren und diskutieren</li> </ul>

**Grundlegende Wissensbestände**

- Atomkern
  - Aufbau, Nukleonen, Isotope
  - atomare Masseneinheit, relative Atommasse
- natürliche Kernumwandlung (Spontanzerfall)
  - Strahlungsarten, Eigenschaften, Nachweismöglichkeiten
  - Aktivität, Halbwertszeit
  - Zerfallskurve
  - Kernzerfall als stochastischer Prozess
- Wirkung radioaktiver Strahlung
  - natürliche Quellen radioaktiver Strahlung, Nullrate
  - thermische und ionisierende Wirkungen
  - deterministische und stochastische Wirkungen
  - dosimetrische Größen: Energiedosis, Äquivalentdosis
  - Strahlenschutz
- Anwendung radioaktiver Strahlung
  - Bestrahlungsverfahren, Durchstrahlungsverfahren, Markierungsverfahren
- Kernspaltung
  - Kettenreaktion, kritische Masse
  - Energieumwandlung
  - Kernkraftwerk: Aufbau, Wirkungsweise, Probleme (Betriebssicherheit, Endlagerung)

**Möglichkeiten zur Abstimmung im Schuljahrgang 9**

- Mathematik: Daten und Zufall (Lage- und Streumaße von Häufigkeitsverteilungen ermitteln und interpretieren)
- Ethik: Praktische Diskurse analysieren (strategische und praktische Diskurse)

### 3.5 Schuljahrgang 10 (Einführungsphase)

<b>Kompetenzschwerpunkt: Mechanische Schwingungen und Wellen</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Entstehung mechanischer Schwingungen beschreiben</li> <li>– Energiebilanzen und Energieumwandlungen in schwingenden Systemen aufstellen und beschreiben</li> <li>– gedämpfte Schwingungen auf Energieverluste zurückführen</li> <li>– Schwingungen als Ursache von Schall und das Hören als Aufnahme von Schallschwingungen durch das Ohr identifizieren</li> <li>– die Ausbreitung mechanischer Wellen beschreiben und mit dem Huygens’schen Prinzip deuten</li> <li>– die Kopplung von Oszillatoren des Wellenträgers sowie die Notwendigkeit eines Trägermediums für mechanische Wellen begründen</li> <li>– harmonische Schwingungen und Wellen mithilfe der Kenngrößen beschreiben</li> <li>– harmonische Wellen mit Gangunterschied, Kohärenz und Phase vergleichen</li> <li>– longitudinale und transversale Wellen vergleichen</li> <li>– Polarisierbarkeit als Eigenschaft transversaler Wellen beschreiben</li> <li>– Grundgrößen der Akustik nennen und anwenden</li> <li>– hörbaren Schall von Infra- und Ultraschall unterscheiden</li> <li>– die Speicherung von Energie in stehenden Wellen erkennen</li> <li>– Interferenzphänomene für stehende Wellen beschreiben und erklären</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Gleichung für die Periodendauer eines Federschwingers oder Fadenpendels anwenden</li> <li>– den Schall elektronisch aufzeichnen und nach Kriterien auswerten</li> <li>– ein Experiment zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit auswerten</li> <li>– Experimente zu mechanischen Schwingungen planen, durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– harmonische und gedämpfte Schwingungen grafisch darstellen</li> <li>– die Sinuskurve mithilfe des Einheitskreises zur grafischen Beschreibung von harmonischen Schwingungen verwenden</li> <li>– den Aufbau einfacher technischer Geräte zur Anwendung des Schalls beschreiben und deren Wirkungsweise erklären</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– an ausgewählten Beispielen empirische Daten realer Schwinger hinsichtlich der Grenzen des Modells „Harmonischer Oszillator“ beurteilen</li> <li>– am Beispiel der Resonanz eines schwingenden Systems die Auswirkungen der Erregerfrequenz und der Dämpfung auf die Amplitude beschreiben und beurteilen</li> <li>– Beispiele beschreiben, bei denen die Kopplung zwischen Schwingern zu chaotischen Bewegungen führen kann</li> <li>– Auswirkungen von Schall auf Menschen im Alltag sowie in ausgewählten Berufen erläutern und geeignete Schutzmaßnahmen gegen die Gefährdungen durch Schall diskutieren</li> </ul>

<b>Grundlegende Wissensbestände</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– mechanische Schwingungen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwingungsbegriff, Arten und Merkmale, Voraussetzungen für die Entstehung</li> <li>• Kenngrößen</li> <li>• Aufzeichnung, Darstellung und Beschreibung im <math>y(t)</math>-Diagramm</li> <li>• Energieumwandlungen</li> <li>• Modell „Harmonischer Oszillator“</li> </ul> </li> <li>– Federschwinger oder Fadenpendel                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Periodendauer</li> <li>• Phasen einer Schwingung, Phasendifferenz, Einheitskreis</li> <li>• <math>y(t) = y_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)</math></li> </ul> </li> <li>– ungedämpfte und gedämpfte Schwingungen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Idealfall und Realfall, Darstellung im <math>y(t)</math>-Diagramm</li> <li>• Ursachen der Dämpfung</li> <li>• Anwendungen gedämpfter Schwingungen</li> </ul> </li> <li>– freie und erzwungene Schwingungen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eigenschwingung, Eigenfrequenz, erzwungene Schwingungen</li> <li>• Resonanz, Resonanzkurve</li> </ul> </li> <li>– Schallschwingungen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tonhöhe und Frequenz, Amplitude und Lautstärke, Töne und Klänge</li> <li>• Hörbereiche, Lärm und Lärmschutz</li> </ul> </li> <li>– mechanische Wellen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wellenbegriff, Arten und Merkmale</li> <li>• Voraussetzungen für die Entstehung, Kopplung, Energietransport</li> <li>• Kenngrößen</li> <li>• Darstellung im <math>y(t)</math>-Diagramm und <math>y(s)</math>-Diagramm</li> <li>• Ausbreitung, Ausbreitungsgeschwindigkeit</li> </ul> </li> <li>– Transversal- und Longitudinalwellen und deren Ausbreitung</li> <li>– Eigenschaften mechanischer Wellen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Huygens'sches Prinzip</li> <li>• Reflexion mit und ohne Phasensprung, Brechung, Beugung</li> <li>• Interferenz, Begriffe: Gangunterschied <math>\Delta s</math> mit <math>\frac{\Delta s}{\Delta \varphi} = \frac{\lambda}{2\pi}</math> und Kohärenz</li> <li>• Polarisation von Transversalwellen</li> </ul> </li> <li>– stehende Wellen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Begriff, Voraussetzungen für die Entstehung</li> <li>• Schwingungsknoten, Schwingungsbäuche</li> <li>• Speicherung von Energie</li> </ul> </li> <li>– Schallwellen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kenngrößen</li> <li>• Schallgeschwindigkeit und deren Messung</li> <li>• Infraschall, Ultraschall</li> <li>• Anwendungen in Natur, Technik und Medizin</li> </ul> </li> </ul>
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Federschwinger oder Fadenpendel</li> <li>– erzwungene Schwingung und Resonanz</li> </ul>

<b>Kompetenzschwerpunkt: Eigenschaften des Lichtes</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Licht als elektromagnetischen Sachverhalt beschreiben und in das elektromagnetische Spektrum einordnen</li> <li>– die Brechung von Licht beschreiben</li> <li>– das Fermat'sche Prinzip als grundlegendes Naturgesetz anschaulich beschreiben</li> <li>– das Brechungsgesetz quantitativ herleiten</li> <li>– die Abbildungsgleichung und den Abbildungsmaßstab für dünne Linsen herleiten und anwenden</li> <li>– Infrarot-, Licht- und Ultraviolettstrahlung unterscheiden und mit Beispielen ihre jeweilige Wirkung beschreiben</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hypothesen zum Strahlenverlauf an Linsen und zur Interferenz des Lichtes am Doppelspalt aufstellen sowie geeignete Untersuchungen und Experimente zur Überprüfung planen, durchführen und auswerten</li> <li>– Experimente zur Ausbreitung und Wellennatur des Lichtes planen, durchführen und quantitativ auswerten</li> <li>– Phänomene der Wellenoptik beobachten, beschreiben und erklären</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den Verlauf und die Ergebnisse der Arbeit sach- und situationsgerecht dokumentieren und präsentieren</li> <li>– Daten angemessen mit sprachlichen, mathematischen oder bildlichen Mitteln veranschaulichen</li> <li>– Zusammenhänge zwischen optischen Phänomenen (Dispersion, Polarisation, Streuung) und Alltagserfahrungen herstellen</li> <li>– Sachverhalte und Phänomene der Wellenoptik unter Verwendung der Fachsprache im Wellenmodell mit geeigneten Analogien und Darstellungen beschreiben, veranschaulichen und erklären</li> <li>– den Aufbau eines Fernrohres beschreiben und die Funktionsweise mit dem Strahlenmodell erläutern</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Anwendbarkeit des Strahlen- bzw. Wellenmodells des Lichtes beurteilen</li> <li>– die Entwicklung der Erkenntnisse der Physik am Beispiel des Lichtes darstellen</li> </ul>

**Grundlegende Wissensbestände**

- Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Medien und im Vakuum
- Fermat'sches Prinzip (qualitativ)
- Brechungsgesetz (quantitativ)
- Totalreflexion, Lichtleiter
- Bildentstehung an Sammellinsen
  - Abbildungsgleichung
  - Abbildungsmaßstab
- Strahlengang am Fernrohr
- Wellenmodell des Lichtes
  - Phänomene Dispersion, Polarisierung und Streuung
  - Interferenz durch Beugung am Doppelspalt und Gitter in der Form  $d \cdot \sin \alpha = k \cdot \lambda$
  - Farben an dünnen Schichten
  - Licht als elektromagnetischer Sachverhalt
  - Wellenlängen und Frequenzen von monochromatischem Licht
- Wellenlängenbereiche des Spektrums, einschließlich Röntgenstrahlung
- Spektren und Spektralanalyse
  - Aspekt Aussehen: kontinuierliches Spektrum, Linienspektrum
  - Aspekt Entstehung: Emissions- und Absorptionsspektrum
  - Aspekt Erzeugung: Gitter- und Prismenspektrum

**Verbindliche Schülerexperimente**

- Brechungsgesetz
- Interferenz

<b>Kompetenzschwerpunkt: Experimentalpraktikum</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Einheiten, Merkmale und Messmöglichkeiten wesentlicher physikalischer Größen angeben</li> <li>– Zusammenhänge zwischen ausgewählten elektrischen, mechanischen, optischen und thermodynamischen Größen darstellen und zur Beschreibung realer Vorgänge nutzen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zu gegebenen Problemstellungen planen</li> <li>– selbstständig Experimente nach Vorgaben durchführen und auswerten:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung einer physikalischen Größe</li> <li>• Bestimmung des Zusammenhangs zwischen zwei physikalischen Größen</li> </ul> </li> <li>– unter Anleitung Messwerte mit Sensoren erfassen und mithilfe digitaler Werkzeuge auswerten oder eine Videoanalyse durchführen</li> <li>– den Verlauf von Experimenten mithilfe digitaler Werkzeuge und Geräte dokumentieren und die Ergebnisse auswerten</li> <li>– vorgegebene Größen zielgerichtet verändern bzw. konstant halten</li> <li>– bereitgestellte elektrische und nichtelektrische Messgeräte sicher einsetzen</li> <li>– den Einfluss von Messfehlern auf das Ergebnis beschreiben und Möglichkeiten zur Verringerung von Messfehlern aufzeigen</li> <li>– Konstanten in vorgegebenen mathematischen Zusammenhängen aus Messwerten ermitteln</li> <li>– aus Messwerten einfache mathematische Zusammenhänge ableiten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lehrbücher, Kompendien und andere Quellen zur Vorbereitung und Auswertung der Experimente nutzen</li> <li>– das Vorgehen zur Lösung physikalischer Probleme unter Einbeziehung von Experimenten diskutieren</li> <li>– das Vorgehen und die Ergebnisse von Experimenten in Texten, Tabellen und Skizzen zusammenhängend darstellen und präsentieren</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– verschiedene Möglichkeiten der Durchführung der Experimente vergleichen und bewerten</li> <li>– Risiken und Sicherheitsmaßnahmen beim Experimentieren mithilfe physikalischen Wissens bewerten und entsprechend berücksichtigen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– experimentelle Methode</li> <li>– Verallgemeinerung, Gesetz</li> <li>– zufällige und systematische Messfehler</li> </ul>	
<b>Möglichkeiten zur Abstimmung im Schuljahrgang 10</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Chemie: Experimentelle Untersuchungen durchführen und auswerten</li> </ul>	

### 3.6 Schuljahrgänge 11/12 (Qualifikationsphase)

#### 3.6.1 Grundlegendes Anforderungsniveau

##### Themenbereich: Mechanik

<b>Kompetenzschwerpunkt: Kinematik der Punktmasse</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kinematische Abläufe mit dem Modell „Punktmasse“ beschreiben</li> <li>– kinematische Problemstellungen innerhalb der Anwendungsgrenzen bearbeiten</li> <li>– verschiedene Bewegungen als ungestörte Überlagerung einzelner Bewegungen beschreiben</li> <li>– die gleichförmige Kreisbewegung als beschleunigte Bewegung charakterisieren</li> <li>– die Würfe ordnen, Bahngleichungen entwickeln und daraus die Wurfweite und die Wurfhöhe mathematisch ableiten</li> <li>– Bewegungen bezüglich eines Bezugssystems beschreiben</li> <li>– die Bewegungsgleichungen für die gleichförmige und die gleichmäßig beschleunigte Bewegung herleiten und anwenden</li> <li>– den Bewegungszustand eines Körpers auch energetisch beschreiben</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zu den Momentanwerten des Weges und der Geschwindigkeit sowie zur ungestörten Überlagerung von Bewegungen planen, durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bewegungen verbal mittels geeigneter physikalischer Größen und mithilfe von Diagrammen beschreiben</li> <li>– <math>s(t)</math>-, <math>v(t)</math>- und <math>a(t)</math>-Diagramme zeichnen, interpretieren und daraus Größen ermitteln</li> <li>– aus Messwerten mithilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen Grafen erzeugen und Trends einzeichnen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Grenzen des Modells „Punktmasse“ benennen</li> <li>– Vorsichtsmaßnahmen im Straßenverkehr mit physikalischen Gesetzen begründen</li> </ul>

<b>Grundlegende Wissensbestände</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modell „Punktmasse“</li> <li>- Bewegung in Systemen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewegungsarten und Bewegungsformen</li> <li>• Inertialsysteme und beschleunigte Bezugssysteme</li> <li>• Relativbewegungen</li> </ul> </li> <li>- vektorielle Größen der Translation</li> <li>- Superpositionsprinzip</li> <li>- Momentangrößen von Geschwindigkeit und Beschleunigung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>v(t) = \frac{ds}{dt} = \dot{s}</math> und <math>a(t) = \frac{dv}{dt} = \dot{v}</math></li> </ul> </li> <li>- gleichförmige Kreisbewegungen</li> <li>- Bewegungsgesetze für gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen mit Anfangsbedingungen</li> <li>- ungestörte Überlagerung von Bewegungen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• senkrechter Wurf</li> <li>• waagerechter Wurf</li> </ul> </li> </ul>
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Messreihen zu Momentangrößen (s, v)</li> <li>- Bahn eines Wurfes</li> </ul>
<b>Möglichkeiten zur Abstimmung in den Schuljahrgängen 11/12</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mathematik: Grundlagen der Infinitesimalrechnung</li> </ul>

<b>Kompetenzschwerpunkt: Dynamik der Punktmasse</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Kraft als Wechselwirkungsgröße beschreiben</li> <li>– die Newton’schen Axiome begründet anwenden</li> <li>– den Impuls als Zustandsgröße charakterisieren</li> <li>– die Energieerhaltung und die Impulserhaltung in einem abgeschlossenen mechanischen System beschreiben und anwenden</li> <li>– zentrale vollkommen elastische bzw. unelastische Stöße beschreiben und zuordnen</li> <li>– die den Vorgang bestimmenden Größen bei unterschiedlichen Stoßvorgängen berechnen</li> <li>– Bilanzgleichungen für die Erhaltungsgrößen Impuls und Energie aufstellen und auswerten</li> <li>– die Geschwindigkeiten zweier Körper nach einem unelastischen Stoß mithilfe des Energie- und Impulserhaltungssatzes herleiten</li> <li>– den Energieerhaltungssatz unter Einbindung der mechanischen Arbeit anwenden</li> <li>– anhand von komplexen Anwendungsaufgaben den Energieerhaltungssatz und den Impulserhaltungssatz als Grundlage für die Entwicklung von Lösungsstrategien bewusst anwenden</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– hypothesengeleitete Experimente zur Reibung und zu Stoßvorgängen planen, durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flächen im <math>F(s)</math>-Diagramm als Arbeit interpretieren und auswerten</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Abgeschlossenheit von mechanischen Systemen im Kontext der Erhaltungssätze bewerten</li> <li>– die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile 1. Art mit dem Energieerhaltungssatz begründen</li> <li>– erkennen, dass der Impulserhaltungssatz bei Stößen universeller anwendbar ist als der Energieerhaltungssatz</li> <li>– die Anwendbarkeit der Stoßgesetze auf reale Vorgänge diskutieren</li> <li>– Stoßvorgänge im Straßenverkehr</li> </ul>

<b>Grundlegende Wissensbestände</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– Kraft als Wechselwirkungsgröße<ul style="list-style-type: none"><li>• Wechselwirkungskraft</li><li>• Gleichgewichtskraft</li><li>• Trägheitskraft</li><li>• Reibungskräfte</li><li>• Radialkraft</li></ul></li><li>– vektorielle Addition und Zerlegung von Kräften<ul style="list-style-type: none"><li>• geneigte Ebene</li><li>• Kurvenüberhöhung</li></ul></li><li>– Kräftebilanzen</li><li>– Energieerhaltungssatz der Mechanik<ul style="list-style-type: none"><li>• Energie als Erhaltungsgröße im abgeschlossenen System</li><li>• Perpetuum mobile 1. Art und seine Unmöglichkeit</li></ul></li><li>– allgemeiner Energieerhaltungssatz</li><li>– mechanische Arbeit<ul style="list-style-type: none"><li>• Arten der mechanischen Arbeit (Hub-, Beschleunigungs-, Reibungs- und Verformungsarbeit)</li><li>• Arbeit im <math>F(s)</math>-Diagramm</li><li>• Bilanzgleichungen unter Einbeziehung der Reibungsarbeit</li><li>• Leistung und Wirkungsgrad</li></ul></li><li>– Impuls und Impulserhaltung<ul style="list-style-type: none"><li>• Impuls als Erhaltungsgröße</li><li>• Impulserhaltungssatz</li></ul></li><li>– zentrale elastische und unelastische Stoßvorgänge<ul style="list-style-type: none"><li>• Bilanzgleichungen für Impuls und Energie, Anwendungen</li></ul></li></ul>
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– Bestimmung von Haft- und Gleitreibungszahlen</li><li>– Untersuchung von Stößen</li></ul>

**Themenbereich: Elektrodynamik**

<b>Kompetenzschwerpunkt: Elektrisches Feld</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elektrische Felder qualitativ und quantitativ unter Einbeziehung des Modells „Feldlinien“ und der Feldstärke beschreiben</li> <li>- Nachweismöglichkeiten für das elektrische Feld beschreiben</li> <li>- das Coulomb'sche Gesetz interpretieren und mithilfe des Gesetzes Berechnungen durchführen</li> <li>- den Zusammenhang von elektrischen und konstruktiven Größen am Plattenkondensator quantitativ beschreiben</li> <li>- die Kraftwirkungen zwischen geladenen Körpern in elektrischen Feldern beschreiben und zur Erklärung von Bewegungen von elektrisch geladenen Körpern nutzen</li> <li>- Bewegungen elektrisch geladener Körper in elektrischen Feldern unter Beachtung des freien Falls mithilfe des Superpositionsprinzips beschreiben</li> <li>- die Bewegung elektrisch geladener Körper energetisch beschreiben und den Energieerhaltungssatz zur Berechnung der Bewegung elektrisch geladener Teilchen nutzen</li> <li>- das Entladen eines Kondensators auch quantitativ beschreiben und berechnen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Experimente zum Entladen eines Kondensators planen, durchführen und auswerten</li> <li>- die Durchführung und statistische Auswertung des Millikan-Versuches erläutern</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- die Bewegung von Ladungsträgern im elektrischen Feld beschreiben und mit dem waagerechten Wurf vergleichen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- die Bedeutung der Quantisierung der Ladung als Ergebnis des Millikan-Versuches darstellen</li> </ul>

**Grundlegende Wissensbestände**

- elektrische Ladung
- elektrostatisches Feld
  - elektrische Ladungen als Quelle
  - Nachweismöglichkeiten
  - homogene und inhomogene Felder
  - Modell „Feldlinien“
  - Kraftwirkung zwischen geladenen Körpern, Influenz
  - elektrische Feldstärke
  - Coulomb'sches Gesetz
- elektrisches Feld eines Plattenkondensators
  - Struktur des Feldes
  - Feldstärke
  - Kapazität unter Beachtung der Geometrie
  - Energie des elektrischen Feldes
  - Entladung eines Kondensators
- Bewegung von Ladungsträgern im elektrischen Feld
  - Anwendungen: Elektronenstrahlröhre und Linearbeschleuniger
- Bestimmung der Elementarladung
  - Millikan-Versuch (Schwebemethode)

**Verbindliche Schülerexperimente**

- Aufnahme der Entladekurve eines Kondensators

<b>Kompetenzschwerpunkt: Magnetisches Feld</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das magnetische Feld von Dauermagneten, stromführenden Leitern und Spulen mit dem Modell „Feldlinien“ und quantitativ beschreiben</li> <li>– die Entstehung der Lorentzkraft erklären und ihre Wirkungen mithilfe der UVW-Regel folgern</li> <li>– die Wirkungen von magnetischen Feldern auf die Bewegung von Ladungsträgern erklären und berechnen</li> <li>– das magnetische Feld als Träger von Energie erläutern</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– einen Versuch zur Bestimmung der spezifischen Ladung beschreiben und auswerten</li> <li>– die Bestimmung der Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes beschreiben</li> <li>– Experimente zum Magnetismus planen, durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das elektromotorische Prinzip beschreiben und Richtungsbeziehungen am Beispiel des Schaukelversuches erläutern</li> <li>– den Aufbau des Massenspektrographen beschreiben sowie seine prinzipielle Wirkungsweise erklären</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die idealisierte Beschreibung von elektrischen und magnetischen Feldern mit der Realität vergleichen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– magnetisches Feld                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dauermagnet, Komponenten des Erdmagnetfeldes, stromdurchflossener Leiter (Oersted-Versuch) und stromdurchflossene Spule</li> <li>• Feldformen, Modell „Feldlinien“</li> </ul> </li> <li>– magnetische Flussdichte: <math>B = \frac{F}{l \cdot \ell}</math> mit <math>\vec{l} \perp \vec{B}</math>, <math>\vec{l} \perp \vec{F}</math> und <math>\vec{B} \perp \vec{F}</math></li> <li>– Bewegung von Ladungsträgern im homogenen magnetischen Feld                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lorentzkraft in der Form <math>F_L = Q \cdot v \cdot B</math></li> <li>• Bestimmung der spezifischen Ladung eines Elektrons</li> </ul> </li> <li>– homogenes magnetisches Feld einer stromdurchflossenen Spule</li> <li>– Massenspektrograph</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Elektromagnetische Induktion und Wechselstromwiderstände</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die bei Versuchen zur Induktion beobachtbaren Phänomene erklären</li> <li>– den Zusammenhang zwischen den Baugrößen einer Spule und ihrer Induktivität beschreiben</li> <li>– das Auftreten einer Induktionsspannung unter Verwendung des Induktionsgesetzes erklären, ihre Größe berechnen und die Induktivität einer Spule ableiten</li> <li>– die Energieerhaltung erklären und den Energieerhaltungssatz dabei anwenden</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Induktionsspannungen als Ergebnis der wirkenden Lorentzkraft auf die Ladungsträger eines in einem Magnetfeld bewegten Leiters erklären</li> <li>– ein Experiment zum Nachweis der Induktionsspannung planen und auswerten</li> <li>– Experimente zu Wechselstromwiderständen planen, durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Lenz'sche Regel und das Auftreten von Wirbelströmen zur Erklärung der Wirkungsweise technischer Anwendungen nutzen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Leistungen und Grenzen der technischen Anwendung von Gleich- und Wechselstrom erkennen</li> <li>– die Bedeutung von Wechselstrom bei technischen Anwendungen diskutieren</li> </ul>

**Grundlegende Wissensbestände**

- Generatorprinzip als Umkehrung des elektromotorischen Prinzips
- Induktionsspannung:  $U = -\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\ell} \cdot \mathbf{v}$
- magnetischer Fluss
- Induktionsgesetz
- Lenz'sche Regel
- Wirbelströme
- Generator
- Wechselstromkreis
  - Erzeugung einer Wechselspannung
  - zeitlicher Verlauf von Spannung und Stromstärke
  - Momentan- und Effektivwerte
- Transformator
  - Spannungs- und Stromstärkeübersetzung
  - technische Anwendungen von Transformatoren
- Spule und Induktion
  - Selbstinduktion
  - Induktivität einer Spule
  - Selbstinduktionsspannung
- Wechselstromwiderstände
  - induktiver Widerstand
  - kapazitiver Widerstand
  - Phasenbeziehungen zwischen Stromstärke und Spannung an Spulen und Kondensatoren, Zeigerdiagramm

**Verbindliche Schülerexperimente**

- Wechselstromwiderstände  $X_L$  oder  $X_C$

**Themenbereich: Ausgewählte Gebiete der nichtklassischen Physik**

<b>Kompetenzschwerpunkt: Spezielle Relativitätstheorie</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das Relativitätsprinzip und das Postulat der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit in Inertialsystemen erläutern</li> <li>– die Abhängigkeit der Masse eines Körpers von seiner Geschwindigkeit begründen und ihre Berücksichtigung bei Beschleunigern erläutern</li> <li>– die dynamische Masse berechnen und damit Phänomene in Natur und Technik erklären</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zum Nachweis des Äthers und zum Nachweis der Zeitdilatation beschreiben und auswerten</li> <li>– die Bedeutung von Gedankenexperimenten darstellen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Berücksichtigung der Erkenntnisse der Relativitätstheorie bei technischen Anwendungen recherchieren und präsentieren</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– begründet entscheiden, ob ein konkretes physikalisches Problem eine relativistische Betrachtung erfordert</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ausbreitung von Licht in und gegen die Bewegungsrichtung seiner Quelle                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ätherhypothese, Michelson-Experiment</li> <li>• Einsteinpostulate: Relativitätsprinzip, Prinzip der konstanten Lichtgeschwindigkeit</li> </ul> </li> <li>– Relativität der Zeit                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uhrensynchronisation, Relativität der Gleichzeitigkeit</li> <li>• Eigenzeit und Zeitdilatation</li> </ul> </li> <li>– relativistische Massenzunahme                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruhemasse</li> <li>• dynamische Masse</li> <li>• Ruheenergie</li> </ul> </li> <li>– Energie-Masse-Beziehung</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Eigenschaften von Quantenobjekten</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die qualitativen Vorhersagen der klassischen Elektrodynamik zur Energie der Photoelektronen mit Bezug auf die Frequenz und die Intensität des Lichtes erläutern</li> <li>– Teilchen- und Welleneigenschaften von Photonen und Elektronen beschreiben</li> <li>– die Komplementarität als prinzipiellen Wesenszug der Quantenphysik interpretieren</li> <li>– bei Quantenobjekten das Auftreten oder Verschwinden eines Interferenzmusters mit der Komplementarität von Welcher-Weg-Information und Auftreten von Interferenz erläutern</li> <li>– Quantenobjekte als quantenphysikalische Systeme von klassischen Objekten aufgrund besonderer Eigenschaften und des besonderen Verhaltens unterscheiden</li> <li>– die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes in der Quantenphysik an Beispielen aufzeigen, Energiebilanzen aufstellen und anwenden</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den Widerspruch der experimentellen Befunde des Photoeffekts zur klassischen Physik erläutern und den Photoeffekt mithilfe der Einstein'schen Photonenhypothese deuten</li> <li>– die Wesenszüge der Quantenphysik an Beispielen und Experimenten, z. B. am Doppelspaltexperiment bzw. bei der Polarisationsmessung an Photonen, qualitativ beschreiben                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• stochastische Vorhersagbarkeit</li> <li>• Fähigkeit zur Interferenz</li> <li>• Eindeutigkeit der Messergebnisse (Einfluss der Messung)</li> <li>• Komplementarität</li> </ul> </li> <li>– Experimente zur Messung des Planck'schen Wirkungsquantums planen und auswerten</li> <li>– die Bedeutung von Gedankenexperimenten darstellen</li> <li>– Simulationssoftware bei der Untersuchung von Quantenobjekten nutzen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Recherchen zu Fragestellungen der Eigenschaften der Quantenobjekte und deren Anwendungen durchführen und präsentieren</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Grenzen des klassischen Teilchenmodells und des klassischen Wellenmodells benennen</li> <li>– die Superposition der Möglichkeiten vor dem quantenphysikalischen Messvorgang erkennen und die Konsequenzen mit dem Wesenszug der Eindeutigkeit der Messergebnisse bewerten</li> <li>– das Auftreten eines Paradigmenwechsels in der Physik am Beispiel der Beschreibung der Eigenschaften und des Verhaltens von Quantenobjekten (Photonen, Elektronen) im Vergleich zur Beschreibung mit klassischen Modellen reflektieren</li> </ul>

**Grundlegende Wissensbestände**

- Teilcheneigenschaften von Photonen
  - Photoeffekt, Deutung nach Einstein, Photonenhypothese
  - Energie von Photonen, Planck'sches Wirkungsquantum
  - Energiebilanz:  $h \cdot f = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + W_A$ , Einstein'sche Gerade
  - Impuls von Photonen
- Welleneigenschaften von Photonen
  - Interferenz durch Beugung am Doppelspalt
  - Interferenzgleichung
  - Polarisierung
- Teilcheneigenschaften von Elektronen
  - Masse, Ladung, Impuls, Ort
- Welleneigenschaften von Elektronen
  - de-Broglie-Hypothese, Zusammenhang von Impuls und de-Broglie-Wellenlänge
  - Interferenz am Doppelspalt – Experiment von Jönsson
- Wechselwirkung von Strahlung mit Materie
  - Wahrscheinlichkeitsaussagen zu Interferenzversuchen mit einzelnen Photonen (Experiment von Taylor, Mach-Zehnder-Interferometer)

**Verbindliche Schülerexperimente**

- Interferenz von Licht
- Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums

<b>Kompetenzschwerpunkt: Quantenphysikalisches Atommodell</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den prinzipiellen Aufbau eines Lasers beschreiben, seine Wirkungsweise erklären und die Eigenschaften des Laserlichtes nennen</li> <li>– die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes in der Quantenphysik an Beispielen aufzeigen</li> <li>– Orbitale als Räume größter Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für Elektronen deuten</li> <li>– die Energiequantelung bei den Atomspektren nachweisen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– darlegen, dass neue quantenphysikalische Experimente und Phänomene zur Weiterentwicklung des physikalischen Weltbildes führen können</li> <li>– im Bereich der Quantenphysik den strengen Determinismus der klassischen Physik durch den Wesenszug der stochastischen Vorhersagbarkeit ersetzen</li> <li>– Simulationssoftware, bei der Untersuchung von Quantenobjekten nutzen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Recherchen zu Problemen und Fragestellungen der Quantenphysik durchführen und präsentieren</li> <li>– am Beispiel der historischen Entwicklung der Atommodelle aufzeigen, dass Widersprüche zwischen Realität und Modell Motivation für weitere Forschungen sind</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Notwendigkeit eines quantenphysikalischen Atommodells erkennen und damit Anwendungen und experimentelle Befunde reflektieren und bewerten</li> <li>– den Einfluss der Quantenphysik auf Veränderungen des Weltbildes bewerten</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– quantenphysikalisches Modell des Wasserstoffatoms                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Übergang zur dreidimensionalen Darstellung stehender Wellen (z. B. Chladni)</li> <li>• dreidimensionale Darstellung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen in der Atomhülle durch Orbitale in Abhängigkeit vom diskreten Energiezustand</li> </ul> </li> <li>– Anwendungen zum quantenphysikalischen Atommodell und experimentelle Befunde                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• quantenhafte Absorption im Franck-Hertz-Experiment</li> <li>• Energieniveauschema und Linienspektrum vom Licht eines atomaren Gases</li> <li>• Resonanzabsorption (Laser)</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Möglichkeiten zur Abstimmung in den Schuljahrgängen 11/12</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Chemie: Stoff-Teilchen-Konzept auf die Komplexchemie erweitern (Elektronenverteilung in der Atomhülle mithilfe der Elektronenkonfiguration beschreiben)</li> </ul>	

**Themenbereich: Praktika**

<b>Kompetenzschwerpunkt: Experimentalpraktikum</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einheiten, Merkmale und Messmöglichkeiten wesentlicher physikalischer Größen angeben</li> <li>- Zusammenhänge zwischen ausgewählten mechanischen, elektromagnetischen und optischen Größen beschreiben</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zu gegebenen Problemstellungen Hypothesen aufstellen und Experimente zu ihrer Überprüfung planen sowie selbstständig nach Vorgaben durchführen und auswerten                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung von physikalischen Größen bzw. Naturkonstanten (z. B. Reibungszahl, Brechzahl, Flusssdichte, Wirkungsquantum)</li> <li>• Bestimmung von Zusammenhängen zwischen physikalischen Größen (z. B. Länge einer Spule und magnetische Kraftwirkung)</li> <li>• Untersuchung physikalischer Vorgänge (z. B. Stoßprozess, Wurf, Entladung eines Kondensators)</li> <li>• Messwerterfassung mit Sensoren und Auswertung mithilfe des Computers</li> </ul> </li> <li>- variable und konstant zu haltende Größen identifizieren</li> <li>- geeignete Messgeräte begründet auswählen und sicher einsetzen</li> <li>- Einfluss von Messfehlern auf das Ergebnis beschreiben und Möglichkeiten zur Verringerung von Messfehlern aufzeigen</li> <li>- Konstanten in vorgegebenen mathematischen Zusammenhängen aus Messwerten ermitteln</li> <li>- aus Messwerten mathematische Zusammenhänge ableiten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- selbstständig Quellen zur Vorbereitung und Auswertung der Experimente nutzen</li> <li>- Vorgehensweisen zur Lösung physikalischer Probleme unter Einbeziehung von Experimenten diskutieren</li> <li>- Ergebnisse von Experimenten in Texten, Tabellen und Skizzen darstellen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- verschiedene Möglichkeiten der Durchführung der Experimente vergleichen und bewerten</li> <li>- Risiken und Sicherheitsmaßnahmen beim Experimentieren mithilfe physikalischen Wissens bewerten und entsprechend berücksichtigen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- experimentelle Methode</li> <li>- Verallgemeinerung, Gesetz</li> <li>- zufällige und systematische Messfehler</li> </ul>	
<b>Möglichkeiten zur Abstimmung in den Schuljahrgängen 11/12</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chemie: Qualitative und quantitative Untersuchungen durchführen (Praktikum)</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Aufgabenpraktikum</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– komplexe Aufgaben in Teilprobleme zerlegen und Bearbeitungsstrategien entwickeln</li> <li>– die Mittel der Differential- und Integralrechnung an ausgewählten Beispielen nutzen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– aus gegebenen Daten mathematische Zusammenhänge ableiten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– selbstständig Quellen zur Wiederholung von Kenntnissen, die zur Bearbeitung der Aufgaben notwendig sind, nutzen</li> <li>– aus den zu den Aufgaben gehörenden Materialien (Texte, Zeichnungen, Diagramme) relevante Informationen entnehmen</li> <li>– physikalische Probleme mit Skizzen veranschaulichen</li> <li>– das Vorgehen zur Lösung physikalischer Probleme darstellen</li> <li>– die Lösung von Aufgaben nachvollziehbar und unter Einbeziehung fachspezifischer Formen darstellen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die zur Aufgabenbearbeitung vorgenommenen Vereinfachungen und Idealisierungen begründen</li> <li>– die erarbeitete Lösung und den Lösungsweg kritisch reflektieren und auf Plausibilität prüfen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände zu Lösungsstrategien</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Energie- und Impulsbilanzen</li> <li>– Kraftansätze</li> <li>– Identifikation relevanter Größen</li> <li>– Analogiebetrachtungen</li> <li>– Reduktion der Komplexität (Vereinfachung und Idealisierung)</li> <li>– Anwendung von Modellen</li> <li>– Wahl eines geeigneten Bezugssystems</li> </ul>	

### 3.6.2 Erhöhtes Anforderungsniveau

#### Themenbereich: Mechanik

<b>Kompetenzschwerpunkt: Kinematik der Punktmasse</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kinematische Abläufe mit dem Modell „Punktmasse“ beschreiben</li> <li>– kinematische Problemstellungen innerhalb der Anwendungsgrenzen bearbeiten</li> <li>– verschiedene Bewegungen als ungestörte Überlagerung einzelner Bewegungen beschreiben</li> <li>– die gleichförmige Kreisbewegung als beschleunigte Bewegung charakterisieren</li> <li>– die Würfe ordnen, Bahngleichungen entwickeln und daraus die Wurfweite, die Wurfhöhe sowie den optimalen Abwurfwinkel für <math>h = 0</math> mathematisch ableiten</li> <li>– Bewegungen bezüglich eines Bezugssystems beschreiben</li> <li>– die Bewegungsgleichungen für die gleichförmige und die gleichmäßig beschleunigte Bewegung herleiten und anwenden</li> <li>– Bewegungsprobleme mit linearer Änderung der Beschleunigung rechnerisch mithilfe der Differential- und Integralrechnung bearbeiten</li> <li>– den Bewegungszustand eines Körpers auch energetisch beschreiben</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zu den Momentanwerten des Weges, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung sowie zur ungestörten Überlagerung von Bewegungen planen, durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bewegungen verbal mittels geeigneter physikalischer Größen und mithilfe von Diagrammen beschreiben</li> <li>– <math>s(t)</math>-, <math>v(t)</math>- und <math>a(t)</math>-Diagramme zeichnen, interpretieren und daraus Größen ermitteln</li> <li>– aus Messwerten mithilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen Grafen erzeugen und Trends einzeichnen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Grenzen des Modells „Punktmasse“ benennen</li> <li>– die Gültigkeitsbedingungen der Bewegungsgleichungen für konkrete Fälle prüfen</li> <li>– Vorsichtsmaßnahmen im Straßenverkehr mit physikalischen Gesetzen begründen</li> </ul>

<b>Grundlegende Wissensbestände</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Modell „Punktmasse“</li> <li>– Bewegung in Systemen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewegungsarten und Bewegungsformen</li> <li>• Inertialsysteme und beschleunigte Bezugssysteme</li> <li>• Relativbewegungen</li> </ul> </li> <li>– vektorielle Größen der Translation</li> <li>– Superpositionsprinzip</li> <li>– Momentangrößen von Geschwindigkeit und Beschleunigung <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>v(t) = \frac{ds}{dt} = \dot{s}</math> und <math>a(t) = \frac{dv}{dt} = \dot{v}</math></li> </ul> </li> <li>– Radialbeschleunigung <ul style="list-style-type: none"> <li>• gleichförmige Kreisbewegungen</li> </ul> </li> <li>– Bewegungsgesetze für gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen mit Anfangsbedingungen</li> <li>– Bewegungsgesetze für ungleichmäßig beschleunigte Bewegungen mit linearer Beschleunigungsänderung</li> <li>– ungestörte Überlagerung von Bewegungen <ul style="list-style-type: none"> <li>• senkrechter Wurf</li> <li>• waagerechter Wurf</li> <li>• schräger Wurf</li> </ul> </li> </ul>
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Messreihen zu Momentangrößen (s, v, a)</li> <li>– Bahn eines Wurfes</li> </ul>
<b>Möglichkeiten zur Abstimmung in den Schuljahrgängen 11/12</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mathematik: Grundlagen der Infinitesimalrechnung</li> </ul>

<b>Kompetenzschwerpunkt: Dynamik der Punktmasse</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Kraft als Wechselwirkungsgröße beschreiben</li> <li>– die vektorielle Größe Kraft in verschiedenen Bezugssystemen erkennen</li> <li>– die Newton’schen Axiome begründet anwenden</li> <li>– den Impuls als Zustandsgröße charakterisieren und seine Änderung durch die Prozessgröße Kraftstoß anwenden</li> <li>– die Energieerhaltung und die Impulserhaltung in einem abgeschlossenen mechanischen System beschreiben und anwenden</li> <li>– zentrale vollkommen elastische bzw. unelastische Stöße beschreiben und zuordnen</li> <li>– die den Vorgang bestimmenden Größen bei unterschiedlichen Stoßvorgängen berechnen</li> <li>– Bilanzgleichungen für die Erhaltungsgrößen Impuls und Energie aufstellen und auswerten</li> <li>– die Geschwindigkeiten zweier Körper nach einem Stoß mithilfe des Energie- und Impulserhaltungssatzes herleiten</li> <li>– den Energieerhaltungssatz unter Einbindung der mechanischen Arbeit anwenden</li> <li>– das Rückstoßprinzip auf die Impulserhaltung zurückführen</li> <li>– anhand von komplexen Anwendungsaufgaben den Energieerhaltungssatz und den Impulserhaltungssatz als Grundlage für die Entwicklung von Lösungsstrategien bewusst anwenden</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– hypothesengeleitete Experimente zur Reibung und zu Stoßvorgängen planen, durchführen und auswerten</li> <li>– Simulationsexperimente zur Untersuchung von Bewegungen mit geschwindigkeitsabhängiger Reibung auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flächen im <math>F(s)</math>-Diagramm als Arbeit interpretieren und auswerten</li> <li>– das Rückstoßprinzip auf Fortbewegungen anwenden</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Abgeschlossenheit von mechanischen Systemen im Kontext der Erhaltungssätze bewerten</li> <li>– die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile 1. Art mit dem Energieerhaltungssatz begründen</li> <li>– erkennen, dass der Impulserhaltungssatz bei Stößen universeller anwendbar ist als der Energieerhaltungssatz</li> <li>– die Anwendbarkeit der Stoßgesetze auf reale Vorgänge diskutieren</li> <li>– Stoßvorgänge im Straßenverkehr und zwischen Schienenfahrzeugen analysieren</li> </ul>

**Grundlegende Wissensbestände**

- Kraft als Wechselwirkungsgröße
  - Wechselwirkungskraft
  - Gleichgewichtskraft
  - Trägheitskraft
  - Reibungskräfte
  - Radialkraft
- vektorielle Addition und Zerlegung von Kräften
  - geneigte Ebene
  - Kurvenüberhöhung
  - Kräfte in verschiedenen Bezugssystemen
- Kräftebilanzen
- Energieerhaltungssatz der Mechanik
  - Energie als Erhaltungsgröße im abgeschlossenen System
  - Perpetuum mobile 1. Art und seine Unmöglichkeit
- allgemeiner Energieerhaltungssatz
- mechanische Arbeit
  - Arten der mechanischen Arbeit (Hub-, Beschleunigungs-, Reibungs- und Verformungsarbeit)
  - Arbeit im  $F(s)$ -Diagramm (auch für  $F \neq \text{konst.}$ )
  - Bilanzgleichungen unter Einbeziehung der Reibungsarbeit
  - Leistung und Wirkungsgrad
- Impuls und Impulserhaltung
  - Kraftstoß als Prozessgröße
  - Impuls als Erhaltungsgröße
  - Zusammenhang zwischen Impulsänderung und Kraftstoß
  - Impulserhaltungssatz
- zentrale elastische und unelastische Stoßvorgänge
  - Bilanzgleichungen für Impuls und Energie, Anwendungen
  - Rückstoßprinzip

**Verbindliche Schülerexperimente**

- Bestimmung von Haft- und Gleitreibungszahlen
- Untersuchung von Stößen

<b>Kompetenzschwerpunkt: Gravitationsfeld</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das Gravitationsfeld qualitativ mit dem Feldlinienmodell sowie quantitativ mit der Gravitationskraft auf einen Körper und mit der Gravitationsfeldstärke beschreiben</li> <li>– Berechnungen in homogenen und radialen Gravitationsfeldern durchführen, die Verschiebungsarbeit im radialen Gravitationsfeld herleiten</li> <li>– die Kepler’schen Gesetze und das Gravitationsgesetz für Berechnungen anwenden</li> <li>– Formeln zur Berechnung der 1. und 2. kosmischen Geschwindigkeit herleiten</li> <li>– den Impulserhaltungssatz zur Beschreibung der Raketenbewegung anwenden</li> <li>– die Schubkraft eines Raketentriebwerkes mithilfe der Kraftstoß-Impuls-Beziehung berechnen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den Ortsfaktor der Erdbeschleunigung als Gravitationsfeldstärke an einem Ort einordnen und experimentell bestimmen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Missionen der Raumfahrt recherchieren und präsentieren</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kausalität und Determinismus am Beispiel der Planetenbewegung diskutieren</li> <li>– Kosten und Nutzen der bemannten und unbemannten Raumfahrt diskutieren</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kepler’sche Gesetze</li> <li>– Gravitationsfeld                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Feldlinienmodell</li> <li>• Feldstärkevektor</li> </ul> </li> <li>– Gravitationsgesetz                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung von Zentralkörpermassen, Bahnradien, Umlaufzeiten und Bahngeschwindigkeiten</li> <li>• geostationäre Satelliten</li> <li>• 1. kosmische Geschwindigkeit</li> <li>• Bahnformen von Körpern in Zentralfeldern</li> </ul> </li> <li>– Verschiebungsarbeit im Gravitationsfeld                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hubarbeit im Radialfeld</li> <li>• 2. kosmische Geschwindigkeit</li> <li>• Raketenbewegung und Impulserhaltungssatz</li> <li>• Schubkraft eines Triebwerkes</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gravitationsfeldstärke am Schulort</li> </ul>	

**Themenbereich: Elektrodynamik**

<b>Kompetenzschwerpunkt: Elektrisches Feld</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– elektrische Felder qualitativ und quantitativ unter Einbeziehung des Modells „Feldlinien“ und der Feldstärke beschreiben</li> <li>– Nachweismöglichkeiten für das elektrische Feld beschreiben</li> <li>– das Coulomb’sche Gesetz interpretieren und mithilfe des Gesetzes Berechnungen durchführen</li> <li>– die Arbeit in elektrischen Feldern unter Beachtung der Bedingungen berechnen</li> <li>– den Zusammenhang von elektrischen und konstruktiven Größen am Plattenkondensator quantitativ beschreiben</li> <li>– die Kraftwirkungen zwischen geladenen Körpern in elektrischen Feldern beschreiben und zur Erklärung von Bewegungen von elektrisch geladenen Körpern nutzen</li> <li>– Bewegungen elektrisch geladener Körper in elektrischen Feldern und Gravitationsfeldern mithilfe des Superpositionsprinzips beschreiben und die Bahngleichungen herleiten</li> <li>– die Bewegung elektrisch geladener Körper energetisch beschreiben und den Energieerhaltungssatz zur Berechnung der Bewegung elektrisch geladener Teilchen nutzen</li> <li>– das Auf- und Entladen eines Kondensators auch quantitativ beschreiben und berechnen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zum Laden oder Entladen eines Kondensators planen, durchführen und auswerten</li> <li>– die Durchführung und statistische Auswertung des Millikan-Versuches erläutern</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Analogien zwischen dem Radialfeld einer Punktladung und dem einer Zentralmasse sowie zwischen dem Coulomb’schen Gesetz und dem Gravitationsgesetz herstellen</li> <li>– die Bewegung von Ladungsträgern im elektrischen Feld beschreiben und mit Wurfbewegungen vergleichen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Grenzen des Modells „Feldlinien“ aufzeigen</li> <li>– die Bedeutung der Quantisierung der Ladung als Ergebnis des Millikan-Versuches darstellen</li> </ul>

**Grundlegende Wissensbestände**

- elektrische Ladung
- elektrostatisches Feld
  - elektrische Ladungen als Quelle
  - Nachweismöglichkeiten
  - homogene und inhomogene Felder
  - Modell „Feldlinien“
  - Kraftwirkung zwischen geladenen Körpern, Influenz, elektrische Polarisation
  - elektrische Feldstärke
  - Coulomb'sches Gesetz
  - Arbeit im homogenen und radialen elektrischen Feld
- elektrisches Feld eines Plattenkondensators
  - Struktur des Feldes
  - Feldstärke
  - Kapazität unter Beachtung der Geometrie
  - Energie des elektrischen Feldes
  - Auf- und Entladung eines Kondensators
- Bewegung von Ladungsträgern im elektrischen Feld
  - Anwendungen: Elektronenstrahlröhre und Linearbeschleuniger
- Bestimmung der Elementarladung
  - Millikan-Versuch unter Berücksichtigung der Stokes'schen Reibung

**Verbindliche Schülerexperimente**

- Aufnahme der Lade- oder Entladekurve eines Kondensators

<b>Kompetenzschwerpunkt: Magnetisches Feld</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das magnetische Feld von Dauermagneten, stromführenden Leitern und Spulen mit dem Modell „Feldlinien“ und quantitativ beschreiben</li> <li>– die Entstehung der Lorentzkraft erklären und ihre Wirkungen mithilfe der UVW-Regel folgern</li> <li>– den Hall-Effekt erklären und die Hall-Spannung zur Magnetfeldmessung nutzen</li> <li>– die Wirkungen von magnetischen Feldern auf die Bewegung von Ladungsträgern erklären und berechnen</li> <li>– das magnetische Feld als Träger von Energie erläutern</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– einen Versuch zur Bestimmung der spezifischen Ladung beschreiben und auswerten</li> <li>– die Bestimmung der Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes beschreiben</li> <li>– Experimente zum Magnetismus planen, durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das elektromotorische Prinzip beschreiben und Richtungsbeziehungen am Beispiel des Schaukelversuches erläutern</li> <li>– den Aufbau des Zyklotrons und des Massenspektrographen beschreiben sowie ihren prinzipiellen Wirkungsweisen erklären</li> <li>– die Rolle des Magnetfeldes der Erde als Schutzmantel vor kosmischer Strahlung recherchieren</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die idealisierte Beschreibung von elektrischen und magnetischen Feldern mit der Realität vergleichen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– magnetisches Feld                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dauermagnet, Komponenten des Erdmagnetfeldes, stromdurchflossener Leiter (Oersted-Versuch) und stromdurchflossene Spule</li> <li>• Feldformen, Modell „Feldlinien“</li> </ul> </li> <li>– magnetische Flussdichte: <math>B = \frac{F}{I \cdot \ell}</math> mit <math>\vec{T} \perp \vec{B}</math>, <math>\vec{T} \perp \vec{F}</math> und <math>\vec{B} \perp \vec{F}</math> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stromwaage</li> </ul> </li> <li>– Bewegung von Ladungsträgern im homogenen magnetischen Feld                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lorentzkraft in der Form <math>\vec{F}_L = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})</math></li> <li>• Hall-Effekt</li> <li>• Bestimmung der spezifischen Ladung eines Elektrons</li> </ul> </li> <li>– homogenes magnetisches Feld einer stromdurchflossenen Spule</li> <li>– Anwendungen in der Technik                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zyklotron</li> <li>• Massenspektrograph</li> </ul> </li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Elektromagnetische Induktion und Wechselstromwiderstände</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die bei Versuchen zur Induktion beobachtbaren Phänomene erklären</li> <li>– den Zusammenhang zwischen den Baugrößen einer Spule und ihrer Induktivität erläutern</li> <li>– das Auftreten einer Induktionsspannung unter Verwendung des Induktionsgesetzes erklären, ihre Größe berechnen und die Induktivität einer Spule ableiten</li> <li>– die Rückwirkung eines belasteten Transformators erklären</li> <li>– die Energiefernleitung erklären und den Energieerhaltungssatz dabei anwenden</li> <li>– die Leistungen im Wechselstromkreis bestimmen</li> <li>– die gedämpfte elektromagnetische Schwingung auch unter energetischen Aspekten beschreiben und mit der Schwingung von Fadenpendel und Federschwinger vergleichen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Induktionsspannungen als Ergebnis der wirkenden Lorentzkraft auf die Ladungsträger eines in einem Magnetfeld bewegten Leiters erklären</li> <li>– ein Experiment zum Nachweis der Induktionsspannung und zur Aufnahme einer Resonanzkurve einer elektromagnetischen Schwingung planen und auswerten</li> <li>– Experimente zu Wechselstromwiderständen planen, durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Lenz'sche Regel und das Auftreten von Wirbelströmen zur Erklärung der Wirkungsweise technischer Anwendungen nutzen</li> <li>– U(t)- und I(t)-Diagramme elektromagnetischer Schwingungen auswerten</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Leistungen und Grenzen der technischen Anwendung von Gleich- und Wechselstrom erkennen</li> <li>– die Bedeutung von Wechselstrom bei technischen Anwendungen diskutieren</li> </ul>

### Grundlegende Wissensbestände

- Generatorprinzip als Umkehrung des elektromotorischen Prinzips
- Induktionsspannung:  $U = -\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\ell} \cdot \mathbf{v}$
- magnetischer Fluss
- Induktionsgesetz
- Lenz'sche Regel
- Wirbelströme
- Generator
- Wechselstromkreis
  - Erzeugung einer Wechselspannung
  - zeitlicher Verlauf von Spannung und Stromstärke
  - Momentan- und Effektivwerte
- Transformator
  - Spannungs- und Stromstärkeübersetzung, Rückwirkung bei Belastung
  - technische Anwendungen von Transformatoren
- Spule und Induktion
  - Selbstinduktion
  - Induktivität einer Spule
  - Energie des magnetischen Feldes
  - Selbstinduktionsspannung
  - Ein- und Ausschaltvorgang
- Wechselstromwiderstände
  - induktiver Widerstand
  - kapazitiver Widerstand
  - Phasenbeziehungen zwischen Stromstärke und Spannung an Spulen und Kondensatoren, Zeigerdiagramm
- Leistung im Wechselstromkreis
  - Wirkleistung
  - Blindleistung
  - Scheinleistung
  - Leistungsfaktor
- Elektromagnetische Schwingungen
  - Erzeugung gedämpfter elektromagnetischer Schwingungen im Schwingkreis
  - zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke, elektrischer und magnetischer Feldenergie
  - Thomson'sche Schwingungsgleichung
  - erzwungene Schwingung und Resonanz

### Verbindliche Schülerexperimente

- Wechselstromwiderstände  $X_L$  oder  $X_C$

**Themenbereich: Ausgewählte Gebiete der nichtklassischen Physik**

<b>Kompetenzschwerpunkt: Spezielle Relativitätstheorie</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das Relativitätsprinzip und das Postulat der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit in Inertialsystemen erläutern</li> <li>– die Abhängigkeit der Masse eines Körpers von seiner Geschwindigkeit begründen und ihre Berücksichtigung bei Beschleunigern erläutern</li> <li>– die dynamische Masse und die relativistische Energie berechnen und mithilfe dieser Größen Phänomene in Natur und Technik erklären</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zum Nachweis des Äthers und zum Nachweis der Zeitdilatation bzw. Längenkontraktion beschreiben und auswerten</li> <li>– die Bedeutung von Gedankenexperimenten darstellen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Berücksichtigung der Erkenntnisse der Relativitätstheorie bei technischen Anwendungen recherchieren und präsentieren</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– begründet entscheiden, ob ein konkretes physikalisches Problem eine relativistische Betrachtung erfordert</li> <li>– sich mit den Begriffen „absoluter Raum“ und „absolute Zeit“ auseinandersetzen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ausbreitung von Licht in und gegen die Bewegungsrichtung seiner Quelle                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ätherhypothese, Michelson-Experiment</li> <li>• Einsteinpostulate: Relativitätsprinzip, Prinzip der konstanten Lichtgeschwindigkeit</li> </ul> </li> <li>– Relativität der Zeit                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uhrensynchronisation, Relativität der Gleichzeitigkeit</li> <li>• Eigenzeit und Zeitdilatation</li> <li>• Längenkontraktion</li> </ul> </li> <li>– relativistische Massenzunahme                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruhemasse</li> <li>• dynamische Masse</li> <li>• Ruheenergie</li> <li>• relativistische kinetische Energie</li> <li>• Synchrotron</li> </ul> </li> <li>– Energie-Masse-Beziehung</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Eigenschaften von Quantenobjekten</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die qualitativen Vorhersagen der klassischen Elektrodynamik zur Energie der Photoelektronen mit Bezug auf die Frequenz und die Intensität des Lichtes erläutern</li> <li>– Teilchen- und Welleneigenschaften von Photonen und Elektronen beschreiben</li> <li>– die Komplementarität als prinzipiellen Wesenszug der Quantenphysik interpretieren</li> <li>– bei Quantenobjekten das Auftreten oder Verschwinden eines Interferenzmusters mit der Komplementarität von Welcher-Weg-Information und Auftreten von Interferenz erläutern</li> <li>– Quantenobjekte als quantenphysikalische Systeme von klassischen Objekten aufgrund besonderer Eigenschaften und des besonderen Verhaltens unterscheiden</li> <li>– Vorgänge beim Durchgang von Strahlung durch Materie am Beispiel des Compton-Effekts beschreiben</li> <li>– die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes in der Quantenphysik an Beispielen aufzeigen, Energiebilanzen aufstellen und anwenden</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den Widerspruch der experimentellen Befunde des Photoeffekts zur klassischen Physik erläutern und den Photoeffekt mithilfe der Einstein'schen Photonenhypothese deuten</li> <li>– experimentelle Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre mit den Welleneigenschaften von Elektronen auswerten und interpretieren</li> <li>– die Wesenszüge der Quantenphysik an Beispielen und Experimenten, z. B. am Doppelspaltexperiment bzw. bei der Polarisationsmessung an Photonen, qualitativ beschreiben                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• stochastische Vorhersagbarkeit</li> <li>• Fähigkeit zur Interferenz</li> <li>• Eindeutigkeit der Messergebnisse (Einfluss der Messung)</li> <li>• Komplementarität</li> <li>• Verschränktheit und Nichtlokalität</li> </ul> </li> <li>– die Intensitätsverteilung des Doppelspaltexperiments quantitativ mit dem Zeigerformalismus beschreiben</li> <li>– an Beispielen die Bedeutung der Unbestimmtheitsrelation von Heisenberg für den Messprozess erläutern</li> <li>– Experimente zur Messung des Planck'schen Wirkungsquantums planen und auswerten</li> <li>– die Bedeutung von Gedankenexperimenten darstellen</li> <li>– Simulationssoftware bei der Untersuchung von Quantenobjekten nutzen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Recherchen zu Fragestellungen der Eigenschaften der Quantenobjekte und deren Anwendungen durchführen und präsentieren</li> <li>– mithilfe der Wesenszüge der Quantenphysik Experimente aus der aktuellen Forschung analysieren</li> </ul>

Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Grenzen des klassischen Teilchenmodells und des klassischen Wellenmodells benennen</li> <li>– die Superposition der Möglichkeiten vor dem quantenphysikalischen Messvorgang erkennen und die Konsequenzen des quantenphysikalischen Messvorgangs mit dem Wesenszug der Eindeutigkeit der Messergebnisse bewerten</li> <li>– das Auftreten eines Paradigmenwechsels in der Physik am Beispiel der Beschreibung der Eigenschaften und des Verhaltens von Quantenobjekten (Photonen, Elektronen) im Vergleich zur Beschreibung mit klassischen Modellen reflektieren</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Teilcheneigenschaften von Photonen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Photoeffekt, Deutung nach Einstein, Photonenhypothese</li> <li>• Energie von Photonen, Planck'sches Wirkungsquantum</li> <li>• Energiebilanz: <math>h \cdot f = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + W_A</math>, Einstein'sche Gerade</li> <li>• Impuls von Photonen</li> </ul> </li> <li>– Welleneigenschaften von Photonen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interferenz durch Beugung am Doppelspalt</li> <li>• Interferenzgleichung</li> </ul> </li> </ul> <p>Polarisation, Streuung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Teilcheneigenschaften von Elektronen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Masse, Ladung, Impuls, Ort</li> <li>• Elektronenstrahlröhre, Impulsexperiment</li> </ul> </li> <li>– Welleneigenschaften von Elektronen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• de-Broglie-Hypothese, Zusammenhang von Impuls und de-Broglie-Wellenlänge</li> <li>• Interferenz am Doppelspalt – Experiment von Jönsson</li> <li>• Beugung von Elektronen (Elektronenbeugungsröhre)</li> </ul> </li> <li>– Wechselwirkung von Strahlung mit Materie                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wechselwirkung von Photonen und Elektronen beim Compton-Effekt, Compton-Wellenlänge</li> <li>• Wahrscheinlichkeitsaussagen zu Interferenzversuchen mit einzelnen Photonen (Experiment von Taylor, Mach-Zehnder-Interferometer)</li> <li>• Verschränktheit und Nichtlokalität von Photonen, z. B. im Einstein-Podolski-Rosen-Experiment</li> <li>• Dekohärenz</li> </ul> </li> <li>– Unbestimmtheitsrelation von Heisenberg als Beispiel für das Komplementaritätsprinzip:  <math>\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h</math>; <math>\Delta E \cdot \Delta t \geq h</math> </li> <li>– quantenmechanischer Messvorgang und seine Konsequenzen</li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Interferenz von Licht</li> <li>– Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Quantenphysikalisches Atommodell</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den Zusammenhang zwischen den stehenden Wellen im Modell „Eindimensionaler Potentialtopf“ und der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Quantenobjekten deuten</li> <li>– den prinzipiellen Aufbau eines Lasers beschreiben, seine Wirkungsweise erklären und die Eigenschaften des Laserlichtes nennen</li> <li>– die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes in der Quantenphysik an Beispielen aufzeigen</li> <li>– diskrete Energiewerte im Modell „Eindimensionaler Potentialtopf“ erkennen</li> <li>– Orbitale im quantenphysikalischen Atommodell als Folge besonderer Energiezustände auffassen</li> <li>– die Energiequantelung bei den Atomspektren nachweisen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– darlegen, dass neue quantenphysikalische Experimente und Phänomene zu neuen physikalischen Theorien und Modellen und somit zur Weiterentwicklung des physikalischen Weltbildes führen können</li> <li>– im Bereich der Quantenphysik den strengen Determinismus der klassischen Physik durch den Wesenszug der stochastischen Vorhersagbarkeit ersetzen</li> <li>– Simulationssoftware, z. B. zum Potentialtopf, bei der Untersuchung von Quantenobjekten nutzen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Recherchen zu komplexen Problemen und Fragestellungen der Quantenphysik durchführen und präsentieren</li> <li>– am Beispiel der historischen Entwicklung der Atommodelle aufzeigen, dass Widersprüche zwischen Realität und Modell Motivation für weitere Forschungen sind</li> <li>– die Interpretation der zulässigen Lösungen des mathematischen Modells von Quantenobjekten nach Born im Diskurs erläutern</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Analogie stehender mechanischer Wellen und die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons im Modell „Eindimensionaler Potentialtopf“ reflektieren</li> <li>– die Notwendigkeit der Entwicklung eines quantenphysikalischen Atommodells erkennen und damit Anwendungen und experimentelle Befunde reflektieren und bewerten</li> <li>– den Einfluss der Quantenphysik auf Grundannahmen zur physikalischen Erkenntnis und auf Veränderungen des Weltbildes bewerten</li> </ul>

**Grundlegende Wissensbestände**

- Elektron im Modell „Eindimensionaler Potentialtopf“
  - unendlich hohe Wände, stehende Wellen und Aufenthaltswahrscheinlichkeiten, diskrete Energiewerte
- mathematisches Modell von Mikroobjekten, die keine makroskopische Anschauung haben
  - die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen hängen von der Gesamtenergie des Systems ab und sie sind aus dem Modell ableitbar
  - Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen können grafisch dargestellt werden
- quantenphysikalisches Modell des Wasserstoffatoms
  - Übergang zur dreidimensionalen Darstellung stehender Wellen (z. B. Chladni)
  - dreidimensionale Darstellung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen in der Atomhülle durch Orbitale in Abhängigkeit vom diskreten Energiezustand
  - Klassifizierung der Orbitale durch Quantenzahlen  $m$ ,  $n$  und  $l$
- Anwendungen zum quantenphysikalischen Atommodell und experimentelle Befunde
  - quantenhafte Absorption im Franck-Hertz-Experiment
  - Energieniveauschema und Linienspektrum vom Licht eines atomaren Gases
  - Resonanzabsorption (Laser)

**Möglichkeiten zur Abstimmung in den Schuljahrgängen 11/12**

- Chemie: Stoff-Teilchen-Konzept auf die Komplexchemie erweitern (Elektronenverteilung in der Atomhülle mithilfe der Elektronenkonfiguration beschreiben)

**Themenbereich: Praktika**

<b>Kompetenzschwerpunkt: Experimentalpraktikum</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Einheiten, Merkmale und Messmöglichkeiten wesentlicher physikalischer Größen angeben</li> <li>– Zusammenhänge zwischen ausgewählten mechanischen, elektromagnetischen und optischen Größen beschreiben</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zu gegebenen Problemstellungen Hypothesen aufstellen und Experimente zu ihrer Überprüfung planen sowie selbstständig nach Vorgaben durchführen und auswerten                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung von physikalischen Größen bzw. Naturkonstanten (z. B. Reibungszahl, Brechzahl, Flussdichte, Wirkungsquantum)</li> <li>• Bestimmung von Zusammenhängen zwischen physikalischen Größen (z. B. Länge einer Spule und magnetische Kraftwirkung)</li> <li>• Untersuchung physikalischer Vorgänge (z. B. Stoßprozess, Wurf, Entladung eines Kondensators)</li> <li>• Messwernerfassung mit Sensoren und Auswertung mithilfe des Computers (z. B. Ein- und Ausschaltvorgänge)</li> </ul> </li> <li>– variable und konstant zu haltende Größen identifizieren</li> <li>– geeignete Messgeräte begründet auswählen und sicher einsetzen</li> <li>– Einfluss von Messfehlern auf das Ergebnis beschreiben und Möglichkeiten zur Verringerung von Messfehlern aufzeigen</li> <li>– Konstanten in vorgegebenen mathematischen Zusammenhängen aus Messwerten ermitteln</li> <li>– aus Messwerten mathematische Zusammenhänge ableiten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– selbstständig Quellen zur Vorbereitung und Auswertung der Experimente nutzen</li> <li>– Vorgehensweisen zur Lösung physikalischer Probleme unter Einbeziehung von Experimenten diskutieren</li> <li>– Ergebnisse von Experimenten in Texten, Tabellen und Skizzen darstellen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– verschiedene Möglichkeiten der Durchführung der Experimente vergleichen und bewerten</li> <li>– Risiken und Sicherheitsmaßnahmen beim Experimentieren mithilfe physikalischen Wissens bewerten und entsprechend berücksichtigen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– experimentelle Methode</li> <li>– Verallgemeinerung, Gesetz</li> <li>– zufällige und systematische Messfehler</li> </ul>	
<b>Möglichkeiten zur Abstimmung in den Schuljahrgängen 11/12</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Chemie: Qualitative und quantitative Untersuchungen durchführen (Praktikum)</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Aufgabenpraktikum</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– komplexe Aufgaben in Teilprobleme zerlegen und Bearbeitungsstrategien entwickeln</li> <li>– mathematische Modelle zur Beschreibung physikalischer Situationen anpassen und anwenden</li> <li>– die Mittel der Differential- und Integralrechnung gezielt nutzen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– aus gegebenen Daten mathematische Zusammenhänge ableiten und mit theoretischen Zusammenhängen in Beziehung setzen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– selbstständig Quellen zur Wiederholung von Kenntnissen, die zur Bearbeitung der Aufgaben notwendig sind, nutzen</li> <li>– aus den zu den Aufgaben gehörenden Materialien (Texte, Zeichnungen, Diagramme) relevante Informationen entnehmen</li> <li>– physikalische Probleme mit Skizzen veranschaulichen</li> <li>– das Vorgehen zur Lösung physikalischer Probleme darstellen und diskutieren</li> <li>– die Lösung von Aufgaben nachvollziehbar und unter Einbeziehung fachspezifischer Formen darstellen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die zur Aufgabebearbeitung vorgenommenen Vereinfachungen und Idealisierungen begründen</li> <li>– die erarbeitete Lösung und den Lösungsweg kritisch reflektieren und auf Plausibilität prüfen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände zu Lösungsstrategien</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Energie- und Impulsbilanzen</li> <li>– Kraftansätze</li> <li>– Identifikation relevanter Größen</li> <li>– Analogiebetrachtungen</li> <li>– Reduktion der Komplexität (Vereinfachung und Idealisierung)</li> <li>– Auswahl von Modellen</li> <li>– Wahl eines geeigneten Bezugssystems</li> </ul>	

### 3.6.3 Zweistündiges Wahlpflichtfach

#### Themenbereich: Mechanik

<b>Kompetenzschwerpunkt: Kinematik der Punktmasse</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kinematische Abläufe mit dem Modell „Punktmasse“ beschreiben</li> <li>– kinematische Problemstellungen innerhalb der Anwendungsgrenzen bearbeiten</li> <li>– verschiedene Bewegungen als ungestörte Überlagerung einzelner Bewegungen beschreiben</li> <li>– Bewegungen bezüglich eines Bezugssystems beschreiben</li> <li>– die Würfe ordnen und aus Bahngleichungen die Wurfweite, die Wurfhöhe sowie den optimalen Abwurfwinkel für <math>h = 0</math> mathematisch ableiten</li> <li>– die Bewegungsgleichungen für die gleichförmige und die gleichmäßig beschleunigte Bewegung anwenden</li> <li>– den Bewegungszustand eines Körpers auch energetisch beschreiben</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zur Erfassung des Weges, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung sowie zur ungestörten Überlagerung von Bewegungen planen, durchführen und auswerten</li> <li>– Videoanalyse oder andere Methoden der elektronischen Messwerterfassung gezielt einsetzen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bewegungen verbal mittels geeigneter physikalischer Größen und mithilfe von Diagrammen beschreiben</li> <li>– <math>s(t)</math>-, <math>v(t)</math>- und <math>a(t)</math>-Diagramme zeichnen, interpretieren und daraus Größen ermitteln</li> <li>– aus Messwerten mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms Grafen erzeugen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Grenzen des Modells „Punktmasse“ und die Gültigkeitsbedingungen der Bewegungsgleichungen für konkrete Fälle prüfen</li> </ul>

<b>Grundlegende Wissensbestände</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– Modell „Punktmasse“</li><li>– Bewegung in Systemen<ul style="list-style-type: none"><li>• Bewegungsarten und Bewegungsformen</li><li>• Inertialsysteme und beschleunigte Bezugssysteme</li><li>• Relativbewegungen</li></ul></li><li>– vektorielle Größen der Translation</li><li>– Superpositionsprinzip</li><li>– Momentangrößen von Geschwindigkeit und Beschleunigung<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>v(t) = \frac{ds}{dt} = \dot{s}</math> und <math>a(t) = \frac{dv}{dt} = \dot{v}</math></li></ul></li><li>– Radialbeschleunigung<ul style="list-style-type: none"><li>• gleichförmige Kreisbewegungen als beschleunigte Bewegungen herausstellen</li></ul></li><li>– Bewegungsgesetze für gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen mit Anfangsbedingungen</li><li>– ungestörte Überlagerung von Bewegungen<ul style="list-style-type: none"><li>• senkrechter Wurf</li><li>• waagerechter Wurf</li><li>• schräger Wurf</li></ul></li></ul>
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– Messreihen zu Momentangrößen (s, v, a)</li><li>– Bahn eines Wurfes</li></ul>
<b>Möglichkeiten zur Abstimmung in den Schuljahrgängen 11/12</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– Mathematik: Grundlagen der Infinitesimalrechnung</li></ul>

<b>Kompetenzschwerpunkt: Dynamik der Punktmasse</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Kraft als Wechselwirkungsgröße beschreiben</li> <li>– die vektorielle Größe Kraft in ihren verschiedenen Bezugssystemen erkennen</li> <li>– die Newton’schen Axiome begründet anwenden</li> <li>– den Impuls als Zustandsgröße charakterisieren und seine Änderung durch die Prozessgröße Kraftstoß anwenden</li> <li>– die Energieerhaltung und die Impulserhaltung in einem abgeschlossenen mechanischen System beschreiben und anwenden</li> <li>– zentrale elastische und unelastische Stöße beschreiben und zuordnen</li> <li>– anhand von komplexen Anwendungsaufgaben den Energieerhaltungssatz und den Impulserhaltungssatz als Grundlage für die Entwicklung von Lösungsstrategien bewusst anwenden</li> <li>– das Rückstoßprinzip auf die Impulserhaltung zurückführen</li> <li>– den Energieerhaltungssatz unter Einbindung der mechanischen Arbeit anwenden</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– hypothesengeleitete Experimente zur Reibung und zu Stoßvorgängen planen, durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flächen im <math>F(s)</math>-Diagramm als Arbeit interpretieren und auswerten</li> <li>– die Fortbewegung im Weltall mit dem Rückstoßprinzip erklären</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– erkennen, dass der Impulserhaltungssatz bei Stößen universeller anwendbar ist als der Energieerhaltungssatz</li> <li>– die Abgeschlossenheit von mechanischen Systemen im Kontext der Erhaltungssätze bewerten</li> <li>– die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile 1. Art mit dem Energieerhaltungssatz begründen</li> </ul>

<b>Grundlegende Wissensbestände</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kraft als Wechselwirkungsgröße               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wechselwirkungskraft</li> <li>• Gleichgewichtskraft</li> <li>• Trägheitskraft</li> <li>• Reibungskräfte</li> <li>• Radialkraft</li> </ul> </li> <li>– vektorielle Addition und Zerlegung von Kräften               <ul style="list-style-type: none"> <li>• geneigte Ebene</li> <li>• Kurvenüberhöhungen</li> <li>• Kräfte in verschiedenen Bezugssystemen</li> </ul> </li> <li>– Kräftebilanzen</li> <li>– Energieerhaltungssatz der Mechanik               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energie als Erhaltungsgröße im abgeschlossenen System</li> <li>• Perpetuum mobile 1. Art und seine Unmöglichkeit</li> </ul> </li> <li>– allgemeiner Energieerhaltungssatz</li> <li>– mechanische Arbeit               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arten der mechanischen Arbeit (Hub-, Beschleunigungs-, Reibungs- und Verformungsarbeit)</li> <li>• Arbeit im <math>F(s)</math>-Diagramm (auch für <math>F \neq \text{konst.}</math>)</li> <li>• Bilanzgleichungen unter Einbeziehung der Reibungsarbeit</li> <li>• Leistung und Wirkungsgrad</li> </ul> </li> <li>– Impuls und Impulserhaltung               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kraftstoß als Prozessgröße</li> <li>• Impuls als Erhaltungsgröße</li> <li>• Zusammenhang zwischen Impulsänderung und Kraftstoß</li> <li>• Impulserhaltungssatz</li> </ul> </li> <li>– zentrale elastische und unelastische Stoßvorgänge               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bilanzgleichungen für Impuls und Energie, Anwendungen</li> </ul> </li> </ul>
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bestimmung von Haft- und Gleitreibungszahlen</li> <li>– Untersuchung von Stößen</li> </ul>

<b>Kompetenzschwerpunkt: Analyse von realen Bewegungsvorgängen</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– reale Bewegungsvorgänge, z. B. im Straßenverkehr und im Sport, auch unter Berücksichtigung der Reibung und des umgebenden Mediums untersuchen</li> <li>– die Komplexität realer Stoßprozesse, z. B. bei verschiedenen Sportarten und bei Verkehrsunfällen, mithilfe von Modellen reduzieren und mit physikalischen Gesetzen beschreiben</li> <li>– den Energieerhaltungssatz zur Beschreibung und Analyse von Bewegungen nutzen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zur Untersuchung realer Prozesse planen, durchführen und auswerten und dabei ggf. die Videoanalyse oder andere elektronische Verfahren zur Erfassung und Analyse der Daten einsetzen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entwicklungen zur Verbesserung der Sicherheit im Straßenverkehr sowie der im Sport erreichten Zeiten, Weiten und Höhen in unterschiedlichen Quellen erkunden und die jeweils zugrunde liegenden physikalischen Zusammenhänge erläutern</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fahrschulregeln bezüglich Sicherheitsabständen und Bremswegen analysieren und ihre Aktualität bewerten</li> <li>– die Wirksamkeit von Maßnahmen der aktiven und passiven Sicherheit im Straßenverkehr bewerten</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bewegungsarten und Bahnformen realer Bewegungen</li> <li>– erwünschte und unerwünschte Reibungseffekte</li> <li>– reale Stoßvorgänge</li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Würfe und Stöße bei verschiedenen Sportarten</li> <li>– Anfahr- und Bremsvorgänge von Fahrzeugen</li> </ul>	
<b>Möglichkeiten zur Abstimmung in den Schuljahren 11/12</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sport: Bewegungsfelder „Laufen, Springen, Werfen“ und „Fahren, Rollen, Gleiten“</li> </ul>	

**Themenbereich: Elektrodynamik**

<b>Kompetenzschwerpunkt: Elektrisches Feld</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– elektrische Felder qualitativ und quantitativ unter Einbeziehung des Modells „Feldlinien“ und der Feldstärke beschreiben</li> <li>– Nachweismöglichkeiten für das elektrische Feld beschreiben</li> <li>– die Arbeit in elektrischen Feldern unter Beachtung der Bedingungen berechnen</li> <li>– den Zusammenhang von elektrischen und konstruktiven Größen am Plattenkondensator quantitativ beschreiben</li> <li>– die Bewegung elektrisch geladener Körper energetisch beschreiben</li> <li>– den Energieerhaltungssatz zur Berechnung der Bewegung elektrisch geladener Teilchen nutzen</li> <li>– Bewegungen elektrisch geladener Körper in elektrischen Feldern beschreiben und die Bahngleichungen herleiten</li> <li>– das Auf- und Entladen eines Kondensators beschreiben</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zum Laden oder Entladen eines Kondensators planen, durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Bewegung von Ladungsträgern im elektrischen Feld beschreiben und mit Wurfbewegungen vergleichen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das elektrische Feld mit dem Modell „Feldlinien“ beschreiben und die Grenzen des Modells aufzeigen</li> <li>– technische Anwendungen elektrischer Felder (z. B. elektrischer Weidezaun, Lügendetektor, EKG) erkunden und unter den Aspekten Zweckmäßigkeit, Sicherheit und Zuverlässigkeit bewerten</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– elektrische Ladung</li> <li>– elektrostatisches Feld                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• elektrische Ladungen als Quelle</li> <li>• Nachweismöglichkeiten</li> <li>• homogene und inhomogene Felder</li> <li>• Modell „Feldlinien“</li> <li>• Kraftwirkung zwischen geladenen Körpern</li> <li>• elektrische Feldstärke</li> <li>• Arbeit im homogenen elektrischen Feld</li> </ul> </li> <li>– elektrisches Feld eines Plattenkondensators                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Struktur des Feldes</li> <li>• Feldstärke</li> <li>• Kapazität unter Beachtung der Geometrie</li> <li>• Auf- und Entladung eines Kondensators</li> </ul> </li> <li>– Bewegung von Ladungsträgern im elektrischen Feld</li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aufnahme der Lade- oder Entladekurve eines Kondensators</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Magnetisches Feld</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das magnetische Feld von Dauermagneten, stromführenden Leitern und Spulen quantitativ und mit dem Modell „Feldlinien“ beschreiben</li> <li>– das magnetische Feld als Träger von Energie erläutern</li> <li>– die Richtung der Lorentzkraft mithilfe der UVW-Regel folgern</li> <li>– die Wirkungen von magnetischen Feldern auf die Bewegung von Ladungsträgern erklären und berechnen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– einen Versuch beschreiben und auswerten zur Bestimmung der spezifischen Ladung eines Elektrons</li> <li>– Experimente zum Magnetismus planen, durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– das elektromotorische Prinzip beschreiben und Richtungsbeziehungen am Beispiel des Schaukelversuches erläutern</li> <li>– die Rolle des Magnetfeldes der Erde als Schutzmantel vor kosmischer Strahlung recherchieren</li> <li>– den Aufbau des Massenspektrographen beschreiben sowie seine prinzipielle Wirkungsweise erklären</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die idealisierte Beschreibung von elektrischen und magnetischen Feldern mit der Realität vergleichen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– magnetisches Feld                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dauermagnet, Erde (Komponenten), stromdurchflossener Leiter (Oersted-Versuch) und Spule</li> <li>• Feldformen, Modell „Feldlinien“</li> </ul> </li> <li>– magnetische Flussdichte: <math>B = \frac{F}{I \cdot \ell}</math> mit <math>\vec{l} \perp \vec{B}</math>, <math>\vec{l} \perp \vec{F}</math> und <math>\vec{B} \perp \vec{F}</math> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stromwaage</li> </ul> </li> <li>– Bewegung von Ladungsträgern im homogenen magnetischen Feld                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lorentzkraft in der Form <math>\vec{F}_L = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})</math></li> <li>• Bestimmung der spezifischen Ladung eines Elektrons</li> </ul> </li> <li>– homogenes magnetisches Feld einer stromdurchflossenen Spule</li> <li>– Anwendungen in der Technik                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Massenspektrograph</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Magnetfeld eines Elektro- oder Dauermagneten</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Elektromagnetische Induktion</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die bei Versuchen zur Induktion beobachtbaren Phänomene erklären</li> <li>– den Zusammenhang zwischen den Baugrößen einer Spule und ihrer Induktivität erläutern</li> <li>– das Auftreten einer Induktionsspannung unter Verwendung des Induktionsgesetzes qualitativ erklären</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Induktionsspannung als Ergebnis der wirkenden Lorentzkraft auf die Ladungsträger eines in einem Magnetfeld bewegten Leiters erklären</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Lenz'sche Regel und das Auftreten von Wirbelströmen zur Erklärung technischer Anwendungen nutzen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Leistungen und Grenzen der technischen Anwendung von Gleich- und Wechselstrom erkennen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Generatorprinzip als Umkehrung des elektromotorischen Prinzips</li> <li>– Induktionsspannung: <math>U = -\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\ell} \cdot \mathbf{v}</math></li> <li>– magnetischer Fluss</li> <li>– Induktionsgesetz, Lenz'sche Regel, Wirbelströme</li> <li>– Generator</li> <li>– Wechselstromkreis                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erzeugung einer Wechselspannung</li> <li>• zeitlicher Verlauf von Spannung und Stromstärke</li> <li>• Momentan- und Effektivwerte</li> </ul> </li> <li>– Spule und Induktion                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Induktivität einer Spule</li> </ul> </li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Elektromagnetische Schwingungen und Wellen</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– elektromagnetische Wellen als Form der Materie charakterisieren</li> <li>– die Veränderungen der physikalischen Erscheinungen beim Übergang vom geschlossenen zum offenen Schwingkreis beschreiben</li> <li>– das Prinzip der Informationsübertragung mit Hertz'schen Wellen erläutern</li> <li>– die Wirkungen elektromagnetischer Wellen auf metallische Körper und lebendes Gewebe erklären</li> <li>– verschiedener elektromagnetische Wellen hinsichtlich ihrer Energie in das Spektrum einordnen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zum Einfluss von Induktivität und Kapazität auf die Schwingungsdauer sowie des Widerstandes auf die Dämpfung auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Diagramme elektromagnetischer Schwingungen auswerten</li> <li>– die prinzipiellen Wirkungsweisen aktueller Anwendungen von Hertz'schen Wellen erkunden und darstellen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wirkungen der drahtlosen Informationsübertragung auf die gesellschaftliche Entwicklung diskutieren</li> <li>– das Phänomen Elektromog charakterisieren und Positionen in aktuellen Diskussionen darstellen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Elektromagnetische Schwingungen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erzeugung gedämpfter elektromagnetischer Schwingungen im Schwingkreis</li> <li>• zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke, elektrischer und magnetischer Feldenergie</li> <li>• Thomson'sche Schwingungsgleichung</li> <li>• erzwungene Schwingung und Resonanz</li> </ul> </li> <li>– Hertz'sche Wellen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erzeugung, Eigenschaften, Ausbreitung</li> <li>• Informationsübertragung</li> <li>• thermische und ionisierende Wirkungen</li> </ul> </li> </ul>	

**Themenbereich: Quantenphysik**

<b>Kompetenzschwerpunkt: Eigenschaften von Quantenobjekten</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die qualitativen Vorhersagen der klassischen Elektrodynamik zur Energie der Photoelektronen mit Bezug auf die Frequenz und die Intensität des Lichtes erläutern</li> <li>– Teilchen- und Welleneigenschaften von Photonen und Elektronen beschreiben</li> <li>– die Komplementarität als prinzipiellen Wesenszug der Quantenphysik interpretieren</li> <li>– Quantenobjekte als quantenphysikalische Systeme deutlich von klassischen Objekten aufgrund besonderer Eigenschaften und des besonderen Verhaltens unterscheiden</li> <li>– die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes in der Quantenphysik an Beispielen aufzeigen, Energiebilanzen aufstellen und anwenden</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den Widerspruch der experimentellen Befunde des Photoeffekts zur klassischen Physik erläutern und den Photoeffekt mithilfe der Einstein’schen Photonenhypothese deuten</li> <li>– die Wesenszüge der Quantenphysik an Beispielen und Experimenten (z. B. dem Doppelspaltexperiment) qualitativ beschreiben                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• stochastische Vorhersagbarkeit</li> <li>• Fähigkeit zur Interferenz</li> <li>• Eindeutigkeit der Messergebnisse (Einfluss der Messung)</li> <li>• Komplementarität</li> </ul> </li> <li>– an Beispielen die Bedeutung der Unbestimmtheitsrelation von Heisenberg für den Messprozess erläutern</li> <li>– Experimente zur Messung von Naturkonstanten planen, durchführen und auswerten</li> <li>– die Bedeutung von Gedankenexperimenten darstellen</li> <li>– Simulationssoftware bei der Untersuchungen von Quantenobjekten nutzen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mithilfe der Wesenszüge der Quantenphysik Experimente aus der aktuellen Forschung analysieren</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Grenzen des klassischen Teilchenmodells und des klassischen Wellenmodells benennen</li> <li>– das Auftreten eines Paradigmenwechsels in der Physik am Beispiel der Beschreibung der Eigenschaften und des Verhaltens von Quantenobjekten (Photonen, Elektronen) im Vergleich zur Beschreibung mit klassischen Modellen reflektieren</li> <li>– darlegen, dass neue quantenphysikalische Experimente und Phänomene zu neuen physikalischen Theorien und Modellen und somit zur Weiterentwicklung des physikalischen Weltbildes führen können</li> </ul>

### Grundlegende Wissensbestände

- Teilcheneigenschaften von Photonen
  - Photoeffekt, Deutung nach Einstein, Photonenhypothese
  - Energie von Photonen, Planck'sches Wirkungsquantum
  - Energiebilanz:  $h \cdot f = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + W_A$ , Einstein'sche Gerade
  - Impuls von Photonen
- Welleneigenschaften von Photonen  
Interferenz durch Beugung am Doppelspalt
- Teilcheneigenschaften von Elektronen
  - Masse, Ladung, Impuls, Ort
  - Elektronenstrahlröhre, Impulsexperiment
- Welleneigenschaften von Elektronen
  - de-Broglie-Hypothese, Zusammenhang von Impuls und de-Broglie-Wellenlänge
  - Interferenz beim Doppelspalt-Experiment
- Wechselwirkung von Strahlung mit Materie
- Unbestimmtheitsrelation von Heisenberg als Beispiel für das Komplementaritätsprinzip:  
 $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$ ;  $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$
- quantenmechanischer Messvorgang und seine Konsequenzen

### Verbindliche Schülerexperimente

- Interferenz von Licht
- Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums

<b>Kompetenzschwerpunkt: Quantenphysikalisches Atommodell</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– den Zusammenhang zwischen den stehenden Wellen im Modell „Eindimensionaler Potentialtopf“ und der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Quantenobjekten deuten</li> <li>– Quantenobjekte als quantenphysikalische Systeme deutlich von klassischen Objekten anhand besonderer Eigenschaften und des besonderen Verhaltens unterscheiden</li> <li>– die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes in der Quantenphysik an Beispielen aufzeigen</li> <li>– diskrete Energiewerte im Modell „Eindimensionaler Potentialtopf“ erkennen</li> <li>– Orbitale im quantenphysikalischen Atommodell als Folge besonderer Energiezustände auffassen</li> <li>– die Energiequantelung bei den Atomspektren nachweisen</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– darlegen, dass neue quantenphysikalische Experimente und Phänomene zu neuen physikalischen Theorien und Modellen und somit zur Weiterentwicklung des physikalischen Weltbildes führen können</li> <li>– im Bereich der Quantenphysik den strengen Determinismus der klassischen Physik durch den Wesenszug der stochastischen Vorhersagbarkeit ersetzen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– am Beispiel der historischen Entwicklung der Atommodelle aufzeigen, dass Widersprüche zwischen Realität und Modell Motivation für weitere Forschungen sind</li> <li>– die Interpretation der zulässigen Lösungen des mathematischen Modells von Quantenobjekten nach Born im Diskurs erläutern</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Analogie stehender mechanischer Wellen und die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons im Modell „Eindimensionaler Potentialtopf“ reflektieren</li> <li>– die Notwendigkeit der Entwicklung eines quantenphysikalischen Atommodells erkennen und damit Anwendungen und experimentelle Befunde reflektieren und bewerten</li> <li>– den Einfluss der Quantenphysik auf Grundannahmen zur physikalischen Erkenntnis und auf Veränderungen des Weltbildes bewerten</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Elektron im Modell „Eindimensionaler Potentialtopf“                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• unendlich hohe Wände, stehende Wellen und Aufenthaltswahrscheinlichkeiten, diskrete Energiewerte</li> </ul> </li> <li>– mathematisches Modell von Mikroobjekten, die keine makroskopische Anschauung haben                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen hängen von der Gesamtenergie des Systems ab und sind aus dem Modell ableitbar</li> <li>• Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen</li> </ul> </li> <li>– quantenphysikalisches Modell des Wasserstoffatoms                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• Übergang zur dreidimensionalen Darstellung stehender Wellen (z. B. Chladni)</li> <li>• dreidimensionale Darstellung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen in der Atomhülle durch Orbitale in Abhängigkeit vom diskreten Energiezustand</li> </ul> </li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Anwendungen der Quantenphysik</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Entstehung verschiedener Spektren erklären</li> <li>– die prinzipielle Erzeugung von Röntgenstrahlung und die Beeinflussung ihrer Eigenschaften beschreiben</li> <li>– Wechselwirkungen von Röntgenstrahlung mit stofflicher Materie erläutern</li> <li>– charakteristische Eigenschaften des Laserlichtes ableiten</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zu Spektren planen, durchführen und auswerten</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– charakteristische Spektren auswerten</li> <li>– den prinzipiellen Aufbau eines Lasers beschreiben und seine Wirkungsweise erklären</li> <li>– die prinzipielle Wirkungsweise von technischen Anwendungen von Röntgenstrahlung und Laserlicht recherchieren und darstellen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Ambivalenz der Anwendung von Röntgenstrahlung in der Medizin diskutieren</li> <li>– das Festlegen von Grenzwerten bei der Arbeit mit elektromagnetischer Strahlung begründen</li> <li>– die Röntgenstrahlung energetisch (und damit hinsichtlich der Wirkung) mit anderen Strahlungsarten vergleichen</li> <li>– die Bedeutung der Spektralanalyse als Erkenntnismethode darstellen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Linienspektren: Absorptions- und Emissionsspektren Spektralanalyse</li> <li>– Röntgenstrahlung                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bremsstrahlung</li> <li>• Eigenschaften: Durchdringung, Absorption, Ionisation</li> <li>• Anwendungen</li> </ul> </li> <li>– Laserlicht                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• induzierte Emission</li> <li>• Eigenschaften</li> <li>• Anwendungen</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Verbindliche Experimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Spektren verschiedener Lichtquellen</li> </ul>	

**Themenbereich: Wellen**

<b>Kompetenzschwerpunkt: Ausbreitung von Wellen</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mechanische und elektromagnetische Wellen erzeugen und Möglichkeiten zur Beeinflussung ihrer Kenngrößen aufzeigen</li> <li>– die mit der Ausbreitung einer Welle einhergehende Veränderung der Intensität erklären und berechnen</li> <li>– die Entstehung des Dopplereffektes erklären</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zur Wellenausbreitung planen, durchführen und auswerten</li> <li>– Simulationsprogramme zur Bearbeitung vorgegebener Problemstellungen nutzen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die prinzipielle Wirkungsweise eines Schallpegelmessgerätes beschreiben</li> <li>– unterschiedliche Möglichkeiten der Visualisierung bei der Präsentation der Arbeitsergebnisse nutzen</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vorteile und Grenzen von Analogiebetrachtungen im Erkenntnisprozess am Beispiel mechanischer und elektromagnetischer Wellen darstellen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– mechanische und elektromagnetische Wellen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erzeugung</li> <li>• Eigenschaften</li> </ul> </li> <li>– Ausbreitung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einflüsse auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit</li> <li>• Energietransport</li> <li>• Intensität, Leistung, Abstandsgesetz: <math>I = \frac{P}{4 \pi \cdot r^2}</math></li> <li>• Dämpfung: <math>I = I_0 \cdot e^{-d \cdot r}</math></li> </ul> </li> <li>– Doppler-Effekt</li> <li>– Weber-Fechner'sches Gesetz: <math>E = k \cdot \ln \left( \frac{P}{P_0} \right)</math></li> </ul>	
<b>Verbindliche Schülerexperimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abstandsgesetz</li> </ul>	

<b>Kompetenzschwerpunkt: Anwendungen von Wellen</b>	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die Vorgänge im menschlichen Ohr bei der Schallverarbeitung beschreiben</li> <li>– die Abhängigkeit des Hörens von der Frequenz und von der Intensität begründen</li> <li>– Verfahren zur Ermittlung von Geschwindigkeiten von Objekten im Straßenverkehr und im Weltall erläutern</li> </ul>
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Experimente zur Dämpfung und zum Doppler-Effekt auswerten</li> <li>– die subjektive Wahrnehmung von Schallbelastungen untersuchen</li> </ul>
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– die prinzipielle Wirkungsweise eines Ultraschallgerätes beschreiben</li> <li>– verschiedene Möglichkeiten der Schalldämmung im Bauwesen erkunden, im Modell veranschaulichen und geordnet präsentieren</li> <li>– die Verfahren zur Erderkundung mit Schallwellen recherchieren</li> <li>– Lärmschutzverordnungen entsprechend der jeweiligen Problemstellung erschließen</li> <li>– eine Lärmkarte für ein abgegrenztes Gebiet erstellen, interpretieren und Schlussfolgerungen ableiten</li> </ul>
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– unterschiedliche Möglichkeiten der Lärminderung in Gebäuden oder Wohngebieten bewerten</li> <li>– verschiedene bildgebende Verfahren in der Medizin unter diagnostischen Aspekten und Sicherheitsaspekten vergleichen</li> </ul>
<b>Grundlegende Wissensbestände</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hörgrenzen</li> <li>– Lärm und Maßnahmen zur Lärminderung</li> <li>– Schalldämmung im Bauwesen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftschall, Körperschall</li> </ul> </li> <li>– Erkundung des Erdinneren mit Schallwellen</li> <li>– Geschwindigkeitsmessung unter Nutzung des Dopplereffekts</li> <li>– Sonographie unter Nutzung des Dopplereffekts</li> </ul>	

### 3.6.4 Dreistündiges Wahlpflichtfach

Das dreistündige Wahlpflichtfach entspricht dem grundlegenden Anforderungsniveau.