

Fachlehrplan Fachgymnasium

Stand: 20.6.2016



SACHSEN-ANHALT

Ministerium für Bildung

Physik

An der Erarbeitung des Fachlehrplanes haben mitgewirkt:

Dittmer, Frank

Thale

Jüttner, Uwe

Magdeburg

Kaminski, Edda

Halle

Müller, Birgit

Stendal

Dr. Pommeranz, Hans-Peter

Halle (Leitung der Fachgruppe)

Dr. Schülbe, Rüdiger

Eisleben

Talanow, Martin

Halle

Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Bildung und Erziehung im Fach Physik	2
2	Entwicklung fachbezogener Kompetenzen	5
3	Kompetenzentwicklung in den Schuljahrgängen	14
3.1	Übersicht über die Kompetenzschwerpunkte	14
3.2	Schuljahrgang 11 (Einführungsphase)	16
3.3	Schuljahrgänge 12/13 (Qualifikationsphase)	20
3.3.1	Qualifikationsphase 4stündig.....	20
3.3.2	Qualifikationsphase 2stündig.....	37

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 eröffnet 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 mitschreiben,
- 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.

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 physikalischen 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.

Die 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 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.

Endniveau

Am Ende der	
Einführungsphase	Qualifikationsphase
können die Schülerinnen und Schüler in der Regel	
– 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	
Einführungsphase	Qualifikationsphase
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	
Einführungsphase	Qualifikationsphase
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 situationgerecht darstellen.

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

*Kompetenzbereich
Reflektieren und
bewerten*

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.

Endniveau

Am Ende der	
Einführungsphase	Qualifikationsphase
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 Bedingtheiten 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.

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.

Kompetenzen im Umgang mit digitalen Werkzeugen und Endgeräten

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 11 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 13 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 bearbeitende Aufgaben,
- der Anwendung der Differential- und Integralrechnung bei der Beschreibung physikalischer Vorgänge.

3 Kompetenzentwicklung in den Schuljahren

3.1 Übersicht über die Kompetenzschwerpunkte

Einführungsphase

Kompetenzschwerpunkte
Kräfte und ihre Wirkungen
Mechanische Arbeit und Energie
Mechanische Schwingungen und Wellen

Qualifikationsphase 4stündig

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 2stündig

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 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 11 bis 13 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 11 (Einführungsphase)

Kompetenzschwerpunkt: Kräfte und ihre Wirkungen	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> – konkreten Bewegungen ihre zugehörigen Bewegungsformen und -arten zuordnen – aus der Bewegungsänderung eines Körpers auf das Wirken einer Kraft schließen und diese beschreiben – die Bewegungsgesetze auf einfache Realbewegungen übertragen und anwenden
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> – Experimente zur Reibung nach Vorgaben durchführen und auswerten – systematische und zufällige Messfehler benennen
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> – Kräfte mithilfe von Parallelogrammen addieren bzw. in Komponenten zerlegen – die Bewegung von Körpern beschreiben – Bewegungen von Körpern in geeigneten $s(t)$-, $v(t)$- und $a(t)$-Diagrammen veranschaulichen bzw. aus diesen Diagrammen Informationen entnehmen
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> – die Bedeutung von erwünschten und unerwünschten Reibungskräften im Alltag (z. B. im Sport) erläutern und Möglichkeiten zu deren Veränderung aufzeigen
Grundlegende Wissensbestände	
<ul style="list-style-type: none"> – Kraft als vektorielle Größe – Addition und Zerlegung von Kräften – Newton'sche Axiome – Reibungskräfte – Kräfte und Bewegungszustandsänderungen <ul style="list-style-type: none"> • Geschwindigkeit und Beschleunigung als vektorielle Größen • gleichförmige Bewegung • gleichmäßig beschleunigte Bewegung – Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung für $s_0 = 0$ und $v_0 = 0$ <ul style="list-style-type: none"> • $s(t)$-, $v(t)$- und $a(t)$-Diagramme • freier Fall als Spezialfall 	
Verbindliche Schülerexperimente	
<ul style="list-style-type: none"> – Reibung 	

Kompetenzschwerpunkt: Mechanische Arbeit und Energie	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> – Arbeit als Prozessgröße und Energie als Zustandsgröße kennzeichnen – potentielle und kinetische Energie quantitativ beschreiben – die mechanische Arbeit berechnen – den Energieerhaltungssatz der Mechanik anwenden
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> – Experimente zur mechanischen Arbeit nach Vorgaben durchführen und auswerten – Einfluss von systematischen und zufälligen Messfehlern auf das Ergebnis beschreiben und Möglichkeiten zur Verringerung von Messfehlern aufzeigen
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> – die Arbeit als Fläche im $F(s)$-Diagramm interpretieren und diese daraus ermitteln – Möglichkeiten der technischen Speicherung von Energie erkunden und unter den Aspekten der Kapazität und Speicherzeiten vergleichen
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> – die Bedeutung des Energieerhaltungssatzes an Beispielen erläutern
Grundlegende Wissensbestände	
<ul style="list-style-type: none"> – Systembegriff in der Physik – Energie <ul style="list-style-type: none"> • Arten mechanischer Energie – Arbeit <ul style="list-style-type: none"> • für $\vec{F} \parallel \vec{s}$ und $F = \text{konst.}$ • Arten mechanischer Arbeit – Zusammenhang zwischen der mechanischen Arbeit und der mechanischen Energie – Energieerhaltungssatz der Mechanik, Gültigkeitsbedingung 	
Verbindliche Schülerexperimente	
<ul style="list-style-type: none"> – Federspannarbeit 	

Kompetenzschwerpunkt: Mechanische Schwingungen und Wellen	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> – die Entstehung mechanischer Schwingungen beschreiben – Energiebilanzen für schwingende Systeme aufstellen und Energieumwandlungen in diesen beschreiben – gedämpfte Schwingungen auf Energieverluste zurückführen – die Ausbreitung harmonischer mechanischer Wellen beschreiben – die Kopplung von Oszillatoren des Wellenträgers als Voraussetzung für den Energietransport sowie die Notwendigkeit eines Trägermediums für mechanische Wellen begründen – harmonische Schwingungen und Wellen mithilfe der Kenngrößen beschreiben – harmonische Wellen mit Gangunterschied, Kohärenz und Phase vergleichen – die Speicherung von Energie in stehenden Wellen erläutern – Interferenzphänomene für stehende Wellen beschreiben und erklären
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> – die Gleichung für die Periodendauer eines Federschwingers oder Fadenpendels anwenden – Experimente zu mechanischen Schwingungen planen, durchführen und auswerten
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> – harmonische Schwingungen und Wellen grafisch darstellen und aus Diagrammen Informationen entnehmen – die Sinuskurve mithilfe des Einheitskreises zur grafischen Beschreibung von harmonischen Schwingungen verwenden
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> – reale Schwinger zu harmonischen bzw. nichtharmonischen Schwingungen begründet zuordnen – am Beispiel der Resonanz eines schwingenden Systems die Auswirkungen der Erregerfrequenz und der Dämpfung auf die Amplitude beschreiben und beurteilen

Grundlegende Wissensbestände

- mechanische Schwingungen
 - Schwingungsbegriff, Arten und Merkmale, Voraussetzungen für die Entstehung
 - Kenngrößen
 - Aufzeichnung, Darstellung und Beschreibung im $y(t)$ -Diagramm
 - Energieumwandlungen
 - harmonische und nichtharmonische Schwingungen
- Federschwinger oder Fadenpendel
 - Periodendauer
 - Phasen einer Schwingung, Einheitskreis, Phasendifferenz
- freie und erzwungene Schwingungen
 - Eigenschwingung, Eigenfrequenz, erzwungene Schwingungen
 - Resonanz, Resonanzkurve
- mechanische Wellen
 - Wellenbegriff, Arten und Merkmale
 - Voraussetzungen für die Entstehung, Kopplung, Energietransport
 - Kenngrößen
 - Darstellung im $y(t)$ -Diagramm und $y(s)$ -Diagramm
 - Ausbreitung, Ausbreitungsgeschwindigkeit
- Eigenschaften mechanischer Wellen
 - Huygens'sches Prinzip
 - Reflexion mit und ohne Phasensprung, Brechung, Beugung
 - Interferenz, Begriffe: Gangunterschied Δs mit $\frac{\Delta s}{\Delta \varphi} = \frac{\lambda}{2\pi}$ und Kohärenz
- stehende Wellen
 - Begriff, Voraussetzungen für die Entstehung
 - Schwingungsknoten, Schwingungsbäuche
 - Speicherung von Energie

Verbindliche Schülerexperimente

- Federschwinger oder Fadenpendel

3.3 Schuljahrgänge 12/13 (Qualifikationsphase)

3.3.1 Qualifikationsphase 4stündig

Themenbereich: Mechanik

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

Grundlegende Wissensbestände

- Modell „Punktmasse“
- Bewegung in Systemen
 - Bewegungsarten und Bewegungsformen
 - Inertialsysteme und beschleunigte Bezugssysteme
 - Relativbewegungen
- vektorielle Größen der Translation
- Superpositionsprinzip
- Momentangrößen von Geschwindigkeit und Beschleunigung
 - $v(t) = \frac{ds}{dt} = \dot{s}$ und $a(t) = \frac{dv}{dt} = \dot{v}$
- Radialbeschleunigung
 - gleichförmige Kreisbewegungen
- Bewegungsgesetze für gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen mit Anfangsbedingungen
- Bewegungsgesetze für ungleichmäßig beschleunigte Bewegungen mit linearer Beschleunigungsänderung
- ungestörte Überlagerung von Bewegungen
 - senkrechter Wurf
 - waagerechter Wurf
 - schräger Wurf

Verbindliche Schülerexperimente

- Messreihen zu Momentangrößen (s , v , a)
- Bahn eines Wurfes

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

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 physikalische 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

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

Themenbereich: Elektrodynamik

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

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
 - Millikanversuch unter Berücksichtigung der Stokes'schen Reibung

Verbindliche Schülerexperimente

- Aufnahme der Lade- oder Entladekurve eines Kondensators

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

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

Grundlegende Wissensbestände

- Generatorprinzip als Umkehrung des elektromotorischen Prinzips
- Induktionsspannung: $U = -\mathbf{B} \cdot \mathbf{l} \cdot \mathbf{v}$
- 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
- 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

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

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

Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> – die Grenzen des klassischen Teilchenmodells und des klassischen Wellenmodells benennen – die Superposition der Möglichkeiten vor dem quantenphysikalischen Messvorgang erkennen und die Konsequenzen des quantenphysikalischen Messvorgangs mit dem Wesenszug der Eindeutigkeit der Messergebnisse bewerten – 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
---------------------------	---

Grundlegende Wissensbestände

<ul style="list-style-type: none"> – Teilcheneigenschaften von Photonen <ul style="list-style-type: none"> • 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 <ul style="list-style-type: none"> • Interferenz durch Beugung am Doppelspalt • Interferenzgleichung • Polarisierung, Streuung – Teilcheneigenschaften von Elektronen <ul style="list-style-type: none"> • Masse, Ladung, Impuls, Ort • Elektronenstrahlröhre, Impulsexperiment – Welleneigenschaften von Elektronen <ul style="list-style-type: none"> • de-Broglie-Hypothese, Zusammenhang von Impuls und de-Broglie-Wellenlänge • Interferenz am Doppelspalt – Experiment von Jönsson • Beugung von Elektronen (Elektronenbeugungsröhre) – Wechselwirkung von Strahlung mit Materie <ul style="list-style-type: none"> • Wechselwirkung von Photonen und Elektronen beim Compton-Effekt, Compton-Wellenlänge • Wahrscheinlichkeitsaussagen zu Interferenzversuchen mit einzelnen Photonen (Experiment von Taylor, Mach-Zehnder-Interferometer) • Verschränktheit und Nichtlokalität von Photonen, z. B. im Einstein-Podolski-Rosen-Experiment • Dekohärenz – 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
--

<ul style="list-style-type: none"> – Interferenz von Licht – Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums

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

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)

Themenbereich: Praktika

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

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

3.3.2 Qualifikationsphase 2stündig

Themenbereich: Mechanik

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

Grundlegende Wissensbestände

- Modell „Punktmasse“
- Bewegung in Systemen
 - Bewegungsarten und Bewegungsformen
 - Inertialsysteme und beschleunigte Bezugssysteme
 - Relativbewegungen
- vektorielle Größen der Translation
- Superpositionsprinzip
- Momentangrößen von Geschwindigkeit und Beschleunigung
 - $v(t) = \frac{ds}{dt} = \dot{s}$ und $a(t) = \frac{dv}{dt} = \dot{v}$
- Radialbeschleunigung
 - gleichförmige Kreisbewegungen als beschleunigte Bewegungen herausstellen
- Bewegungsgesetze für gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen mit Anfangsbedingungen
- ungestörte Überlagerung von Bewegungen
 - senkrechter Wurf
 - waagerechter Wurf
 - schräger Wurf

Verbindliche Schülerexperimente

- Messreihen zu Momentangrößen (s, v, a)
- Bahn eines Wurfes

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

Grundlegende Wissensbestände

- Kraft als Wechselwirkungsgröße
 - Wechselwirkungskraft
 - Gleichgewichtskraft
 - Trägheitskraft
 - Reibungskräfte
 - Radialkraft
- vektorielle Addition und Zerlegung von Kräften
 - geneigte Ebene
 - Kurvenüberhöhungen
 - Kräfte in verschiedenen Bezugssystemen
- Kräftebilanzen
- Energieerhaltungssatz der Mechanik
 - Energie als Erhaltungsgröße im abgeschlossenen System
 - Perpetuum mobile 1. Art und seine physikalische 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

Verbindliche Schülerexperimente

- Bestimmung von Haft- und Gleitreibungszahlen
- Untersuchung von Stößen

Kompetenzschwerpunkt: Analyse von realen Bewegungsvorgängen	
Fachwissen erwerben und anwenden	<ul style="list-style-type: none"> – reale Bewegungsvorgänge, z. B. im Straßenverkehr und im Sport, auch unter Berücksichtigung der Reibung und des umgebenden Mediums untersuchen – die Komplexität realer Stoßprozesse, z. B. bei verschiedenen Sportarten und bei Verkehrsunfällen, mithilfe von Modellen reduzieren und mit physikalischen Gesetzen beschreiben – den Energieerhaltungssatz zur Beschreibung und Analyse von Bewegungen nutzen
Erkenntnisse gewinnen	<ul style="list-style-type: none"> – 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
Kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> – 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
Reflektieren und Bewerten	<ul style="list-style-type: none"> – Fahrschulregeln bezüglich Sicherheitsabständen und Bremswegen analysieren und ihre Aktualität bewerten – die Wirksamkeit von Maßnahmen der aktiven und passiven Sicherheit im Straßenverkehr bewerten
Grundlegende Wissensbestände	
<ul style="list-style-type: none"> – Bewegungsarten und Bahnformen realer Bewegungen – erwünschte und unerwünschte Reibungseffekte – reale Stoßvorgänge 	
Verbindliche Schülerexperimente	
<ul style="list-style-type: none"> – Würfe und Stöße bei verschiedenen Sportarten – Anfahr- und Bremsvorgänge von Fahrzeugen 	

Themenbereich: Elektrodynamik

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

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

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

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

Themenbereich: Quantenphysik

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

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

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

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

Themenbereich: Wellen

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

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