

2.3 Kompetenzerwartungen und Inhaltliche Schwerpunkte bis zum Ende der Qualifikationsphase

Am Ende der Qualifikationsphase sollen die Schülerinnen und Schüler – aufbauend auf der Kompetenzentwicklung in der Einführungsphase – über die im Folgenden genannten **übergeordneten Kompetenzerwartungen** zu allen Kompetenzbereichen verfügen.

Während der Kompetenzbereich Kommunikation ausschließlich inhaltsfeldübergreifend angelegt ist, werden in den Bereichen Sachkompetenz, Erkenntnisgewinnungskompetenz und Bewertungskompetenz anschließend inhaltsfeldbezogen konkretisierte Kompetenzerwartungen formuliert. Hinter den konkretisierten Kompetenzerwartungen ist jeweils in Klammern angegeben, auf welche übergeordneten Kompetenzerwartungen aus allen Bereichen sich diese beziehen.

Sachkompetenz

Modelle und Theorien zur Bearbeitung von Aufgaben und Problemen nutzen

Die Schülerinnen und Schüler

- S1 erklären Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien, Modellen und Gesetzen auch auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens,
- S2 beschreiben Gültigkeitsbereiche von Modellen und Theorien und erläutern deren Aussage- und Vorhersagemöglichkeiten,
- S3 wählen zur Bearbeitung physikalischer Probleme relevante Modelle und Theorien sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen begründet aus.

Verfahren und Experimente zur Bearbeitung von Aufgaben und Problemen nutzen

Die Schülerinnen und Schüler

- S4 bauen Versuchsanordnungen auch unter Verwendung von digitalen Messwertfassungssystemen nach Anleitungen auf, führen Experimente durch und protokollieren ihre qualitativen Beobachtungen und quantitativen Messwerte,
- S5 erklären bekannte Messverfahren sowie die Funktion einzelner Komponenten eines Versuchsaufbaus,
- S6 erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messergebnisse an,

S7 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an.

Erkenntnisgewinnungskompetenz

Fragestellungen und Hypothesen auf Basis von Beobachtungen und Theorien bilden

Die Schülerinnen und Schüler

E1 identifizieren und entwickeln in unterschiedlichen Kontexten naturwissenschaftlich-technische Probleme und Fragestellungen zu physikalischen Sachverhalten,

E2 stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf.

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

Die Schülerinnen und Schüler

E3 beurteilen die Eignung von Untersuchungsverfahren zur Prüfung bestimmter Hypothesen,

E4 modellieren Phänomene physikalisch, auch mithilfe mathematischer Darstellungen und digitaler Werkzeuge, wobei sie theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander beziehen,

E5 konzipieren geeignete Experimente und Auswertungen zur Untersuchung einer physikalischen Fragestellung unter Beachtung der Variablenkontrolle.

Erkenntnisprozesse und Ergebnisse interpretieren und reflektieren

Die Schülerinnen und Schüler

E6 erklären mithilfe bekannter Modelle und Theorien die in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen,

E7 berücksichtigen Messunsicherheiten und analysieren die Konsequenzen für die Interpretation des Ergebnisses,

E8 beurteilen die Eignung physikalischer Modelle und Theorien für die Lösung von Problemen,

E9 reflektieren die Relevanz von Modellen, Theorien, Hypothesen und Experimenten im Prozess der physikalischen Erkenntnisgewinnung.

Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren

Die Schülerinnen und Schüler

- E10 beziehen theoretische Überlegungen und Modelle zurück auf zugrundeliegende Kontexte und reflektieren ihre Generalisierbarkeit,
- E11 reflektieren Möglichkeiten und Grenzen des konkreten Erkenntnisgewinnungsprozesses sowie der gewonnenen Erkenntnisse (z. B. Reproduzierbarkeit, Falsifizierbarkeit, Intersubjektivität, logische Konsistenz, Vorläufigkeit).

Kommunikationskompetenz

Informationen erschließen

Die Schülerinnen und Schüler

- K1 recherchieren zu physikalischen Sachverhalten zielgerichtet in analogen und digitalen Medien und wählen für ihre Zwecke passende Quellen aus,
- K2 prüfen verwendete Quellen hinsichtlich der Kriterien Korrektheit, Fachsprache und Relevanz für den untersuchten Sachverhalt,
- K3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellungen und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder.

Informationen aufbereiten

Die Schülerinnen und Schüler

- K4 formulieren unter Verwendung der Fachsprache chronologisch und kausal korrekt strukturiert,
- K5 wählen ziel-, sach- und adressatengerecht geeignete Schwerpunkte für die Inhalte von Präsentationen, Diskussionen oder anderen Kommunikationsformen aus,
- K6 veranschaulichen Informationen und Daten in ziel-, sach- und adressatengerechten Darstellungsformen, auch mithilfe digitaler Werkzeuge,
- K7 präsentieren physikalische Sachverhalte sowie Lern- und Arbeitsergebnisse sach-, adressaten- und situationsgerecht unter Einsatz geeigneter analoger und digitaler Medien.

Informationen austauschen und wissenschaftlich diskutieren

Die Schülerinnen und Schüler

- K8 nutzen ihr Wissen über aus physikalischer Sicht gültige Argumentationsketten zur Beurteilung vorgegebener und zur Entwicklung eigener innerfachlicher Argumentationen,
- K9 tauschen sich mit anderen konstruktiv über physikalische Sachverhalte auch in digitalen kollaborativen Arbeitssituationen aus, vertreten, reflektieren und korrigieren gegebenenfalls den eigenen Standpunkt,
- K10 prüfen die Urheberschaft, belegen verwendete Quellen und kennzeichnen Zitate.

Bewertungskompetenz

Sachverhalte und Informationen multiperspektivisch beurteilen

Die Schülerinnen und Schüler

- B1 erläutern aus verschiedenen Perspektiven Eigenschaften einer schlüssigen und überzeugenden Argumentation,
- B2 beurteilen Informationen und deren Darstellung aus Quellen unterschiedlicher Art hinsichtlich Vertrauenswürdigkeit und Relevanz.

Kriteriengeleitet Meinungen bilden und Entscheidungen treffen

Die Schülerinnen und Schüler

- B3 entwickeln anhand geeigneter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich- oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen diese gegeneinander ab,
- B4 bilden sich reflektiert und rational in außerfachlichen Kontexten ein eigenes Urteil.

Entscheidungsprozesse und Folgen reflektieren

Die Schülerinnen und Schüler

- B5 reflektieren Bewertungen von Technologien und Sicherheitsmaßnahmen oder Risikoeinschätzungen hinsichtlich der Güte des durchgeführten Bewertungsprozesses,

- B6 beurteilen Technologien und Sicherheitsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Eignung und Konsequenzen und schätzen Risiken, auch in Alltagssituationen, ein,
- B7 reflektieren kurz- und langfristige, lokale und globale Folgen eigener und gesellschaftlicher Entscheidungen mit physikalischem Hintergrund,
- B8 reflektieren Auswirkungen physikalischer Weltbetrachtung sowie die Bedeutung physikalischer Kompetenzen in historischen, gesellschaftlichen oder alltäglichen Zusammenhängen.

2.3.1 Grundkurs

Die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler sollen im Rahmen der Behandlung der nachfolgenden, für die Qualifikationsphase **obligatorischen Inhaltsfelder** entwickelt werden:

- Klassische Wellen und geladene Teilchen in Feldern
- Quantenobjekte
- Elektrodynamik und Energieübertragung
- Strahlung und Materie

Bezieht man übergeordnete Kompetenzerwartungen (Kap. 2.3) sowie die unten aufgeführten **inhaltlichen Schwerpunkte** aufeinander, so ergeben sich die nachfolgenden **konkretisierten Kompetenzerwartungen**:

Inhaltsfeld Klassische Wellen und geladene Teilchen in Feldern

Inhaltliche Schwerpunkte:

- Klassische Wellen: Federpendel, mechanische harmonische Schwingungen und Wellen; Huygens'sches Prinzip, Reflexion, Brechung, Beugung; Superposition und Polarisation von Wellen
- Teilchen in Feldern: elektrische und magnetische Felder; elektrische Feldstärke, elektrische Spannung; magnetische Flussdichte; Bahnformen von geladenen Teilchen in homogenen Feldern

Sachkompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen, deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie deren Zusammenhänge (S1, S3),
- erläutern am Beispiel des Federpendels Energieumwandlungen harmonischer Schwingungen (S1, S2, K4),
- erläutern mithilfe der *Wellenwanne* qualitativ auf der Grundlage des Huygens'schen Prinzips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz (S1, E4, K6),
- erklären mithilfe der Superposition stehende Wellen (S1, E6, K3),
- erläutern die lineare Polarisation als Unterscheidungsmerkmal von Longitudinal- und Transversalwellen (S2, E3, K8),
- stellen elektrische Feldlinienbilder von homogenen, Radial- und Dipolfeldern sowie magnetische Feldlinienbilder von homogenen und Dipolfeldern dar (S1, K6),
- beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte (S2, S3, E6),
- erläutern am Beispiel des Plattenkondensators den Zusammenhang zwischen elektrischer Spannung und elektrischer Feldstärke im homogenen elektrischen Feld (S3),
- berechnen Geschwindigkeitsänderungen von Ladungsträgern nach Durchlaufen einer elektrischen Spannung (S1, S3, K3),
- erläutern am *Fadenstrahlrohr* die Erzeugung freier Elektronen durch den glüh-elektrischen Effekt, deren Beschleunigung beim Durchlaufen eines elektrischen Felds sowie deren Ablenkung im homogenen magnetischen Feld durch die Lorentzkraft (S4, S6, E6, K5).

Erkenntnisgewinnungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- konzipieren Experimente zur Abhängigkeit der Periodendauer von Einflussgrößen beim Federpendel und werten diese unter Anwendung digitaler Werkzeuge aus (E6, S4, K6),
- ordnen dem zeitlichen Verlauf von Elongation, Geschwindigkeit und Beschleunigung deren Funktionsgleichungen zu und wenden diese an (E4, E6, S3),
- weisen anhand des Interferenzmusters bei *Doppelspalt-* und *Gitterversuchen* mit mono- und polychromatischem Licht die Wellennatur des Lichts nach und

bestimmen daraus Wellenlängen (E7, E8, K4),

- entwickeln mithilfe des Superpositionsprinzips elektrische und magnetische Feldlinienbilder (E4, E6),
- modellieren mathematisch die Beobachtungen am *Fadenstrahlrohr* und ermitteln aus den Messergebnissen die Elektronenmasse (E4, E9, K7),
- erläutern Experimente zur Variation elektrischer Einflussgrößen und deren Auswirkungen auf die Bahnformen von Ladungsträgern in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern (E2, K4),
- schließen aus der statistischen Auswertung einer vereinfachten Version des *Millikan-Versuchs* auf die Existenz einer kleinsten Ladung (E3, E11, K8),
- wenden eine Messmethode zur Bestimmung der magnetischen Flussdichte an (E3, K6),
- erschließen sich die Funktionsweise des *Zyklotrons* auch mithilfe von Simulationen (E1, E10, S1, K1).

Bewertungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- beurteilen die Schutzwirkung des Erdmagnetfeldes gegen den Strom geladener Teilchen aus dem Weltall (B4, K3)
- beurteilen Maßnahmen zur Störgeräuschreduzierung hinsichtlich deren Eignung (B7, K1, K5).

Ausgewählte Beiträge zu den Basiskonzepten

Erhaltung und Gleichgewicht:

Mithilfe der Energieerhaltung können periodische Zustandsänderungen bei mechanischen Schwingungen erläutert werden.

Superposition und Komponenten:

Das Superpositionsprinzip kann die Überlagerung mechanischer Wellen beschreiben.

Mathematisieren und Vorhersagen:

Im Rahmen der klassischen Betrachtung von Teilchen in Feldern lassen sich am Beispiel des Fadenstrahlrohrs exakte Vorhersagen über die Bahnen geladener Teilchen treffen.

Inhaltsfeld Quantenobjekte

Inhaltliche Schwerpunkte:

- Teilchenaspekte von Photonen: Energiequantelung von Licht, Photoeffekt
- Wellenaspekt von Elektronen: De-Broglie-Wellenlänge, Interferenz von Elektronen am Doppelspalt
- Photon und Elektron als Quantenobjekte: Wellen- und Teilchenmodell, Kopenhagener Deutung

Sachkompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- erläutern anhand eines *Experiments zum Photoeffekt* den Quantencharakter von Licht (S1, E9, K3),
- stellen die Lichtquanten- und De-Broglie-Hypothese sowie deren Unterschied zur klassischen Betrachtungsweise dar (S1, S2, E8, K4),
- wenden die De-Broglie-Beziehung an, um das Beugungsbild beim *Doppelspaltversuch mit Elektronen* quantitativ zu erklären (S1, S5, E6, K9),
- erläutern die Determiniertheit der Zufallsverteilung der diskreten Energieabgabe beim Doppelspaltexperiment mit stark intensitätsreduziertem Licht (S3, E6, K3),
- berechnen Energie und Impuls über Frequenz und Wellenlänge für Quantenobjekte (S3),
- erklären an einer exemplarischen Darstellung die Wahrscheinlichkeitsinterpretation für Quantenobjekte (S1, K3),
- erläutern bei Quantenobjekten die „Welcher-Weg“-Information als Bedingung für das Auftreten oder Ausbleiben eines Interferenzmusters in einem Interferenzexperiment (S2, K4).

Erkenntnisgewinnungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- leiten anhand eines *Experiments zum Photoeffekt* den Zusammenhang von Energie, Wellenlänge und Frequenz von Photonen ab (E6, S6),
- untersuchen mithilfe von Simulationen das Verhalten von Quantenobjekten am Doppelspalt (E4, E8, K6, K7),
- beurteilen an Beispielen die Grenzen und Gültigkeitsbereiche von Wellen- und Teilchenmodellen für Licht und Elektronen (E9, E11, K8).

Bewertungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- erläutern die Problematik der Übertragbarkeit von Begriffen aus der Anschauungswelt auf Quantenobjekte (B1, K8),
- stellen die Kontroverse um den Realitätsbegriff der Kopenhagener Deutung dar (B8, K9),
- beschreiben anhand quantenphysikalischer Betrachtungen die Grenzen der physikalischen Erkenntnisfähigkeit (B8, E11, K8).

Ausgewählte Beiträge zu den Basiskonzepten

Erhaltung und Gleichgewicht:

Die Deutung des Photoeffekts ist ein Beispiel für die Anwendung der Energieerhaltung.

Superposition und Komponenten:

Die konstruktive und destruktive Interferenz beim Doppelspaltexperiment mit Quantenobjekten sind ein Beispiel für die Superposition quantenmechanischer Zustände zu einer Auftreffwahrscheinlichkeit.

Mathematisieren und Vorhersagen:

Die Lichtquantenhypothese ermöglicht zusammen mit Energie- und Impulserhaltung die Mathematisierung von Wechselwirkungsprozessen von Licht mit Materie. Die De-Broglie-Hypothese ermöglicht zusammen mit dem Konzept der Materiewellen eine Mathematisierung der räumlichen Ausbreitung von Elektronen am Doppelspalt.

Zufall und Determiniertheit:

Die Determiniertheit von Zufallsverteilungen ist charakteristisch für die Aussagen der Quantenphysik.

Inhaltsfeld Elektrodynamik und Energieübertragung

Inhaltliche Schwerpunkte:

- Elektrodynamik: magnetischer Fluss, elektromagnetische Induktion, Induktionsgesetz; Wechselspannung; Auf- und Entladevorgang am Kondensator
- Energieübertragung: Generator, Transformator; elektromagnetische Schwingung

Sachkompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- erläutern das Auftreten von Induktionsspannungen am Beispiel der *Leiterschaukel* durch die Wirkung der Lorentzkraft auf bewegte Ladungsträger (S3, S4, K4),
- führen Induktionserscheinungen bei einer Leiterschleife auf die zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte oder die zeitliche Änderung der durchsetzten Fläche zurück (S1, S2, K4),
- beschreiben das Induktionsgesetz mit der mittleren Änderungsrate und in differentieller Form des magnetischen Flusses (S7),
- untersuchen die gezielte Veränderung elektrischer Spannungen und Stromstärken durch *Transformatoren* mithilfe angeleiteter Experimente als Beispiel für die technische Anwendung der Induktion (S1, S4, E6, K8),
- erklären am physikalischen *Modellexperiment zu Freileitungen* technologische Prinzipien der Bereitstellung und Weiterleitung von elektrischer Energie (S1, S3, K8),
- beschreiben die Kapazität als Kenngröße eines Kondensators und bestimmen diese für den Spezialfall des Plattenkondensators in Abhängigkeit seiner geometrischen Daten und der Dielektrizitätszahl (S1, S3),
- erläutern qualitativ die bei einer elektromagnetischen Schwingung in der Spule und am Kondensator ablaufenden physikalischen Prozesse (S1, S4, E4),
- untersuchen den *Auf- und Entladevorgang bei Kondensatoren* unter Anleitung experimentell (S4, S6, K6).

Erkenntnisgewinnungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- interpretieren die mit einem *Oszilloskop* bzw. *Messwerterfassungssystem* aufgenommenen Daten bei elektromagnetischen Induktions- und Schwingungsversuchen unter Rückbezug auf die experimentellen Parameter (E6, E7, K9),

- modellieren mathematisch das Entstehen von Induktionsspannungen für die beiden Spezialfälle einer zeitlich konstanten Fläche und einer zeitlich konstanten magnetischen Flussdichte (E4, E6, K7),
- modellieren mathematisch den zeitlichen Verlauf der Stromstärke bei *Auf- und Entladevorgängen bei Kondensatoren* unter Berücksichtigung des Widerstandes und der Kapazität (E4, E6, S7),
- erklären das Entstehen von sinusförmigen Wechselspannungen in *Generatoren* mithilfe des Induktionsgesetzes (E6, E10, K3, K4),
- stellen Hypothesen zum Verhalten des Rings beim *Thomson'schen Ringversuch* bei Zunahme und Abnahme des magnetischen Flusses im Ring auf und erklären diese mithilfe des Induktionsgesetzes (E2, E9, S3, K4, K8),
- interpretieren den Flächeninhalt zwischen Graph und Abszissenachse im *Q-U*-Diagramm als Energiegehalt des Plattenkondensators (E6, K8).

Bewertungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- beurteilen ausgewählte Beispiele zur Energiebereitstellung und -umwandlung unter technischen und ökologischen Aspekten (B3, B6, K8, K10),
- beurteilen den Einsatz des Kondensators als Energiespeicher in ausgewählten alltäglichen Situationen (B3, B4, K9),
- beurteilen das Potential der Energierückgewinnung auf der Basis von Induktionsphänomenen bei elektrischen Antriebssystemen (B7, K2).

Ausgewählte Beiträge zu den Basiskonzepten

Erhaltung und Gleichgewicht:

Die Energieerhaltung ist die Grundlage für die qualitative Erklärung der Prozesse bei ungedämpften elektromagnetischen Schwingungen.

Superposition und Komponenten:

Die Komponentenerlegung erklärt Induktionsphänomene bei einer rotierenden Leiterschleife in einem Magnetfeld.

Mathematisieren und Vorhersagen:

Das Induktionsgesetz ermöglicht quantitative Vorhersagen von Spannungssignalen.

Inhaltsfeld Strahlung und Materie

Inhaltliche Schwerpunkte:

- Strahlung: Spektrum der elektromagnetischen Strahlung; ionisierende Strahlung, Geiger-Müller-Zählrohr, biologische Wirkungen
- Atomphysik: Linienspektrum, Energieniveauschema, Kern-Hülle-Modell, Röntgenstrahlung
- Kernphysik: Nukleonen; Zerfallsprozesse und Kernumwandlungen, Kernspaltung und -fusion

Sachkompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- erklären die Energie emittierter und absorbierter Photonen am Beispiel von Linienspektren leuchtender Gase und Fraunhofer'scher Linien mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (S1, S3, E6, K4),
- beschreiben die Energiewerte für das Wasserstoffatom mithilfe eines quantenphysikalischen Atommodells (S2),
- interpretieren die Orbitale des Wasserstoffatoms als Veranschaulichung der Nachweiswahrscheinlichkeiten für das Elektron (S2, K8),
- erklären die Entstehung von *Bremsstrahlung* und *charakteristischer Röntgenstrahlung* (S3, E6, K4),
- unterscheiden α -, β -, γ - Strahlung, Röntgenstrahlung und Schwerionenstrahlung als Arten ionisierender Strahlung (S1),
- ordnen verschiedene Frequenzbereiche dem elektromagnetischen Spektrum zu (S1, K6),
- erläutern den Aufbau und die Funktionsweise des *Geiger-Müller-Zählrohrs* als Nachweisgerät für ionisierende Strahlung (S4, S5, K8),
- erläutern den Begriff der Radioaktivität und zugehörige Kernumwandlungsprozesse auch mithilfe der Nuklidkarte (S1, S2),
- wenden das zeitliche Zerfallsgesetz für den radioaktiven Zerfall an (S5, S6, K6),
- erläutern qualitativ den Aufbau eines Atomkerns aus Nukleonen, den Aufbau der Nukleonen aus Quarks sowie die Rolle der starken Wechselwirkung für die Stabilität des Kerns (S1, S2),
- erläutern qualitativ an der β^- -Umwandlung die Entstehung der Neutrinos mithilfe der schwachen Wechselwirkung und ihrer Austauschteilchen (S1, S2, K4),

- erklären anhand des Zusammenhangs $E = \Delta m c^2$ die Grundlagen der Energiefreisetzung bei Kernspaltung und -fusion über den Massendefekt (S1).

Erkenntnisgewinnungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- interpretieren die Bedeutung von *Flammenfärbung* und *Linienspektren* bzw. *Spektralanalyse* für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E6, E10),
- interpretieren die Messergebnisse des *Franck-Hertz-Versuchs* (E6, E8, K8),
- erklären das *charakteristische Röntgenspektrum* mit den Energieniveaus der Atomhülle (E6),
- identifizieren vorhandene Stoffe in der Sonnen- und Erdatmosphäre anhand von Spektraltafeln des *Sonnenspektrums* (E3, E6, K1),
- untersuchen experimentell anhand der Zählraten bei *Absorptionsexperimenten* unterschiedliche Arten ionisierender Strahlung (E3, E5, S4, S5),
- ermitteln im Falle eines einstufigen radioaktiven Zerfalls anhand der gemessenen Zählraten die Halbwertszeit (E5, E8, S6),
- begründen wesentliche biologisch-medizinische Wirkungen ionisierender Strahlung mit deren typischen physikalischen Eigenschaften (E6, K3),
- quantifizieren mit der Größe der effektiven Dosis die Wirkung ionisierender Strahlung und bewerten daraus abgeleitete Strahlenschutzmaßnahmen (E8, S3, B2).

Bewertungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- stellen an der historischen Entwicklung der Atommodelle die spezifischen Eigenschaften und Grenzen naturwissenschaftlicher Modelle heraus (B8, E9),
- vergleichen verschiedene Vorstellungen von der Materie mit den Konzepten der modernen Physik (B8, K9),
- bewerten die Bedeutung hochenergetischer Strahlung hinsichtlich der Gesundheitsgefährdung sowie ihres Nutzens bei medizinischer Diagnose und Therapie (B5, B6, K1, K10).

Ausgewählte Beiträge zu den Basiskonzepten

Erhaltung und Gleichgewicht:

Die Berücksichtigung des Massendefekts erweitert und verallgemeinert das Prinzip der Energieerhaltung in abgeschlossenen physikalischen Systemen.

Mathematisieren und Vorhersagen:

Quantitative Atommodelle ermöglichen die Berechnung von Energieniveaus des Atoms.

Zufall und Determiniertheit:

Der Zerfall eines einzelnen Atomkerns und die Beschreibung des zeitlichen Ablaufs des Zerfalls einer großen Menge radioaktiver Atomkerne anhand des Zerfallsgesetzes sind ein Beispiel für den Zusammenhang von Zufall und Determiniertheit physikalischer Vorgänge.

2.3.2 Leistungskurs

Die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler sollen im Rahmen der Behandlung der nachfolgenden, für die Qualifikationsphase **obligatorischen Inhaltsfelder** entwickelt werden:

- Ladungen, Felder und Induktion
- Schwingende Systeme und Wellen
- Quantenphysik
- Atom- und Kernphysik

Bezieht man übergeordnete Kompetenzerwartungen (Kap. 2.3) sowie die unten aufgeführten **inhaltlichen Schwerpunkte** aufeinander, so ergeben sich die nachfolgenden **konkretisierten Kompetenzerwartungen**:

Inhaltsfeld Ladungen, Felder und Induktion

Inhaltliche Schwerpunkte:

- Elektrische Ladungen und Felder: Ladungen, elektrische Felder, elektrische Feldstärke; Coulomb'sches Gesetz, elektrisches Potential, elektrische Spannung, Kondensator und Kapazität; magnetische Felder, magnetische Flussdichte
- Bewegungen in Feldern: geladene Teilchen in elektrischen Längs- und Quersfeldern; Lorentzkraft; geladene Teilchen in gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldern
- Elektromagnetische Induktion: magnetischer Fluss, Induktionsgesetz, Lenz'sche Regel; Selbstinduktion, Induktivität

Sachkompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- erklären grundlegende elektrostatische Phänomene mithilfe der Eigenschaften elektrischer Ladungen (S1),
- stellen elektrische Feldlinienbilder von homogenen, Radial- und Dipolfeldern sowie magnetische Feldlinienbilder von homogenen und Dipolfeldern dar (S1, K6),
- beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte (S2, S3, E6),
- erläutern den Zusammenhang von elektrischer Feldstärke, elektrischer Spannung und Energie quantitativ im Plattenkondensator und qualitativ im Radialfeld unter Verwendung der Begriffe Potential und Potentialdifferenz (S1, S3, K4),
- erläutern anhand einer einfachen Version des Millikan-Versuchs die grundlegenden Ideen und Ergebnisse zur Bestimmung der Elementarladung (S3, S5, E7, K9),
- erläutern die Bestimmung der Elektronenmasse am Beispiel des Fadenstrahlrohrs mithilfe der Lorentzkraft sowie die Erzeugung und Beschleunigung freier Elektronen (S4, S5, S6, E6, K5),
- beschreiben qualitativ und quantitativ die Zusammenhänge von Ladung, Spannung und Stromstärke unter Berücksichtigung der Parameter Kapazität und Widerstand bei Lade- und Entladevorgängen am Kondensator auch mithilfe von Differentialgleichungen und deren vorgegebenen Lösungsansätzen (S3, S6, S7, E4, K7),

- nutzen das Induktionsgesetz auch in differenzieller Form unter Verwendung des magnetischen Flusses (S2, S3, S7),
- erklären Verzögerungen bei Einschaltvorgängen sowie das Auftreten von Spannungstößen bei Ausschaltvorgängen mit der Kenngröße Induktivität einer Spule anhand der Selbstinduktion (S1, S7, E6),
- geben die in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern gespeicherte Energie in Abhängigkeit der elektrischen Größen und der Kenngrößen der Bauelemente an (S1, S3, E2).

Erkenntnisgewinnungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- bestimmen mithilfe des Coulomb'schen Gesetzes Kräfte von punktförmigen Ladungen aufeinander sowie resultierende Beträge und Richtungen von Feldstärken (E8, E10, S1, S3),
- entwickeln mithilfe des Superpositionsprinzips elektrische und magnetische Feldlinienbilder (E4, E6, K5),
- modellieren mathematisch Bahnformen geladener Teilchen in homogenen elektrischen und magnetischen Längs- und Querfeldern sowie in orthogonal gekreuzten Feldern (E1, E2, E4, S7),
- erläutern die Untersuchung magnetischer Flussdichten mithilfe des Hall-Effekts (E4, E7, S1, S5),
- stellen Hypothesen zum Einfluss der relativistischen Massenzunahme auf die Bewegung geladener Teilchen im Zyklotron auf (E2, E4, S1, K4),
- konzipieren Experimente zur Bestimmung der Abhängigkeit der magnetischen Flussdichte einer langgestreckten stromdurchflossenen Spule von ihren Einflussgrößen (E2, E5),
- prüfen Hypothesen zur Veränderung der Kapazität eines Kondensators durch ein Dielektrikum (E2, E3, S1),
- ermitteln anhand von Messkurven zu Auf- und Entladevorgängen bei Kondensatoren sowie zu Ein- und Ausschaltvorgängen bei Spulen zugehörige Kenngrößen (E4, E6, S6),
- führen die Funktionsweise eines Generators auf das Induktionsgesetz zurück (E10, K4),
- begründen qualitative Versuche zur Lenz'schen Regel sowohl mit dem Wechselwirkungs- als auch mit dem Energiekonzept (E2, E9, K3).

Bewertungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- bewerten Teilchenbeschleuniger in Großforschungseinrichtungen im Hinblick auf ihre Realisierbarkeit und ihren gesellschaftlichen Nutzen hin (B3, B4, K1, K7),
- identifizieren und beurteilen Anwendungsbeispiele für die elektromagnetische Induktion im Alltag (B6, K8).

Ausgewählte Beiträge zu den Basiskonzepten

Erhaltung und Gleichgewicht:

Die Kompensation elektrischer und magnetischer Wirkungen auf bewegte geladene Teilchen bei speziell abgestimmten gekreuzten Feldern ist ein Beispiel für ein Kräftegleichgewicht.

Superposition und Komponenten:

Die Überlagerung zweier elektrischer Radialfelder zu einem Dipolfeld ist ein Beispiel für die Superposition von Feldern.

Mathematisieren und Vorhersagen:

Auf- und Entladevorgänge bei Kondensatoren werden mathematisch exakt beschrieben.

Inhaltsfeld Schwingende Systeme und Wellen

Inhaltliche Schwerpunkte:

- Schwingungen und Wellen: harmonische Schwingungen und ihre Kenngrößen; Huygens'sches Prinzip, Reflexion, Brechung, Beugung; Polarisierung und Superposition von Wellen; Michelson-Interferometer
- Schwingende Systeme: Federpendel, Fadenpendel, Resonanz; Schwingkreis, Hertz'scher Dipol

Sachkompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen sowie deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit und deren

Zusammenhänge (S1, S3, K4),

- vergleichen mechanische und elektromagnetische Schwingungen unter energetischen Aspekten und hinsichtlich der jeweiligen Kenngrößen (S1, S3),
- erläutern qualitativ die physikalischen Prozesse bei ungedämpften, gedämpften und erzwungenen mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen (S1, E1),
- leiten für das Federpendel und unter Berücksichtigung der Kleinwinkelnäherung für das Fadenpendel aus dem linearen Kraftgesetz die zugehörigen Differentialgleichungen her (S3, S7, E2),
- ermitteln mithilfe der Differentialgleichungen und der Lösungsansätze für das ungedämpfte Fadenpendel, die ungedämpfte Federschwingung und den ungedämpften Schwingkreis die Periodendauer sowie die Thomson'sche Gleichung (S3, S7, E8),
- erläutern mithilfe der Wellenwanne qualitativ auf der Grundlage des Huygens'schen Prinzips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz (S1, E4, K6),
- beschreiben mathematisch die räumliche und zeitliche Entwicklung einer harmonischen eindimensionalen Welle (S1, S2, S3, S7),
- erklären mithilfe der Superposition stehende Wellen (S1, E6, K3),
- erläutern die lineare Polarisation als Unterscheidungsmerkmal von Longitudinal- und Transversalwellen (S2, E3, K8),
- stellen für Einzel-, Doppelspalt und Gitter die Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz und deren quantitative Bestätigung im Experiment für mono- und polychromatisches Licht dar (S1, S3, S6, E6),
- beschreiben den Hertz'schen Dipol als (offenen) Schwingkreis (S1, S2, K8),
- erläutern qualitativ die Entstehung eines elektrischen bzw. magnetischen Wirbelfelds bei B- bzw. E-Feldänderung und die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle (S1, K4).

Erkenntnisgewinnungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- untersuchen experimentell die Abhängigkeit der Periodendauer und Amplitudenabnahme von Einflussgrößen bei mechanischen und elektromagnetischen harmonischen Schwingungen unter Anwendung digitaler Werkzeuge (E4, S4),
- untersuchen experimentell am Beispiel des Federpendels das Phänomen der Resonanz auch unter Rückbezug auf Alltagssituationen (E5, E6, K1),
- weisen anhand des Interferenzmusters bei Spalt- und Gitterversuchen die Welleneigenschaften des Lichts nach und bestimmen daraus die Wellenlänge des Lichts (E5, E6, E7, S6),

- erläutern Aufbau und Funktionsweise des Michelson-Interferometers (E2, E3, S3, K3).

Bewertungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- beurteilen Maßnahmen zur Vermeidung von Resonanzkatastrophen (B5, B6, K2),
- beurteilen die Bedeutung von Schwingkreisen für die Umsetzung des Sender-Empfänger-Prinzips an alltäglichen Beispielen (B1, B4, K1),
- unterscheiden am Beispiel von Schwingungen deduktives und induktives Vorgehen als Grundmethoden der Erkenntnisgewinnung (B8, K4).

Ausgewählte Beiträge zu den Basiskonzepten

Erhaltung und Gleichgewicht:

Die Energieerhaltung ist die Grundlage für die Erklärung der Prozesse bei mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen. Schwingende Systeme in der Physik oszillieren immer um einen Gleichgewichtszustand.

Superposition und Komponenten:

Interferenzphänomene mit Licht sind ein Beispiel für die Superposition elektromagnetischer Wellen.

Mathematisieren und Vorhersagen:

Mithilfe von Differentialgleichungen und deren Lösungen kann der zeitliche Verlauf von Schwingungen exakt vorhergesagt werden.

Inhaltsfeld Quantenphysik

Inhaltliche Schwerpunkte:

- Teilchenaspekte von Photonen: Energiequantelung von Licht, Photoeffekt, Bremsstrahlung
- Photonen und Elektronen als Quantenobjekte: Doppelspaltexperiment, Bragg-Reflexion, Elektronenbeugung; Wahrscheinlichkeitsinterpretation, Delayed-Choice-Experiment; Kopenhagener Deutung

Sachkompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- erklären den Photoeffekt mit der Einstein'schen Lichtquantenhypothese (S1, S2, E3),
- beschreiben den Aufbau und die Funktionsweise der Röntgenröhre (S1),
- erläutern die Bragg-Reflexion an einem Einkristall und leiten die Bragg'sche Reflexionsbedingung her (S1, S3, E4, K4),
- stellen anhand geeigneter Phänomene dar, dass Licht sowohl Wellen- als auch Teilchencharakter aufweisen kann (S2, S3, E6, K8),
- erklären bei Quantenobjekten anhand eines Delayed-Choice-Experiments unter Verwendung der Koinzidenzmethode das Auftreten oder Verschwinden des Interferenzmusters mit dem Begriff der Komplementarität (S1, S5, E3, K3),
- erklären am Beispiel von Elektronen die De-Broglie-Hypothese (S1, S3),
- berechnen Energie und Impuls über Frequenz und Wellenlänge für Quantenobjekte (S3),
- deuten das Quadrat der Wellenfunktion qualitativ als Maß für die Nachweiswahrscheinlichkeitsdichte von Elektronen (S3),
- erläutern die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation in der Version der Unmöglichkeit-Formulierung (S2, S3, E7, E11, K4).

Erkenntnisgewinnungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- interpretieren die experimentellen Befunde zum Photoeffekt hinsichtlich des Widerspruchs zur klassischen Physik (E3, E8, S2, K3),
- bestimmen aus den experimentellen Daten eines Versuchs zum Photoeffekt das Planck'sche Wirkungsquantum (E6, S6),
- interpretieren das Auftreten der kurzwelligen Grenze des Bremsstrahlungsspektrums (E6, S1),
- erklären experimentelle Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre mit

den Welleneigenschaften von Elektronen (E3, E6),

- modellieren qualitativ das stochastische Verhalten von Quantenobjekten am Doppelspalt bei gleichzeitiger Determiniertheit der Zufallsverteilung mithilfe der Eigenschaften der Wellenfunktion (E4, E6, K4).

Bewertungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- beurteilen die Problematik der Übertragbarkeit von Begriffen aus der Anschauungswelt auf Quantenobjekte (B1, K8),
- stellen die Kontroverse um den Realitätsbegriff der Kopenhagener Deutung dar (B8, K9),
- beschreiben anhand quantenphysikalischer Betrachtungen die Grenzen der exakten Vorhersagbarkeit von physikalischen Phänomenen (B8, K8, E11).

Ausgewählte Beiträge zu den Basiskonzepten

Superposition und Komponenten:

Die konstruktive und destruktive Interferenz beim Doppelspaltexperiment mit Quantenobjekten sind ein Beispiel für Superposition quantenmechanischer Zustände zu einer Auftreffwahrscheinlichkeit.

Mathematisieren und Vorhersagen:

Die mathematische Darstellung der Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdarstellung von Quantenobjekten in Form des Quadrats der Wellenfunktion ist ein Beispiel für die Mathematisierung in der Quantenphysik.

Zufall und Determiniertheit:

Die Determiniertheit von Zufallsverteilungen ist charakteristisch für die Aussagen der Quantenphysik.

Inhaltsfeld Atom- und Kernphysik

Inhaltliche Schwerpunkte:

- Atomaufbau: Atommodelle, eindimensionaler Potentialtopf, Energieniveauschema; Röntgenstrahlung
- Ionisierende Strahlung: Strahlungsarten, Nachweismöglichkeiten ionisierender Strahlung, Eigenschaften ionisierender Strahlung, Absorption ionisierender Strahlung
- Radioaktiver Zerfall: Kernaufbau, Zerfallsreihen, Zerfallsgesetz, Halbwertszeit; Altersbestimmung
- Kernspaltung und -fusion: Bindungsenergien, Massendefekt; Kettenreaktion

Sachkompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- geben wesentliche Beiträge in der historischen Entwicklung der Atommodelle bis zum ersten Kern-Hülle-Modell (Dalton, Thomson, Rutherford) wieder (S2, K3),
- erklären die Energie absorbierter und emittierter Photonen mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (S3, E6, K4),
- beschreiben die Energiewerte für das Wasserstoffatom und wasserstoffähnliche Atome mithilfe eines quantenphysikalischen Atommodells (S2),
- erläutern das Modell des eindimensionalen Potentialtopfs und seine Grenzen (S2, K4),
- beschreiben anhand des Modells des eindimensionalen Potentialtopfs die Verallgemeinerung eines quantenmechanischen Atommodells hin zu einem Ausblick auf Mehrelektronensysteme unter Verwendung des Pauli-Prinzips (S2, S3, E10),
- interpretieren die Orbitale des Wasserstoffatoms als Veranschaulichung der Nachweiswahrscheinlichkeiten für das Elektron (S2, K8),
- erläutern qualitativ den Aufbau eines Atomkerns aus Nukleonen, den Aufbau der Nukleonen aus Quarks sowie die Rolle der starken Wechselwirkung für die Stabilität des Kerns (S1, S2, K3),
- ordnen verschiedene Frequenzbereiche dem elektromagnetischen Spektrum zu (S1, K6),
- unterscheiden α -, β -, γ - Strahlung, Röntgenstrahlung und Schwerionenstrahlung als Arten ionisierender Strahlung (S1),
- beschreiben natürliche Zerfallsreihen sowie künstlich herbeigeführte Kernum-

wandlungsprozesse (Kernspaltung und -fusion, Neutroneneinfang) auch mithilfe der Nuklidkarte (S1),

- erklären die Ablenkbarkeit in elektrischen und magnetischen Feldern sowie Durchdringungs- und Ionisierungsfähigkeit von ionisierender Strahlung mit ihren Eigenschaften (S1, S3),
- leiten auf der Basis der Definition der Aktivität das Gesetz für den radioaktiven Zerfall einschließlich eines Terms für die Halbwertszeit her (S7, E9),
- erläutern den Aufbau und die Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs als Nachweisgerät ionisierender Strahlung (S4, S5, K8),
- erklären die Entstehung von Bremsstrahlung und charakteristischer Röntgenstrahlung (S3, E6, K4),
- beschreiben Kernspaltung und Kernfusion mithilfe der starken Wechselwirkung zwischen den Nukleonen auch unter quantitativer Berücksichtigung von Bindungsenergien (S1, S2),
- erläutern den Ablauf einer Kettenreaktion als zentrales Merkmal bei der Energiefreisetzung durch Kernspaltung (S1),
- erläutern qualitativ an der β -Umwandlung die Entstehung der Neutrinos mithilfe der schwachen Wechselwirkung und ihrer Austauschteilchen (S1, S2, K4).

Erkenntnisgewinnungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- interpretieren Linienspektren bei Emission und Absorption sowie die Ergebnisse des Franck-Hertz-Versuchs mithilfe des Energieniveauschemas (E2, E10, S6),
- wählen für die Planung von Experimenten mit ionisierender Strahlung zwischen dem Geiger-Müller-Zählrohr und einem energiesensiblen Detektor gezielt aus (E3, E5, S5, S6),
- konzipieren Experimente zur Bestimmung der Halbwertszeit kurzlebiger radioaktiver Substanzen (E2, E5, S5),
- bestimmen mithilfe des Zerfallsgesetzes das Alter von Materialien mit der C-14-Methode (E4, E7, S7, K1),
- quantifizieren mit der Größe der effektiven Dosis die Wirkung ionisierender Strahlung und bewerten daraus abgeleitete Strahlenschutzmaßnahmen (E8, S3, B2).

Bewertungskompetenz

Die Schülerinnen und Schüler

- stellen an der historischen Entwicklung der Atommodelle die spezifischen Eigenschaften und Grenzen naturwissenschaftlicher Modelle heraus (B8, E9),

- wägen die Chancen und Risiken bildgebender Verfahren in der Medizin unter Verwendung ionisierender Strahlung gegeneinander ab (B1, B4, K3),
- bewerten Nutzen und Risiken von Kernspaltung und Kernfusion hinsichtlich der globalen Energieversorgung (B5, B7, K3, K10),
- diskutieren ausgewählte Aspekte der Endlagerung radioaktiver Abfälle unter Berücksichtigung verschiedener Quellen (B2, B4, K2, K10).

Ausgewählte Beiträge zu den Basiskonzepten

Erhaltung und Gleichgewicht:

Die Berücksichtigung des Massendefekts erweitert und verallgemeinert das Prinzip der Energieerhaltung in physikalischen Systemen.

Mathematisieren und Vorhersagen:

Quantitative Atommodelle ermöglichen die Berechnung von Energieniveaus des Atoms.

Zufall und Determiniertheit:

Der Zerfall eines einzelnen Atomkerns und die Beschreibung des zeitlichen Ablaufs des Zerfalls einer großen Menge radioaktiver Atomkerne anhand des Zerfallsgesetzes sind ein Beispiel für den Zusammenhang von Zufall und Determiniertheit physikalischer Vorgänge.