

Sek II – Qualifikationsphase

Die im Folgenden bei den konkretisierten Kompetenzerwartungen in Klammern aufgeführten Abkürzungen beziehen sich auf die übergeordneten Kompetenzerwartungen, für deren konkreten Inhalt auf den Kernlehrplan verwiesen wird. Ist an einer Stelle dieses Lehrplans eine Kompetenzerwartung durchgestrichen, so wird sie an anderer Stelle eingeführt.

Inhaltsfeld 1: Ladungen und Felder				
Std.	Inhaltliche Schwerpunkte	Schwerpunkte der Kompetenzentwicklung (GK) Die SuS ...	Schwerpunkte der Kompetenzentwicklung (LK) Die SuS ...	Weitere Empfehlungen
x Std.	<p>Eigenschaften von E- und B-Feldern</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elektrostatik (LK) • E- und B-Felder: Begriff der Feldstärke • Spannung (GK) bzw. Spannung und Potential (LK) in E-Feldern • Coulomb-Gesetz (LK) • Kondensator: Kapazität und gespeicherte elektrische Energie • Millikan-Versuch und Elementarladung 	<p>Konkretisierte Kompetenzerwartungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • (S1, K6) stellen elektrische Feldlinienbilder von homogenen, Radial- und Dipolfeldern sowie magnetische Feldlinienbilder von homogenen und Dipolfeldern dar, • (E4, E6) entwickeln mithilfe des Superpositionsprinzips elektrische und magnetische Feldlinienbilder, • (S2, S3, E6) beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte, • (E3, K6) wenden eine Messmethode zur Bestimmung der magnetischen Flussdichte an, • (S3) erläutern am Beispiel des Plattenkondensators den Zusammenhang zwischen elektrischer Spannung und elektrischer Feldstärke im homogenen elektrischen Feld, • (S1, S3) beschreiben die Kapazität als Kenngröße eines Kondensators und bestimmen diese für den Spezialfall des Plattenkondensators in Abhängigkeit seiner geometrischen Daten und der Dielektrizitätszahl, 	<p>Konkretisierte Kompetenzerwartungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • (S1) erklären grundlegende elektrostatische Phänomene mithilfe der Eigenschaften elektrischer Ladungen, • (S1, K6) stellen elektrische Feldlinienbilder von homogenen, Radial- und Dipolfeldern sowie magnetische Feldlinienbilder von homogenen und Dipolfeldern dar, • (E4, E6, K5) entwickeln mithilfe des Superpositionsprinzips elektrische und magnetische Feldlinienbilder, • (E8, E10, S1, S3) bestimmen mithilfe des Coulomb'schen Gesetzes Kräfte von punktförmigen Ladungen aufeinander sowie resultierende Beträge und Richtungen von Feldstärken, • (S2, S3, E6) beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte, • (S1, S3, K4) erläutern den Zusammenhang von elektrischer Feldstärke, elektrischer Spannung und Energie quantitativ im Plattenkondensator und qualitativ im Radialfeld unter Verwendung der Begriffe Potential und Potentialdifferenz, 	<p>(E-/B-/g-)Feldstärke := Kraft pro „vom Feld beeinflusste Größe“ (Versuche: Plattenkondensator bzw. Stromwaage)</p>

<p>x Std.</p>	<p>Bewegung von geladenen Teilchen in E- und B-Feldern</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bahnformen in E-Feldern und in B-Feldern • Bahnformen in gekreuzten E- und B-Feldern (LK) • Kraft auf Ladungsträger in E-Feldern, Lorentzkraft auf bewegte Ladungsträger in B-Feldern • Fadenstrahlrohr und Elektronenmasse • Hall-Effekt (LK) • Zyklotron, relativistische Massenzunahme 	<ul style="list-style-type: none"> • (E6, K8) interpretieren den Flächeninhalt zwischen Graph und Abszissenachse im Q-U-Diagramm als Energiegehalt des Plattenkondensators, • (B3, B4, K9) beurteilen den Einsatz des Kondensators als Energiespeicher in ausgewählten alltäglichen Situationen, • (E3, E11, K8) schließen aus der statistischen Auswertung einer vereinfachten Version des Millikan-Versuchs auf die Existenz einer kleinsten Ladung, <ul style="list-style-type: none"> • (E2, K4) erläutern Experimente zur Variation elektrischer Einflussgrößen und deren Auswirkungen auf die Bahnformen von Ladungsträgern in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern, • (B4, K3) beurteilen die Schutzwirkung des Erdmagnetfeldes gegen den Strom geladener Teilchen aus dem Weltall, • (S1, S3, K3) berechnen Geschwindigkeitsänderungen von Ladungsträgern nach Durchlaufen einer elektrischen Spannung, • (S4, S6, E6, K5) erläutern am Fadenstrahlrohr die Erzeugung freier Elektronen durch den glühelektrischen Effekt, deren Beschleunigung beim Durchlaufen eines elektrischen Felds sowie deren Ablenkung im homogenen magnetischen Feld durch die Lorentzkraft, • (E4, E9, K7) modellieren mathematisch die Beobachtungen am Fadenstrahlrohr und ermitteln aus den Messergebnissen die Elektronenmasse, • (E1, E10, S1, K1) erschließen sich die Funktionsweise des Zyklotrons auch mithilfe von Simulationen. 	<ul style="list-style-type: none"> • (E2, E3, S1) prüfen Hypothesen zur Veränderung der Kapazität eines Kondensators durch ein Dielektrikum, • (S1, S3, E2) geben die in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern gespeicherte Energie in Abhängigkeit der elektrischen Größen und der Kenngrößen der Bauelemente an, • (S3, S5, E7, K9) erläutern anhand einer einfachen Version des Millikan-Versuchs die grundlegenden Ideen und Ergebnisse zur Bestimmung der Elementarladung, <ul style="list-style-type: none"> • (E1, E2, E4, S7) modellieren mathematisch Bahnformen geladener Teilchen in homogenen elektrischen und magnetischen Längs- und Quersfeldern sowie in orthogonal gekreuzten Feldern, • (S4, S5, S6, E6, K5) erläutern die Bestimmung der Elektronenmasse am Beispiel des Fadenstrahlrohrs mithilfe der Lorentzkraft sowie die Erzeugung und Beschleunigung freier Elektronen, • (E4, E7, S1, S5) erläutern die Untersuchung magnetischer Flussdichten mithilfe des Hall-Effekts, • (E2, E4, S1, K4) stellen Hypothesen zum Einfluss der relativistischen Massenzunahme auf die Bewegung geladener Teilchen im Zyklotron auf. 	<p>Millikan-Versuch (Computersimulation)</p> <p>Versuche zur Bewegung von Ladungen in Feldern:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fadenstrahlrohr - Wien-Filter (LK) - Hall-Effekt (LK)
---------------	--	--	---	---

		Beitrag zu den Basiskonzepten <ul style="list-style-type: none"> • 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. 	Beitrag zu den Basiskonzepten <ul style="list-style-type: none"> • 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. 	
Inhaltsfeld 2: Elektromagnetismus				
Std.	Inhaltliche Schwerpunkte	Schwerpunkte der Kompetenzentwicklung (GK) Die SuS ...	Schwerpunkte der Kompetenzentwicklung (LK) Die SuS ...	Weitere Empfehlungen
x Std.	Elektrodynamik <ul style="list-style-type: none"> • Auf- und Entladevorgang bei Kondensatoren • Induktionsgesetz • Lenzsche Regel • Selbstinduktion, Induktivität (LK) • in B-Feldern gespeicherte Energie (LK) 	Konkretisierte Kompetenzerwartungen <ul style="list-style-type: none"> • (S4, S6, K6) untersuchen den Auf- und Entladevorgang bei Kondensatoren unter Anleitung experimentell, • (E4, E6, S7) modellieren mathematisch den zeitlichen Verlauf der Stromstärke bei Auf- und Entladevorgängen bei Kondensatoren unter Berücksichtigung des Widerstandes und der Kapazität, • (S3, S4, K4) erläutern das Auftreten von Induktionsspannungen am Beispiel der Leiterschaukel durch die Wirkung der Lorentzkraft auf bewegte Ladungsträger, • (S1, S2, K4) führen Induktionserscheinungen bei einer Leiterschleife auf die zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte oder die zeitliche Änderung der durchsetzten Fläche zurück, • (E4, E6, K7) modellieren mathematisch das Entstehen von Induktionsspannungen für die beiden Spezialfälle einer zeitlich konstanten Fläche und einer zeitlich konstanten 	Konkretisierte Kompetenzerwartungen <ul style="list-style-type: none"> • (S3, S6, S7, E4, K7) 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, • (E4, E6, S6) ermitteln anhand von Messkurven zu Auf- und Entladevorgängen bei Kondensatoren sowie zu Ein- und Ausschaltvorgängen bei Spulen zugehörige Kenngrößen, • (E2, E5) konzipieren Experimente zur Bestimmung der Abhängigkeit der magnetischen Flussdichte einer langgestreckten stromdurchflossenen Spule von ihren Einflussgrößen, • (S2, S3, S7) nutzen das Induktionsgesetz auch in differentieller Form unter Verwendung des magnetischen Flusses, 	Versuche zur Induktion: - Stationenlernen zum Einstieg - Schlittenversuch zur Bestätigung der Beziehung $U = B \cdot l \cdot v$ - Rotation einer Spule im homogenen B-Feld - ruhende Induktionsspulen in Feldspule

<p>x Std.</p>	<p>Elektrische Energie und ihr Transport</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erzeugung sinusförmiger Wechselspannungen • Transformator (GK) • Fernleitung elektrischer Energie (GK) 	<p>magnetischen Flussdichte,</p> <ul style="list-style-type: none"> • (S7) beschreiben das Induktionsgesetz mit der mittleren Änderungsrate und in differentieller Form des magnetischen Flusses, • (E2, E9, S3, K4, K8) 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, • (B7, K2) beurteilen das Potential der Energierückgewinnung auf der Basis von Induktionsphänomenen bei elektrischen Antriebssystemen, <p>(E6, E10, K3, K4) erklären das Entstehen von sinusförmigen Wechselspannungen in Generatoren mithilfe des Induktionsgesetzes,</p> <ul style="list-style-type: none"> • (S1, S4, E6, K8) untersuchen die gezielte Veränderung elektrischer Spannungen und Stromstärken durch Transformatoren mithilfe angeleiteter Experimente als Beispiel für die technische Anwendung der Induktion, • (S1, S3, K8) erklären am physikalischen Modellexperiment zu Freileitungen technologische Prinzipien der Bereitstellung und Weiterleitung von elektrischer Energie, • (B3, B6, K8, K10) beurteilen ausgewählte Beispiele zur Energiebereitstellung und -umwandlung unter technischen und ökologischen Aspekten. <p>Beitrag zu den Basiskonzepten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Superposition und Komponenten: Die Komponentenzersetzung erklärt Induktionsphänomene bei einer rotierenden 	<ul style="list-style-type: none"> • (E2, E9, K3) begründen qualitative Versuche zur Lenz'schen Regel sowohl mit dem Wechselwirkungs- als auch mit dem Energiekonzept, • (B6, K8) identifizieren und beurteilen Anwendungsbeispiele für die elektromagnetische Induktion im Alltag, (S1, S7, E6) erklären Verzögerungen bei Einschaltvorgängen sowie das Auftreten von Spannungsstößen bei Ausschaltvorgängen mit der Kenngröße Induktivität einer Spule anhand der Selbstinduktion, • (S1, S3, E2) geben die in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern gespeicherte Energie in Abhängigkeit der elektrischen Größen und der Kenngrößen der Bauelemente an, <p>(E10, K4) führen die Funktionsweise eines Generators auf das Induktionsgesetz zurück.</p> <p>Beitrag zu den Basiskonzepten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mathematisieren und Vorhersagen: Auf- und Entladevorgänge bei Kondensatoren werden mathematisch exakt beschrieben. 	<p>Versuche zur Lenzschen Regel: Stationenlernen (insb. Thomsonscher Ringversuch, Waltenhofen-Pendel)</p>
---------------	--	--	--	---

		<p>Leiterschleife in einem Magnetfeld.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mathematisieren und Vorhersagen: Das Induktionsgesetz ermöglicht quantitative Vorhersagen von Spannungssignalen. 		
Inhaltsfeld 3: Schwingende Systeme und Wellen				
Std.	Inhaltliche Schwerpunkte	Schwerpunkte der Kompetenzentwicklung (GK) Die SuS ...	Schwerpunkte der Kompetenzentwicklung (LK) Die SuS ...	Weitere Empfehlungen
x Std.	<p>Harmonische Schwingungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grundbegriffe zur Beschreibung von harmonischen Schwingungen • ungedämpfte und gedämpfte Schwingungen (LK) • erzwungene Schwingungen, Resonanz (LK) • Federpendel • Fadenpendel (LK) • elektromagnetischer Schwingkreis 	<p>Konkretisierte Kompetenzerwartungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • (S1, S3) erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen, deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie deren Zusammenhänge, • (E4, E6, S3) ordnen dem zeitlichen Verlauf von Elongation, Geschwindigkeit und Beschleunigung deren Funktionsgleichungen zu und wenden diese an, • (E6, S4, K6) konzipieren Experimente zur Abhängigkeit der Periodendauer von Einflussgrößen beim Federpendel und werten diese unter Anwendung digitaler Werkzeuge aus, • (S1, S2, K4) erläutern am Beispiel des Federpendels Energieumwandlungen harmonischer Schwingungen, • (S1, S4, E4) erläutern qualitativ die bei einer elektromagnetischen Schwingung in der Spule und am Kondensator ablaufenden physikalischen Prozesse, • (E6, E7, K9) interpretieren die mit einem Oszilloskop bzw. Messwerterfassungssystem aufgenommenen Daten bei elektromagnetischen Induktions- und Schwingungsversuchen unter Rückbezug auf die experimentellen Parameter, 	<p>Konkretisierte Kompetenzerwartungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • (S1, S3) erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen sowie deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit und deren Zusammenhänge, • (E4, S4) untersuchen experimentell die Abhängigkeit der Periodendauer und Amplitudenabnahme von Einflussgrößen bei mechanischen und elektromagnetischen harmonischen Schwingungen unter Anwendung digitaler Werkzeuge, • (E5, E6, K1) untersuchen experimentell am Beispiel des Federpendels das Phänomen der Resonanz auch unter Rückbezug auf Alltagssituationen, • (B5, B6, K2) beurteilen Maßnahmen zur Vermeidung von Resonanzkatastrophen, • (S3, S7, E2) leiten für das Federpendel und unter Berücksichtigung der Kleinwinkelnäherung für das Fadenpendel aus dem linearen Kraftgesetz die zugehörigen Differentialgleichungen her, • (S1, E1) erläutern qualitativ die physikalischen Prozesse bei ungedämpften, gedämpften und erzwungenen mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen, • (S1, S3) vergleichen mechanische und 	<p>Versuche zur Rückkopplung und Resonanz (u.a. Meißnerschaltung) (LK)</p> <p>Aufzeigen von Analogien zwischen (harmonischen) mechanischen und el.-magn. Schwingungen auch im GK</p>

<p>x Std.</p>	<p>Wellen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grundbegriffe zur Beschreibung von Wellen • Überlagerung und Interferenz stehende Wellen • Huygens-Prinzip • Polarisierung • Beugung am Doppelspalt und Gitter • Beugung am Einzelspalt (LK) • Hertz-Dipol und Abstrahlung elektromagnetischer Wellen (LK) • Michelson-Interferometer (LK) 	<ul style="list-style-type: none"> • (S1, S3) erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen, deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie deren Zusammenhänge, • (S1, E6, K3) erklären mithilfe der Superposition stehende Wellen, • (B7, K1, K5) beurteilen Maßnahmen zur Störgeräuschreduzierung hinsichtlich deren Eignung, • (S1, E4, K6) erläutern mithilfe der Wellenwanne qualitativ auf der Grundlage des Huygens'schen Prinzips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz, • (S2, E3, K8) erläutern die lineare Polarisierung als Unterscheidungsmerkmal von Longitudinal- und Transversalwellen, • (E7, E8, K4) weisen anhand des Interferenzmusters bei Doppelspalt- und Gitterversuchen mit mono- und polychromatischem Licht die Wellennatur des Lichts nach und bestimmen daraus 	<p>elektromagnetische Schwingungen unter energetischen Aspekten und hinsichtlich der jeweiligen Kenngrößen,</p> <ul style="list-style-type: none"> • (S3, S7, E8) 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, • (B8, K4) unterscheiden am Beispiel von Schwingungen deduktives und induktives Vorgehen als Grundmethoden der Erkenntnisgewinnung, <ul style="list-style-type: none"> • (S1, S3) erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen sowie deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit und deren Zusammenhänge, • (S1, E6, K3) erklären mithilfe der Superposition stehende Wellen, • (S1, S2, S3, S7) beschreiben mathematisch die räumliche und zeitliche Entwicklung einer harmonischen eindimensionalen Welle, • (S1, E4, K6) erläutern mithilfe der Wellenwanne qualitativ auf der Grundlage des Huygens'schen Prinzips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz, • (S2, E3, K8) erläutern die lineare Polarisierung als Unterscheidungsmerkmal von Longitudinal- und Transversalwellen, • (S1, S3, S6, E6) 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, 	<p>Online-Lehrgang „Überlagerung von Wellen“</p> <p>Kundtsche Röhre (LK)</p> <p>Versuche zu mechanischen Wellen: - SuS-Versuche mit Ultraschall - Wasserwellenwanne</p> <p>Versuche zu el.-magn. Wellen: - Dezimeterwellen (LK) - Zentimeterwellen - Licht</p>
---------------	---	--	---	---

		<p>Wellenlängen.</p> <p>Beitrag zu den Basiskonzepten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erhaltung und Gleichgewicht: Mithilfe der Energieerhaltung können periodische Zustandsänderungen bei mechanischen Schwingungen erläutert werden. Die Energieerhaltung ist die Grundlage für die qualitative Erklärung der Prozesse bei ungedämpften elektromagnetischen Schwingungen. • Superposition und Komponenten: Das Superpositionsprinzip kann die Überlagerung mechanischer Wellen beschreiben. 	<ul style="list-style-type: none"> • (E5, E6, E7, S6) weisen anhand des Interferenzmusters bei Spalt- und Gitterversuchen die Welleneigenschaften des Lichts nach und bestimmen daraus die Wellenlänge des Lichts, • (S1, S2, K8) beschreiben den Hertz'schen Dipol als (offenen) Schwingkreis, • (B1, B4, K1) beurteilen die Bedeutung von Schwingkreisen für die Umsetzung des Sender-Empfänger-Prinzips an alltäglichen Beispielen, • (S1, K4) erläutern qualitativ die Entstehung eines elektrischen bzw. magnetischen Wirbelfelds bei B- bzw. E-Feldänderung und die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle, • (E2, E3, S3, K3) erläutern Aufbau und Funktionsweise des Michelson-Interferometers. <p>Beitrag zu den Basiskonzepten</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. 	
<p>Inhaltsfeld 4: Quantenphysik</p>				

Std.	Inhaltliche Schwerpunkte	Schwerpunkte der Kompetenzentwicklung (GK) Die SuS ...	Schwerpunkte der Kompetenzentwicklung (LK) Die SuS ...	Weitere Empfehlungen
x Std.	<ul style="list-style-type: none"> • Photoeffekt und Lichtquantenmodell • de-Broglie-Wellenlänge • Elektronenbeugungsröhre (LK) • Doppelspaltexperimente mit Quantenobjekten • Psi-Funktion und Wahrscheinlichkeitsinterpretation • Delayed-Choice-Experimente (LK) • Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation (LK) 	<p>Konkretisierte Kompetenzerwartungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • (S1, E9, K3) erläutern anhand eines Experiments zum Photoeffekt den Quantencharakter von Licht, • (S1, S2, E8, K4) stellen die Lichtquanten- und De-Broglie-Hypothese sowie deren Unterschied zur klassischen Betrachtungsweise dar, • (S3) berechnen Energie und Impuls über Frequenz und Wellenlänge für Quantenobjekte, • (E6, S6) leiten anhand eines Experiments zum Photoeffekt den Zusammenhang von Energie, Wellenlänge und Frequenz von Photonen ab, • (E4, E8, K6, K7) untersuchen mithilfe von Simulationen das Verhalten von Quantenobjekten am Doppelspalt, • (S1, S5, E6, K9) wenden die De-Broglie-Beziehung an, um das Beugungsbild beim Doppelspaltversuch mit Elektronen quantitativ zu erklären, • (S3, E6, K3) erläutern die Determiniertheit der Zufallsverteilung der diskreten Energieabgabe beim Doppelspaltexperiment mit stark intensitätsreduziertem Licht, • (S1, K3) erklären an einer exemplarischen Darstellung die Wahrscheinlichkeitsinterpretation für Quantenobjekte, • (S2, K4) erläutern bei Quantenobjekten die „Welcher-Weg“-Information als Bedingung für das Auftreten oder Ausbleiben eines Interferenzmusters in einem Interferenzexperiment, • (E9, E11, K8) beurteilen an Beispielen die Grenzen und Gültigkeitsbereiche von Wellen- 	<p>Konkretisierte Kompetenzerwartungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • (S1, S2, E3) erklären den Photoeffekt mit der Einstein'schen Lichtquantenhypothese, • (E3, E8, S2, K3) interpretieren die experimentellen Befunde zum Photoeffekt hinsichtlich des Widerspruchs zur klassischen Physik, • (S2, S3, E6, K8) stellen anhand geeigneter Phänomene dar, dass Licht sowohl Wellen- als auch Teilchencharakter aufweisen kann, • (E6, S6) bestimmen aus den experimentellen Daten eines Versuchs zum Photoeffekt das Planck'sche Wirkungsquantum, • (S3) berechnen Energie und Impuls über Frequenz und Wellenlänge für Quantenobjekte, • (S1, S3) erklären am Beispiel von Elektronen die De-Broglie-Hypothese, • (E3, E6) erklären experimentelle Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre mit den Welleneigenschaften von Elektronen, • (S3) deuten das Quadrat der Wellenfunktion qualitativ als Maß für die Nachweiswahrscheinlichkeitsdichte von Elektronen, • (E4, E6, K4) modellieren qualitativ das stochastische Verhalten von Quantenobjekten am Doppelspalt bei gleichzeitiger Determiniertheit der Zufallsverteilung mithilfe der Eigenschaften der Wellenfunktion, • (S1, S5, E3, K3) erklären bei Quantenobjekten anhand eines Delayed-Choice-Experiments unter Verwendung der Koinzidenzmethode das Auftreten oder Verschwinden des Interferenzmusters mit 	<p>Versuche zum Photoeffekt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hallwachs-Versuch - h-Bestimmung mit Gegenfeldmethode - h-Bestimmung mit Leuchtdioden (optional) <p>Elektronenbeugung an polykristallinem Graphit auch im GK zeigen</p> <p>Online-Lehrgang zur Quantenmechanik anhand der Doppelspaltexperimente</p>

		<p>und Teilchenmodellen für Licht und Elektronen,</p> <ul style="list-style-type: none"> • (B1, K8) erläutern die Problematik der Übertragbarkeit von Begriffen aus der Anschauungswelt auf Quantenobjekte, • (B8, K9) stellen die Kontroverse um den Realitätsbegriff der Kopenhagener Deutung dar, • (B8, E11, K8) beschreiben anhand quantenphysikalischer Betrachtungen die Grenzen der physikalischen Erkenntnisfähigkeit. <p>Beitrag zu den Basiskonzepten</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 	<p>dem Begriff der Komplementarität,</p> <ul style="list-style-type: none"> • (S2, S3, E7, E11, K4) erläutern die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation in der Version der Unmöglichkeit-Formulierung, • (B1, K8) beurteilen die Problematik der Übertragbarkeit von Begriffen aus der Anschauungswelt auf Quantenobjekte, • (B8, K9) stellen die Kontroverse um den Realitätsbegriff der Kopenhagener Deutung dar, • (B8, K8, E11) beschreiben anhand quantenphysikalischer Betrachtungen die Grenzen der exakten Vorhersagbarkeit von physikalischen Phänomenen. <p>Beitrag zu den Basiskonzepten</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. 	
--	--	---	--	--

		charakteristisch für die Aussagen der Quantenphysik.		
Inhaltsfeld 5: Atom- und Kernphysik				
Std.	Inhaltliche Schwerpunkte	Schwerpunkte der Kompetenzentwicklung (GK) Die SuS ...	Schwerpunkte der Kompetenzentwicklung (LK) Die SuS ...	Weitere Empfehlungen
x Std.	Atommodelle <ul style="list-style-type: none"> • Geschichtliche Entwicklung der Atommodelle • Übergänge der Elektronen zwischen den Energieniveaus im Atom bei Emission bzw. Absorption von Photonen • Orbitalmodell • eindimensionaler Potentialtopf (LK) • Emissions- und Absorptionsspektren • Fraunhoferlinien in Sternspektren (GK) • Franck-Hertz-Versuch • Bragg-Reflexion (LK) und Röntgenspektren • EM-Spektrum 	Konkretisierte Kompetenzerwartungen <ul style="list-style-type: none"> • (B8, E9) stellen an der historischen Entwicklung der Atommodelle die spezifischen Eigenschaften und Grenzen naturwissenschaftlicher Modelle heraus, • (B8, K9) vergleichen verschiedene Vorstellungen von der Materie mit den Konzepten der modernen Physik, • (E6, E10) interpretieren die Bedeutung von Flammenfärbung und Linienspektren bzw. Spektralanalyse für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle, • (S1, S3, E6, K4) erklären die Energie emittierter und absorbierter Photonen am Beispiel von Linienspektren leuchtender Gase und Fraunhofer'scher Linien mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle, • (E3, E6, K1) identifizieren vorhandene Stoffe in der Sonnen- und Erdatmosphäre anhand von Spektraltafeln des Sonnenspektrums, • (S2) beschreiben die Energiewerte für das Wasserstoffatom mithilfe eines quantenphysikalischen Atommodells, • (S2, K8) interpretieren die Orbitale des Wasserstoffatoms als Veranschaulichung der Nachweiswahrscheinlichkeiten für das Elektron, • (E6, E8, K8) interpretieren die Messergebnisse des Franck-Hertz-Versuchs, • (S3, E6, K4) erklären die Entstehung von 	Konkretisierte Kompetenzerwartungen <ul style="list-style-type: none"> • (S2, K3) geben wesentliche Beiträge in der historischen Entwicklung der Atommodelle bis zum ersten Kern-Hülle-Modell (Dalton, Thomson, Rutherford) wieder, • (B8, E9) stellen an der historischen Entwicklung der Atommodelle die spezifischen Eigenschaften und Grenzen naturwissenschaftlicher Modelle heraus, • (S3, E6, K4) erklären die Energie absorbierter und emittierter Photonen mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle, • (E2, E10, S6) interpretieren Linienspektren bei Emission und Absorption sowie die Ergebnisse des Franck-Hertz-Versuchs mithilfe des Energieniveauschemas, • (S2) beschreiben die Energiewerte für das Wasserstoffatom und wasserstoffähnliche Atome mithilfe eines quantenphysikalischen Atommodells, • (S2, K8) interpretieren die Orbitale des Wasserstoffatoms als Veranschaulichung der Nachweiswahrscheinlichkeiten für das Elektron, • (S2, K4) erläutern das Modell des eindimensionalen Potentialtopfs und seine Grenzen, • (S2, S3, E10) beschreiben anhand des Modells des eindimensionalen Potentialtopfs die Verallgemeinerung eines quantenmechanischen Atommodells hin zu 	Versuche: - Betrachtung der Spektren von Gasentladungslampen durch ein Gitter - Flammenfärbungen, insb. Durchstrahlen einer Na-Flamme mit Na- bzw. Hg-Licht (Absorption) - Verwendung der Taschenspektrometer für SuS

<p>x Std.</p>	<p>Ionisierende Strahlung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arten ionisierender Strahlung und deren Eigenschaften • Kernumwandlungen, Nuklidkarte • Zerfallsgesetz und Halbwertszeit • Geiger-Müller-Zählrohr • Dosimetrie und Strahlenschutz • biologische Wirkung ionisierender Strahlung 	<p>Bremsstrahlung und charakteristischer Röntgenstrahlung,</p> <ul style="list-style-type: none"> • (E6) erklären das charakteristische Röntgenspektrum mit den Energieniveaus der Atomhülle, • (S1, K6) ordnen verschiedene Frequenzbereiche dem elektromagnetischen Spektrum zu, <ul style="list-style-type: none"> • (S1) unterscheiden α-, β-, γ-Strahlung, Röntgenstrahlung und Schwerionenstrahlung als Arten ionisierender Strahlung, • (S1, S2) erläutern den Begriff der Radioaktivität und zugehörige Kernumwandlungsprozesse auch mithilfe der Nuklidkarte, • (S5, S6, K6) wenden das zeitliche Zerfallsgesetz für den radioaktiven Zerfall an, • (E5, E8, S6) ermitteln im Falle eines einstufigen radioaktiven Zerfalls anhand der gemessenen Zählraten die Halbwertszeit, • (S4, S5, K8) erläutern den Aufbau und die Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs als Nachweisgerät für ionisierende Strahlung, • (E3, E5, S4, S5) untersuchen experimentell anhand der Zählraten bei Absorptionsexperimenten unterschiedliche Arten ionisierender Strahlung, • (E6, K3) begründen wesentliche biologisch-medizinische Wirkungen ionisierender Strahlung mit deren typischen physikalischen Eigenschaften, • (E8, S3, B2) quantifizieren mit der Größe der 	<p>einem Ausblick auf Mehrelektronensysteme unter Verwendung des Pauli-Prinzips,</p> <ul style="list-style-type: none"> • (S1) beschreiben den Aufbau und die Funktionsweise der Röntgenröhre, • (S1, S3, E4, K4) erläutern die Bragg-Reflexion an einem Einkristall und leiten die Bragg'sche Reflexionsbedingung her, • (S3, E6, K4) erklären die Entstehung von Bremsstrahlung und charakteristischer Röntgenstrahlung, • (E6, S1) interpretieren das Auftreten der kurzwelligen Grenze des Bremsstrahlungsspektrums, • (S1, K6) ordnen verschiedene Frequenzbereiche dem elektromagnetischen Spektrum zu, <ul style="list-style-type: none"> • (S1) unterscheiden α-, β-, γ-Strahlung, Röntgenstrahlung und Schwerionenstrahlung als Arten ionisierender Strahlung, • (S1) beschreiben natürliche Zerfallsreihen sowie künstlich herbeigeführte Kernumwandlungsprozesse (Kernspaltung und -fusion, Neutroneneinfang) auch mithilfe der Nuklidkarte, • (S1, S3) erklären die Ablenkbarkeit in elektrischen und magnetischen Feldern sowie Durchdringungs- und Ionisierungsfähigkeit von ionisierender Strahlung mit ihren Eigenschaften, • (S7, E9) leiten auf der Basis der Definition der Aktivität das Gesetz für den radioaktiven Zerfall einschließlich eines Terms für die Halbwertszeit her, • (E2, E5, S5) konzipieren Experimente zur Bestimmung der Halbwertszeit kurzlebiger radioaktiver Substanzen, • (E4, E7, S7, K1) bestimmen mithilfe des Zerfallsgesetzes das Alter von Materialien mit der C-14-Methode, • (S4, S5, K8) erläutern den Aufbau und die 	<p>Versuche mit dem Röntgengerät:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufnahme eines Röntgenspektrums - h-Bestimmung mittels kurzwelliger Grenze des Spektrums (LK) <p>SuS-Versuche (Radioaktivitätskästen) und/oder Online-Experimente</p>
---------------	---	---	--	--

x Std.	<p>Kernspaltung und -fusion</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energie-Masse-Äquivalenz • Bindungsenergie, Massendefekt • Kernspaltung und -fusion 	<p>effektiven Dosis die Wirkung ionisierender Strahlung und bewerten daraus abgeleitete Strahlenschutzmaßnahmen,</p> <ul style="list-style-type: none"> • (B5, B6, K1, K10) bewerten die Bedeutung hochenergetischer Strahlung hinsichtlich der Gesundheitsgefährdung sowie ihres Nutzens bei medizinischer Diagnose und Therapie, 	<p>Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs als Nachweisgerät ionisierender Strahlung,</p> <ul style="list-style-type: none"> • (E3, E5, S5, S6) wählen für die Planung von Experimenten mit ionisierender Strahlung zwischen dem Geiger-Müller-Zählrohr und einem energiesensiblen Detektor gezielt aus, • (E8, S3, B2) quantifizieren mit der Größe der effektiven Dosis die Wirkung ionisierender Strahlung und bewerten daraus abgeleitete Strahlenschutzmaßnahmen, • (B1, B4, K3) wägen die Chancen und Risiken bildgebender Verfahren in der Medizin unter Verwendung ionisierender Strahlung gegeneinander ab, 	
x Std.	<p>Standardmodell der Teilchenphysik</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elementarteilchen • Wechselwirkungen und deren Austauschteilchen anhand von Beispielen 	<ul style="list-style-type: none"> • (S1) erklären anhand des Zusammenhangs $E = \Delta m \cdot c^2$ die Grundlagen der Energiefreisetzung bei Kernspaltung und -fusion über den Massendefekt, • (S1, S2) 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, K4) erläutern qualitativ an der β^--Umwandlung die Entstehung der Neutrinos mithilfe der schwachen Wechselwirkung und ihrer Austauschteilchen. 	<ul style="list-style-type: none"> • (S1, S2) beschreiben Kernspaltung und Kernfusion mithilfe der starken Wechselwirkung zwischen den Nukleonen auch unter quantitativer Berücksichtigung von Bindungsenergien, • (S1) erläutern den Ablauf einer Kettenreaktion als zentrales Merkmal bei der Energiefreisetzung durch Kernspaltung, • (B5, B7, K3, K10) bewerten Nutzen und Risiken von Kernspaltung und Kernfusion hinsichtlich der globalen Energieversorgung, • (B2, B4, K2, K10) diskutieren ausgewählte Aspekte der Endlagerung radioaktiver Abfälle unter Berücksichtigung verschiedener Quellen, • (S1, S2, K3) 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, K4) erläutern qualitativ an der β^--Umwandlung die Entstehung der Neutrinos mithilfe der schwachen Wechselwirkung und ihrer Austauschteilchen, • (B3, B4, K1, K7) bewerten 	

		<p>Beitrag zu den Basiskonzepten</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. 	<p>Teilchenbeschleuniger in Großforschungseinrichtungen im Hinblick auf ihre Realisierbarkeit und ihren gesellschaftlichen Nutzen hin.</p> <p>Beitrag zu den Basiskonzepten</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. 	
--	--	--	---	--