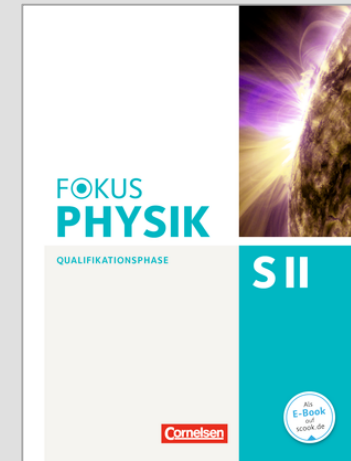


**Stoffverteilungsplan zum neuen Kernlehrplan für das Gymnasium
in Nordrhein-Westfalen und seine Umsetzung mit**

Fokus Physik Sekundarstufe II – Qualifikationsphase

Grundkurs



Qualifikationsphase

Schülerbuch	978-3-06-015551-4
Lösungen	978-3-06-015735-8
Unterrichtsmanger	978-3-06-015993-2

Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q1) – Grundkurs

Experimente	Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte	Fokus Physik SII
Fotoeffekt: 13.2 Wellenwanne: 9.3; 9.5; 9.6 Doppelspalt: 10.4 Gitterbeugung: 10.5	Erforschung des Photons Wie kann das Verhalten von Licht beschrieben und erklärt werden? Zeitbedarf: 14 Ustd.	Quantenobjekte <ul style="list-style-type: none"> • Photon (Wellenaspekt) 	E2 Wahrnehmung und Messung E5 Auswertung K3 Präsentation	Kap. 9: Wellen Kap. 10: Welleneigenschaften des Lichts Kap. 13: Quanten
Millikanversuch: 5.13 Fadenstrahlrohr: 6.6	Erforschung des Elektrons Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden? Zeitbedarf: 15 Ustd.	Quantenobjekte <ul style="list-style-type: none"> • Elektron (Teilchenaspekt) 	UF1 Wiedergabe UF3 Systematisierung E5 Auswertung E6 Modelle	Kap. 13: Quanten
Elektronenbeugung: 13.6	Photonen und Elektronen als Quantenobjekte Ist die Masse bewegter Teilchen konstant? Zeitbedarf: 8 Ustd.	Quantenobjekte <ul style="list-style-type: none"> • Elektron und Photon (Teilchenaspekt, Wellenaspekt) • Quantenobjekte und ihre Eigenschaften 	E6 Modelle E7 Arbeits- und Denkweisen K4 Argumentation B4 Möglichkeiten und Grenzen	Kap. 13: Quanten
Oszilloskop: 5.15 Leiterschleife: 7.1 Thomson'scher Ringversuch: 7.1; 7.7 Leiterschaukel: 7.2 Generator: 7.4 Transformator: 7.5 Fernleitung: 7.5	Energieversorgung und Transport mit Generatoren und Transformatoren Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden? Zeitbedarf: 18 Ustd.	Elektrodynamik <ul style="list-style-type: none"> • Spannung und elektrische Energie • Induktion • Spannungswandlung 	UF2 Auswahl UF4 Vernetzung E2 Wahrnehmung und Messung E5 Auswertung E6 Modelle K3 Präsentation B1 Kriterien	Kap. 5: Elektrische Ladung und elektrisches Feld Kap. 6: Magnetisches Feld Kap. 7: Elektromagnetische Induktion

Experimente	Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte	Fokus Physik SII
	<p>Wirbelströme im Alltag Wie kann man Wirbelströme technisch nutzen? Zeitbedarf: 4 Ustd.</p>	<p>Elektrodynamik</p> <ul style="list-style-type: none"> • Induktion 	<p>UF4 Vernetzung E5 Auswertung B1 Kriterien</p>	<p>Kap. 7: Elektromagnetische Induktion</p>
<p>Summe Qualifikationsphase (Q1) – Grundkurs: 56 Stunden</p>				

Experimente	Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte	Fokus Physik SII
-------------	-----------------------	---	-----------------------	------------------

Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q2) – Grundkurs

Linienpektren: 13.8 Resonanzabsorption: 13.12 Fraunhofer-Linien: 13.12; 20.4 Franck-Hertz-Versuch: 13.11 Röntgenspektren: 13.4; 14.7	Erforschung des Mikro- und Makrokosmos Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie? Zeitbedarf: 13 Ustd.	Strahlung und Materie <ul style="list-style-type: none"> Energiequantelung der Atomhülle Spektrum der elektromagnetischen Strahlung 	UF1 Wiedergabe E5 Auswertung E2 Wahrnehmung und Messung	Kap. 10: Welleneigenschaften des Lichts Kap. 13: Quanten Kap. 14: Quantenphysikalisches Atommodell
Geiger-Müller-Zählrohr: 16.2; 16.6 Absorption: 16.6; 16.10	Mensch und Strahlung Wie wirkt Strahlung auf den Menschen? Zeitbedarf: 9 Ustd.	Strahlung und Materie <ul style="list-style-type: none"> Kernumwandlungen Ionisierende Strahlung Spektrum der elektromagnetischen Strahlung 	UF1 Wiedergabe B3 Werte und Normen B4 Möglichkeiten und Grenzen	Kap. 16: Atomkerne Kap. 18: Radioaktivität und Kerntechnik
	Forschung am CERN und DESY Bausteine der Materie? Zeitbedarf: 6 Ustd.	Strahlung und Materie <ul style="list-style-type: none"> Standardmodell der Elementarteilchen 	UF3 Systematisierung E6 Modelle	Kap. 17: Elementarteilchen
Michelson und Morley: 19.3 Lichtuhr: 19.5 Myonenerfall: 19.6	Navigationssysteme Welchen Einfluss hat Bewegung auf den Ablauf der Zeit? Zeitbedarf: 5 Ustd.	Relativität von Raum und Zeit <ul style="list-style-type: none"> Konstanz der Lichtgeschwindigkeit Zeitdilatation 	UF1 Wiedergabe E6 Modelle	Kap. 19: Relativitätstheorie

Experimente	Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte	Fokus Physik SII
Zyklotron: 6.6	Teilchenbeschleuniger Ist die Masse bewegter Teilchen konstant? Zeitbedarf: 6 Ustd.	Relativität von Raum und Zeit <ul style="list-style-type: none"> • Veränderlichkeit der Masse • Energie-Masse Äquivalenz 	UF4 Vernetzung B1 Kriterien	Kap. 19: Relativitätstheorie
	Das heutige Weltbild Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt? Zeitbedarf: 2 Ustd.	Relativität von Raum und Zeit <ul style="list-style-type: none"> • Konstanz der Lichtgeschwindigkeit • Zeitdilatation • Veränderlichkeit der Masse • Energie-Masse Äquivalenz 	E7 Arbeits- und Denkweisen K3 Präsentation	Kap. 19: Relativitätstheorie
Summe Qualifikationsphase (Q1) – Grundkurs: 41 Stunden				

Qualifikationsphase: Grundkurs

Inhaltsfeld: Quantenobjekte

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Beugung und Interferenz Lichtwellenlänge, Lichtfrequenz, Kreiswellen, ebene Wellen, Beugung, Brechung (7 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • veranschaulichen mithilfe der <i>Wellenwanne</i> qualitativ unter Verwendung von Fachbegriffen auf der Grundlage des Huygens'schen Prinzips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Beugung, Interferenz, Reflexion und Brechung (K3), • bestimmen Wellenlängen und Frequenzen von Licht mit <i>Doppelspalt</i> und <i>Gitter</i> (E5), 	Doppelspalt und Gitter, Wellenwanne quantitative Experimente mit Laserlicht	Ausgangspunkt: Beugung von Laserlicht Modellbildung mit Hilfe der Wellenwanne (ggf. als Schülerpräsentation) Bestimmung der Wellenlängen von Licht mit Doppelspalt und Gitter Sehr schön sichtbare Beugungsphänomene finden sich vielfach bei Meereswellen (s. Google-Earth)	9.1 Wellenphänomene 9.2 Harmonische Welle 9.3 Überlagerung von Wellen 9.4 Reflexion 9.5 Brechung und Beugung 9.6 Interferenz 10.3 Beugung von Licht 10.4 Interferenz am Doppelspalt 10.5 Optisches Gitter
Quantelung der Energie von Licht, Austrittsarbeit (7 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • demonstrieren anhand eines <i>Experiments zum Photoeffekt</i> den Quantencharakter von Licht und bestimmen den Zusammenhang von Energie, Wellenlänge und Frequenz von Photonen sowie die Austrittsarbeit der Elektronen (E5, E2), 	Photoeffekt Hallwachsversuch Vakuumphotozelle	Roter Faden: Von Hallwachs bis Elektronenbeugung Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums und der Austrittsarbeit Hinweis: Formel für die max. kinetische Energie der Photoelektronen wird zunächst vorgegeben. Der Zusammenhang zwischen Spannung, Ladung und Überführungsarbeit wird ebenfalls vorgegeben und nur plausibel gemacht. Er muss an dieser Stelle nicht grundlegend hergeleitet werden	13.2 Fotoeffekt 13.3 Einstein interpretiert den Fotoeffekt mit Lichtquanten

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Summe: 14 Ustd.				
Elementarladung (5 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern anhand einer vereinfachten Version des <i>Millikanversuchs</i> die grundlegenden Ideen und Ergebnisse zur Bestimmung der Elementarladung (UF1, E5), • untersuchen, ergänzend zum Realexperiment, Computersimulationen zum Verhalten von Quantenobjekten (E6). 	schwebender Wattebausch Millikanversuch Schwebefeldmethode (keine Stokes'sche Reibung) Auch als Simulation möglich	Begriff des elektrischen Feldes in Analogie zum Gravitationsfeld besprechen, Definition der Feldstärke über die Kraft auf einen Probekörper, in diesem Fall die Ladung Homogenes elektrisches Feld im Plattenkondensator, Zusammenhang zwischen Feldstärke im Plattenkondensator, Spannung und Abstand der Kondensatorplatten vorgeben und durch Auseinanderziehen der geladenen Platten demonstrieren	5.1 Geladene Körper 5.2 Elektrische Ladung als physikalische Größe 5.3 Elektrisches Feld 5.9 Kondensator 5.13 Bestimmung der Elementarladung

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Elektronenmasse (7 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern deren Definitionsgleichungen. (UF2, UF1), • bestimmen die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer elektrischen Spannung (UF2), • modellieren Vorgänge im <i>Fadenstrahlrohr</i> (Energie der Elektronen, Lorentzkraft) mathematisch, variieren Parameter und leiten dafür deduktiv Schlussfolgerungen her, die sich experimentell überprüfen lassen, und ermitteln die Elektronenmasse (E6, E3, E5), 	e/m-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr und Helmholtzspulenpaar auch Ablenkung des Strahls mit Permanentmagneten (Lorentzkraft) evtl. Stromwaage bei hinreichend zur Verfügung stehender Zeit) Messung der Stärke von Magnetfeldern mit der Hallsonde	Einführung der 3-Finger-Regel und Angabe der Gleichung für die Lorentzkraft: Einführung des Begriffs des magnetischen Feldes (in Analogie zu den beiden anderen Feldern durch Kraft auf Probekörper, in diesem Fall bewegte Ladung oder stromdurchflossener Leiter) und des Zusammenhangs zwischen magnetischer Kraft, Leiterlänge und Stromstärke. Vertiefung des Zusammenhangs zwischen Spannung, Ladung und Überführungsarbeit am Beispiel Elektronenkanone.	5.3 Elektrisches Feld 5. 5 Elektrisches Potenzial und elektrische Spannung 5. 7 Feldgleichung und Feldkonstante 5. 12 Freie Ladungsträger im elektrischen Feld 6.1 Magnetische Feldstärke 6. 2 Magnetfeld von Leiter und Spule 6. 3 Lorentzkraft und Halleffekt 6. 6 Bewegung von Ladungsträgern im Magnetfeld 6. 7 Massenspektrometer und Geschwindigkeitsfilter
Streuung von Elektronen an Festkörpern, de Broglie-Wellenlänge (3 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern die Aussage der de Broglie-Hypothese, wenden diese zur Erklärung des Beugungsbildes beim <i>Elektronenbeugungsexperiment</i> an und bestimmen die Wellenlänge der Elektronen (UF1, UF2, E4). 	Experiment zur Elektronenbeugung an polykristallinem Graphit	Veranschaulichung der Bragg-Bedingung analog zur Gitterbeugung	13. 6 Materiewellen 15. 1 Strukturbestimmung von Festkörpern
Summe: 15 Ustd.				

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Licht und Materie (5 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern am Beispiel der Quantenobjekte Elektron und Photon die Bedeutung von Modellen als grundlegende Erkenntniswerkzeuge in der Physik (E6, E7), • verdeutlichen die Wahrscheinlichkeitsinterpretation für Quantenobjekte unter Verwendung geeigneter Darstellungen (Graphiken, Simulationsprogramme) (K3). • zeigen an Beispielen die Grenzen und Gültigkeitsbereiche von Wellen- und Teilchenmodellen für Licht und Elektronen auf (B4, K4), • beschreiben und diskutieren die Kontroverse um die Kopenhagener Deutung und den Welle-Teilchen-Dualismus (B4, K4). 	Computersimulation Doppelspalt Photoeffekt	Reflexion der Bedeutung der Experimente für die Entwicklung der Quantenphysik	13. 6 Materiewellen 13. 15 Interferenz und Weginformation 13. 14 Heisenberg, Schrödinger und die Entstehung der Quantenmechanik
Summe: 5 Ustd.				

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
----------------------------	--	-------------------	-----------------------------------	-------------------

Inhaltsfeld: Elektrodynamik (GK)

<p>Wandlung von mechanischer in elektrische Energie: Elektromagnetische Induktion Induktionsspannung (5 Ustd.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern am Beispiel der <i>Leiterschaukel</i> das Auftreten einer Induktionsspannung durch die Wirkung der Lorentzkraft auf bewegte Ladungsträger (UF1, E6), • definieren die Spannung als Verhältnis von Energie und Ladung und bestimmen damit Energien bei elektrischen Leitungsvorgängen (UF2), • bestimmen die relative Orientierung von Bewegungsrichtung eines Ladungsträgers, Magnetfeldrichtung und resultierender Kraftwirkung mithilfe einer Drei-Finger-Regel (UF2, E6), • werten Messdaten, die mit einem <i>Oszilloskop</i> bzw. mit einem <i>Messwerterfassungssystem</i> gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5). 	<p>bewegter Leiter im (homogenen) Magnetfeld – „Leiterschaukelversuch“ Messung von Spannungen mit diversen Spannungsmessgeräten (nicht nur an der Leiterschaukel) Gedankenexperimente zur Überführungsarbeit, die an einer Ladung verrichtet wird. Deduktive Herleitung der Beziehung zwischen U, v und B.</p>	<p>Definition der Spannung und Erläuterung anhand von Beispielen für Energieumwandlungsprozesse bei Ladungstransporten, Anwendungsbeispiele. Das Entstehen einer Induktionsspannung bei bewegtem Leiter im Magnetfeld wird mit Hilfe der Lorentzkraft erklärt, eine Beziehung zwischen Induktionsspannung, Leitergeschwindigkeit und Stärke des Magnetfeldes wird (deduktiv) hergeleitet. Die an der Leiterschaukel registrierten (zeitabhängigen) Induktionsspannungen werden mit Hilfe der hergeleiteten Beziehung auf das Zeit-Geschwindigkeit-Gesetz des bewegten Leiters zurückgeführt.</p>	<p>5. 5 Elektrisches Potenzial und elektrische Spannung 6. 3 Lorentzkraft und Halleffekt 7. 1 Phänomen Induktion 7. 2 Induktionsgesetz 7. 3 Faraday entdeckt die elektromagnetische Induktion</p>
--	--	---	--	---

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
<p>Technisch praktikable Generatoren: Erzeugung sinusförmiger Wechselspannungen (4 Ustd.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> recherchieren bei vorgegebenen Fragestellungen historische Vorstellungen und Experimente zu Induktionserscheinungen (K2), erläutern adressatenbezogenen Zielsetzungen, Aufbauten und Ergebnisse von Experimenten im Bereich der Elektrodynamik jeweils sprachlich angemessen und verständlich (K3), 	<p>Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen, Filme und Applets zum Generatorprinzip</p> <p>Experimente mit drehenden Leiterschleifen in (näherungsweise homogenen) Magnetfeldern, Wechselstromgeneratoren</p>	<p>Hier bietet es sich an, arbeitsteilige Präsentationen auch unter Einbezug von Realexperimenten anfertigen zu lassen.</p>	<p>7. 4 Wechselspannung und Generator 7. 12 Anwendungen der Induktion</p>
	<ul style="list-style-type: none"> erläutern das Entstehen sinusförmiger Wechselspannungen in Generatoren (E2, E6), werten Messdaten, die mit einem <i>Oszilloskop</i> bzw. mit einem <i>Messwerterfassungssystem</i> gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5). führen Induktionserscheinungen an einer <i>Leiterschleife</i> auf die beiden grundlegenden Ursachen „zeitlich veränderliches Magnetfeld“ bzw. „zeitlich veränderliche (effektive) Fläche“ zurück (UF3, UF4), 	<p>Messung und Registrierung von Induktionsspannungen mit Oszilloskop und digitalem Messwert-erfassungssystem</p>	<p>Der Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und zeitlicher Veränderung der senkrecht vom Magnetfeld durchsetzten Fläche wird „deduktiv“ erschlossen.</p>	

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
<p>Nutzbarmachung elektrischer Energie durch „Transformation“ Transformator (5 Ustd.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern adressatenbezogen Zielsetzungen, Aufbauten und Ergebnisse von Experimenten im Bereich der Elektrodynamik jeweils sprachlich angemessen und verständlich (K3), • ermitteln die Übersetzungsverhältnisse von Spannung und Stromstärke beim <i>Transformator</i> (UF1, UF2). • geben Parameter von Transformatoren zur gezielten Veränderung einer elektrischen Wechselspannung an (E4), • werten Messdaten, die mit einem <i>Oszilloskop</i> bzw. mit einem <i>Messwerterfassungssystem</i> gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5). • führen Induktionserscheinungen an einer <i>Leiterschleife</i> auf die beiden grundlegenden Ursachen „zeitlich veränderliches Magnetfeld“ bzw. „zeitlich veränderliche (effektive) Fläche“ zurück (UF3, UF4), 	<p>diverse „Netzteile“ von Elektro-Kleingeräten (mit klassischem Transformator) Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen Demo-Aufbautransformator mit geeigneten Messgeräten ruhende Induktionsspule in wechselstromdurchflossener Feldspule - mit Messwerterfassungssystem zur zeitaufgelösten Registrierung der Induktionsspannung und des zeitlichen Verlaufs der Stärke des magnetischen Feldes</p>	<p>Der Transformator wird eingeführt und die Übersetzungsverhältnisse der Spannungen experimentell ermittelt. Dies kann auch durch einen Schülervortrag erfolgen (experimentell und medial gestützt).</p> <p>Der Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und zeitlicher Veränderung der Stärke des magnetischen Feldes wird experimentell im Lehrerversuch erschlossen.</p> <p>Die registrierten Messdiagramme werden von den SuS eigenständig ausgewertet.</p>	<p>7. 5 Transformator 7. 12 Anwendungen der Induktion</p>

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Energieerhaltung Ohm'sche „Verluste“ (4 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • verwenden ein physikalisches <i>Modellexperiment zu Freileitungen</i>, um technologische Prinzipien der Bereitstellung und Weiterleitung von elektrischer Energie zu demonstrieren und zu erklären (K3), • bewerten die Notwendigkeit eines geeigneten Transformierens der Wechselspannung für die effektive Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B1), • zeigen den Einfluss und die Anwendung physikalischer Grundlagen in Lebenswelt und Technik am Beispiel der Bereitstellung und Weiterleitung elektrischer Energie auf (UF4), • beurteilen Vor- und Nachteile verschiedener Möglichkeiten zur Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B2, B1, B4). 	Modellexperiment (z.B. mit Hilfe von Aufbau-Transformatoren) zur Energieübertragung und zur Bestimmung der „Ohm'schen Verluste“ bei der Übertragung elektrischer Energie bei unterschiedlich hohen Spannungen	Hier bietet sich ein arbeitsteiliges Gruppenpuzzle an, in dem Modellexperimente einbezogen werden.	7. 5 Transformator
Summe: 18 Ustd.				

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Lenz'sche Regel (4 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern anhand des Thomson'schen Ringversuchs die Lenz'sche Regel (E5, UF4), • bewerten bei technischen Prozessen das Auftreten erwünschter bzw. nicht erwünschter Wirbelströme (B1), 	Freihandexperiment: Untersuchung der Relativbewegung eines aufgehängten Metallrings und eines starken Stabmagneten Thomson'scher Ringversuch diverse technische und spielerische Anwendungen, z.B. Dämpfungselement an einer Präzisionswaage, Wirbelstrombremse, „fallender Magnet“ im Alu-Rohr.	Ausgehend von kognitiven Konflikten bei den Ringversuchen wird die Lenz'sche Regel erarbeitet Erarbeitung von Anwendungsbeispielen zur Lenz'schen Regel (z.B. Wirbelstrom-bremse bei Fahrzeugen oder an der Kreissäge)	7. 6 Selbstinduktion 7. 7 Wirbelströme
Summe: 4 Ustd.				

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
----------------------------	--	-------------------	-----------------------------------	-------------------

Inhaltsfeld: *Strahlung und Materie (GK)*

Kern-Hülle-Modell (2 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> erläutern, vergleichen und beurteilen Modelle zur Struktur von Atomen und Materiebausteinen (E6, UF3, B4), 	Literaturrecherche, Schulbuch	Ausgewählte Beispiele für Atommodelle	13. 7 Frühe Atommodelle 13. 9 Rutherford stößt auf den Atomkern
Energieniveaus der Atomhülle (2 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> erklären die Energie absorbierter und emittierter Photonen mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (UF1, E6), 	Erzeugung von Linienpektren mithilfe von Gasentladungslampen	Deutung der Linienspektren	13. 8 Linienspektren
Quantenhafte Emission und Absorption von Photonen (3 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> erläutern die Bedeutung von <i>Flammenfärbung und Linienspektren bzw. Spektralanalyse</i>, die Ergebnisse des <i>Franck-Hertz-Versuches</i> sowie die <i>charakteristischen Röntgenspektren</i> für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7), 	Franck-Hertz-Versuch	Es kann das Bohr'sche Atommodell angesprochen werden (ohne Rechnungen)	13. 10 Bohrsches Atommodell 13. 11 Franck-Hertz-Experiment 13. 12 Resonanzabsorption und Lumineszenz

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Röntgenstrahlung (3 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern die Bedeutung von <i>Flammenfärbung</i> und <i>Linienpektren</i> bzw. <i>Spektralanalyse</i>, die Ergebnisse des <i>Franck-Hertz-Versuches</i> sowie die <i>charakteristischen Röntgenspektren</i> für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7), 	Aufnahme von Röntgenspektren (kann mit interaktiven Bildschirmexperimenten (IBE) oder Lehrbuch geschehen, falls keine Schulröntgeneinrichtung vorhanden ist)	Im Zuge der „Elemente der Quantenphysik“ kann die Röntgenstrahlung bereits als Umkehrung des Photoeffekts bearbeitet werden Mögliche Ergänzungen: Bremspektrum mit h-Bestimmung / Bragg-Reflexion	13. 4 Röntgenstrahlung 14. 7 Charakteristische Röntgenstrahlung
Sternspektren und Fraunhoferlinien (3 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • interpretieren Spektraltafeln des <i>Sonnenspektrums</i> im Hinblick auf die in der Sonnen- und Erdatmosphäre vorhandenen 3Stoffe (K3, K1), • erklären Sternspektren und Fraunhoferlinien (UF1, E5, K2), • stellen dar, wie mit spektroskopischen Methoden Informationen über die Entstehung und den Aufbau des Weltalls gewonnen werden können (E2, K1), 	Flammenfärbung Darstellung des Sonnenspektrums mit seinen Fraunhoferlinien Spektralanalyse	u. a. Durchstrahlung einer Na-Flamme mit Na- und Hg-Licht (Schattenbildung)	13. 12 Resonanzabsorption und Lumineszenz
Summe: 13 Ustd.				

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Strahlungsarten (2 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • unterscheiden α-, β-, γ-Strahlung und Röntgenstrahlung sowie Neutronen- und Schwerionenstrahlung (UF3), • erläutern den Nachweis unterschiedlicher Arten ionisierender Strahlung mithilfe von Absorptionsexperimenten (E4, E5), • bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik (B1, B3), 	Recherche Absorptionsexperimente zu α-, β-, γ-Strahlung	Wiederholung und Vertiefung aus der Sek. I	16. 2 Nachweis ionisierender Strahlung 16. 6 Radioaktive Strahlung
Elementumwandlung (1 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern den Begriff Radioaktivität und beschreiben zugehörige Kernumwandlungsprozesse (UF1, K1), 	Nuklidkarte		18. 2 Zerfallsreihen und künstliche Nuklide
Detektoren (3 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern den Aufbau und die Funktionsweise von Nachweisgeräten für ionisierende Strahlung (<i>Geiger-Müller-Zählrohr</i>) und bestimmen Halbwertszeiten und Zählraten (UF1, E2), 	Geiger-Müller-Zählrohr	An dieser Stelle können Hinweise auf Halbleiterdetektoren gegeben werden.	16. 2 Nachweis ionisierender Strahlung 18. 1 Aktivität und Zerfallsgesetz

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Biologische Wirkung ionisierender Strahlung und Energieaufnahme im menschlichen Gewebe Dosimetrie (3 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • beschreiben Wirkungen von ionisierender und elektromagnetischer Strahlung auf Materie und lebende Organismen (UF1), • bereiten Informationen über wesentliche biologisch-medizinische Anwendungen und Wirkungen von ionisierender Strahlung für unterschiedliche Adressaten auf (K2, K3, B3, B4), • begründen in einfachen Modellen wesentliche biologisch-medizinische Wirkungen von ionisierender Strahlung mit deren typischen physikalischen Eigenschaften (E6, UF4), • • erläutern das Vorkommen künstlicher und natürlicher Strahlung, ordnen deren Wirkung auf den Menschen mithilfe einfacher dosimetrischer Begriffe ein und bewerten Schutzmaßnahmen im Hinblick auf die Strahlenbelastungen des Menschen im Alltag (B1, K2). • bewerten Gefahren und Nutzen der Anwendung physikalischer Prozesse, u. a. von ionisierender Strahlung, auf der Basis medizinischer, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Gegebenheiten (B3, B4) • bewerten Gefahren und Nutzen der Anwendung ionisierender Strahlung unter Abwägung unterschiedlicher Kriterien (B3, B4), 	ggf. Einsatz eines Films / eines Videos	Sinnvolle Beispiele sind die Nutzung von ionisierender Strahlung zur Diagnose und zur Therapie bei Krankheiten des Menschen (von Lebewesen) sowie zur Kontrolle technische Anlagen. Erläuterung von einfachen dosimetrischen Begriffe: Aktivität, Energiedosis, Äquivalentdosis	18. 4 Biologische Wirkungen der Radioaktivität 18. 5 Strahlenschutz
Summe: 9 Ustd.				

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Kernbausteine und Elementarteilchen (4 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern mithilfe des aktuellen Standardmodells den Aufbau der Kernbausteine und erklären mit ihm Phänomene der Kernphysik (UF3, E6), • erklären an einfachen Beispielen Teilchenumwandlungen im Standardmodell (UF1). • recherchieren in Fachzeitschriften, Zeitungsartikeln bzw. Veröffentlichungen von Forschungseinrichtungen zu ausgewählten aktuellen Entwicklungen in der Elementarteilchenphysik (K2). 	In diesem Bereich sind i. d. R. keine Realexperimente für Schulen möglich. Es z.B. kann auf Internetseiten des CERN und DESY zurückgegriffen werden.	Mögliche Schwerpunktsetzung: Paarerzeugung, Paarvernichtung,	17. 1 Strukturuntersuchung mit schnellen Teilchen 17. 2 Quarks, Materie und Antimaterie 17. 3 Wechselwirkungen und ihre Austauschteilchen 17. 4 Standardmodell
(Virtuelles) Photon als Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung Konzept der Austauschteilchen vs. Feldkonzept (2 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • vergleichen in Grundprinzipien das Modell des Photons als Austauschteilchen für die elektromagnetische Wechselwirkung exemplarisch für fundamentale Wechselwirkungen mit dem Modell des Feldes (E6). 	Lehrbuch, Animationen	Veranschaulichung der Austauschwechselwirkung mithilfe geeigneter mechanischer Modelle, auch Problematik dieser Modelle thematisieren	17. 3 Wechselwirkungen und ihre Austauschteilchen 17. 7 Vereinheitlichung von Theorien
Summe: 6 Ustd.				

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
----------------------------	--	-------------------	-----------------------------------	-------------------

Inhaltsfeld: *Relativität von Raum und Zeit (GK)*

<p>Relativität der Zeit (5 Ustd.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> interpretieren das <i>Michelson-Morley-Experiment</i> als ein Indiz für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit (UF4), erklären anschaulich mit der <i>Lichtuhr</i> grundlegende Prinzipien der speziellen Relativitätstheorie und ermitteln quantitativ die Formel für die Zeitdilatation (E6, E7), erläutern qualitativ den <i>Myonenzerfalls</i> in der Erdatmosphäre als experimentellen Beleg für die von der Relativitätstheorie vorhergesagte Zeitdilatation (E5, UF1). erläutern die relativistische Längenkontraktion über eine Plausibilitätsbetrachtung (K3), begründen mit der Lichtgeschwindigkeit als Obergrenze für Geschwindigkeiten von Objekten, dass eine additive Überlagerung von Geschwindigkeiten nur für „kleine“ Geschwindigkeiten gilt (UF2), erläutern die Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie (UF1), 	<p>Experiment von Michelson und Morley (Computersimulation)</p> <p>Lichtuhr (Gedankenexperiment / Computersimulation)</p> <p>Myonenzerfall (Experimentepool der Universität Wuppertal)</p>	<p>Ausgangsproblem: Exaktheit der Positionsbestimmung mit Navigationssystemen</p> <p>Begründung der Hypothese von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit mit dem Ausgang des Michelson-Morley-Experiments</p> <p>Herleitung der Formel für die Zeitdilatation am Beispiel einer „bewegten Lichtuhr“.</p> <p>Der Myonenzerfall in der Erdatmosphäre dient als experimentelle Bestätigung der Zeitdilatation. Betrachtet man das Bezugssystem der Myonen als ruhend, kann die Längenkontraktion der Atmosphäre plausibel gemacht werden.</p> <p>Die Formel für die Längenkontraktion wird angegeben.</p>	<p>19. 1 Einsteins "Elektrodynamik bewegter Körper"</p> <p>19. 2 Postulate der Speziellen Relativitätstheorie</p> <p>19. 3 Experiment von Michelson und Morley</p> <p>19. 4 Relativität der Gleichzeitigkeit</p> <p>19. 5 Zeitdilatation</p> <p>19. 6 Längenkontraktion</p>
<p>Summe: 5 Ustd.</p>				

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
„Schnelle“ Ladungsträger in E- und B-Feldern (2 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> erläutern die Funktionsweise eines <i>Zyklotrons</i> und argumentieren zu den Grenzen einer Verwendung zur Beschleunigung von Ladungsträgern bei Berücksichtigung relativistischer Effekte (K4, UF4), 	Zyklotron (in einer Simulation mit und ohne Massenveränderlichkeit)	Der Einfluss der Massenzunahme wird in der Simulation durch das „Aus-dem-Takt-Geräten“ eines beschleunigten Teilchens im Zyklotron ohne Rechnung veranschaulicht.	19. 9 Relativistische Masse und relativistischer Impuls
Ruhemasse und dynamische Masse (4 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> erläutern die Energie-Masse Äquivalenz (UF1). zeigen die Bedeutung der Beziehung $E=mc^2$ für die Kernspaltung und -fusion auf (B1, B3) 	Film / Video	Die Formeln für die dynamische Masse und $E=mc^2$ werden als deduktiv herleitbar angegeben. Erzeugung und Vernichtung von Teilchen, Hier können Texte und Filme zu Hiroshima und Nagasaki eingesetzt werden.	19. 10 Masse-Energie-Beziehung
Summe: 6 Ustd.				
Gegenseitige Bedingung von Raum und Zeit (2 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> diskutieren die Bedeutung von Schlüsselexperimenten bei physikalischen Paradigmenwechseln an Beispielen aus der Relativitätstheorie (B4, E7), beschreiben Konsequenzen der relativistischen Einflüsse auf Raum und Zeit anhand anschaulicher und einfacher Abbildungen (K3) 	Lehrbuch, Film / Video		19. 1 Einsteins "Elektrodynamik bewegter Körper" 6. 4 Elektromagnetismus
Summe: 2 Ustd.				

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Teilcheneigenschaften von Photonen Planck'sches Wirkungsquantum (7 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern die qualitativen Vorhersagen der klassischen Elektrodynamik zur Energie von Photoelektronen (bezogen auf die Frequenz und Intensität des Lichts) (UF2, E3), • erläutern den Widerspruch der experimentellen Befunde zum Photoeffekt zur klassischen Physik und nutzen zur Erklärung die Einstein'sche Lichtquantenhypothese (E6, E1), • diskutieren das Auftreten eines Paradigmenwechsels in der Physik am Beispiel der quantenmechanischen Beschreibung von Licht und Elektronen im Vergleich zur Beschreibung mit klassischen Modellen (B2, E7), • beschreiben und erläutern Aufbau und Funktionsweise von komplexen Versuchsaufbauten (u.a. zur h-Bestimmung und zur Elektronenbeugung) (K3, K2), • ermitteln aus den experimentellen Daten eines Versuchs zum Photoeffekt das Planck'sche Wirkungsquantum (E5, E6), 	1. Versuch zur h-Bestimmung: Gegenspannungsmethode (Hg-Linien mit Cs-Diode) 2. Versuch zur h-Bestimmung: Mit Simulationsprogramm (in häuslicher Arbeit)	Spannungsbestimmung mithilfe Kondensatoraufladung erwähnen Wenn genügend Zeit zur Verfügung steht, kann an dieser Stelle auch der Compton-Effekt behandelt werden: Bedeutung der Anwendbarkeit der (mechanischen) Stoßgesetze hinsichtlich der Zuordnung eines Impulses für Photonen Keine detaillierte (vollständig relativistische) Rechnung im Unterricht notwendig, Rechnung ggf. als Referat vorstellen lassen	13. 2 Photoeffekt 13. 3 Einstein interpretiert den Photoeffekt mit Lichtquanten 13. 5 Impuls von Photonen
Summe: 10 Ustd.				

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Röntgenröhre Röntgenspektrum (2 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> beschreiben den Aufbau einer Röntgenröhre (UF1), 	Röntgenröhre der Schulröntgeneinrichtung Sollte keine Röntgenröhre zur Verfügung stehen, kann mit einem interaktiven Bildschirmexperiment (IBE) gearbeitet werden (z.B. http://www.uni-due.de/physik/ap/iabe/roentgen_b10/roentgen_b10_uebersicht.html)	Die Behandlung der Röntgenstrahlung erscheint an dieser Stelle als „Einschub“ in die Reihe zur Quantenphysik sinnvoll, obwohl sie auch zu anderen Sachbereichen Querverbindungen hat und dort durchgeführt werden könnte (z.B. „Physik der Atomhülle“) Zu diesem Zeitpunkt müssen kurze Sachinformationen zum Aufbau der Atomhülle und den Energiezuständen der Hüllenelektronen gegeben (recherchiert) werden. Das IBE sollte für die häusliche Arbeit genutzt werden.	13. 4 Röntgenstrahlung 14. 7 Charakteristische Röntgenstrahlung
Bragg'sche Reflexionsbedingung (2 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> erläutern die Bragg-Reflexion an einem Einkristall und leiten die Bragg'sche Reflexionsbedingung her (E6), 	Aufnahme eines Röntgenspektrums (Winkel-Intensitätsdiagramm vs. Wellenlängen-Intensitätsdiagramm)	Die Bragg'sche Reflexionsbedingung basiert auf Welleninterpretation, die Registrierung der Röntgenstrahlung mithilfe des Detektors hat den Teilchenaspekt im Vordergrund	10. 5 Optisches Gitter 13. 4 Röntgenstrahlung

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Planck'sches Wirkungsquantum (1 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> deuten die Entstehung der kurzwelligen Röntgenstrahlung als Umkehrung des Photoeffekts (E6), 		Eine zweite Bestimmungsmethode für das Planck'sche Wirkungsquantum	13. 4 Röntgenstrahlung 14. 7 Charakteristische Röntgenstrahlung
Strukturanalyse mithilfe der Drehkristallmethode Strukturanalyse nach Debye-Scherrer (2 Ustd.)			Schülerreferate mit Präsentationen zur Debye-Scherrer-Methode	15. 1 Strukturbestimmung von Festkörpern
Röntgenröhre in Medizin und Technik (2 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> führen Recherchen zu komplexeren Fragestellungen der Quantenphysik durch und präsentieren die Ergebnisse (K2, K3), 	Film / Video / Foto Schülervorträge auf fachlich angemessenem Niveau (mit adäquaten fachsprachlichen Formulierungen)	Schülerreferate mit Präsentationen anhand Literatur- und Internetrecherchen Ggf. Exkursion zum Röntgenmuseum in Lennep Ggf. Exkursion zur radiologischen Abteilung des Krankenhauses (die aber auch in Rahmen der Kernphysik (s. dort: „Biologische Wirkung ionisierender Strahlung“) durchgeführt werden kann)	13. 4 Röntgenstrahlung
Summe: 9 Ustd.				

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Wellencharakter von Elektronen (2 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> interpretieren experimentelle Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre mit den Welleneigenschaften von Elektronen (E1, E5, E6), 	Qualitative Demonstrationen mit der Elektronenbeugungsröhre Qualitative Demonstrationen mithilfe RCL (Uni Kaiserslautern: http://rcl-munich.informatik.unibw-muenchen.de/)	Hinweise auf erlaubte nichtrelativistische Betrachtung (bei der verwendeten Elektronenbeugungsröhre der Schule)	13. 6 Materiewellen
Streuung und Beugung von Elektronen De Broglie-Hypothese (4 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> beschreiben und erläutern Aufbau und Funktionsweise von komplexen Versuchsaufbauten (u.a. zur h-Bestimmung und zur Elektronenbeugung) (K3, K2), erklären die de Broglie-Hypothese am Beispiel von Elektronen (UF1), 	Quantitative Messung mit der Elektronenbeugungsröhre	Herausstellen der Bedeutung der Bragg'schen Reflexionsbedingung für (Röntgen-) Photonen wie für Elektronen mit Blick auf den Wellenaspekt von Quantenobjekten Dabei Betonung der herausragenden Bedeutung der de Broglie-Gleichung für die quantitative Beschreibung der (lichtschnellen und nicht lichtschneller) Quantenobjekte	13. 6 Materiewellen

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
<p>linearer Potentialtopf Energiewerte im linearen Potentialtopf (4 Ustd.)</p>	<p>deuten das Quadrat der Wellenfunktion qualitativ als Maß für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen (UF1, UF4), ermitteln die Wellenlänge und die Energiewerte von im linearen Potentialtopf gebundenen Elektronen (UF2, E6).</p>		<p>Auf die Anwendbarkeit des Potentialtopf-Modells bei Farbstoffmolekülen wird hingewiesen. Die Anwendbarkeit des (mechanischen) Modells der stehenden Welle kann insofern bestätigt werden, als dass die für die stehenden Wellen sich ergebende DGI mit derjenigen der (zeitunabhängigen) Schrödinger-DGI strukturell übereinstimmt. Ein Ausblick auf die Schrödinger-Gleichung genügt.</p>	<p>14. 1 Unendlich tiefer eindimensionaler Potenzialtopf 14. 2 Numerische Berechnungen 14. 3 Energiewerte des Wasserstoffatoms</p>

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar/didaktische Hinweise	Fokus Physik S II
Wellenfunktion und Aufenthaltswahrscheinlichkeit (4 Ustd.)	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern die Aufhebung des Welle-Teilchen-Dualismus durch die Wahrscheinlichkeitsinterpretation (UF1, UF4), • erläutern die Bedeutung von Gedankenexperimenten und Simulationsprogrammen zur Erkenntnisgewinnung bei der Untersuchung von Quantenobjekten (E6, E7). • erläutern bei Quantenobjekten das Auftreten oder Verschwinden eines Interferenzmusters mit dem Begriff der Komplementarität (UF1, E3), • diskutieren das Auftreten eines Paradigmenwechsels in der Physik am Beispiel der quantenmechanischen Beschreibung von Licht und Elektronen im Vergleich zur Beschreibung mit klassischen Modellen (B2, E7), • stellen anhand geeigneter Phänomene dar, wann Licht durch ein Wellenmodell bzw. ein Teilchenmodell beschrieben werden kann (UF1, K3, B1), 	Demonstration des Durchgangs eines einzelnen Quantenobjekts durch einen Doppelspalt mithilfe eines Simulationsprogramms und mithilfe von Videos		13. 15 Interferenz und Weginformation 13. 16 Zustandsfunktion und Aufenthaltswahrscheinlichkeit 13. 17 Energiezustände
Heisenberg'sche Unschärferelation (2 Ustd.)	erläutern die Aussagen und die Konsequenzen der Heisenberg'schen Unschärferelation (Ort-Impuls, Energie-Zeit) an Beispielen (UF1, K3), bewerten den Einfluss der Quantenphysik im Hinblick auf Veränderungen des Weltbildes und auf Grundannahmen zur physikalischen Erkenntnis (B4, E7).		Die Heisenberg'sche Unschärferelation kann (aus fachlicher Sicht) plausibel gemacht werden aufgrund des sich aus der Interferenzbedingung ergebenden Querimpulses eines Quantenobjekts, wenn dieses einen Spalt passiert.	13. 19 Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation
Summe: 10 Ustd.				