

Std.	Inhaltliche Schwerpunkte	Prozessbezogene Kompetenzen	Thema im Schülerbuch	Seite
	Wiederholung		1 Bewegungen, Kräfte und Energie	
	Klassische Wellen		2 Schwingungen	
	Die Lernenden...			
	Mechanische harmonische Schwingungen	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen, deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie deren Zusammenhänge (S1, S3), • ordnen dem zeitlichen Verlauf von Elongation, Geschwindigkeit und Beschleunigung deren Funktionsgleichungen zu und wenden diese an (E4, E6, S3), 	Experiment: Schwingung eines Federpendels 2.1 Merkmale von Schwingungen	24 25/26
		<ul style="list-style-type: none"> • ordnen dem zeitlichen Verlauf von Elongation, Geschwindigkeit und Beschleunigung deren Funktionsgleichungen zu und wenden diese an (E4, E6, S3), 	Methode: Die Ableitung in der Physik Training: Harmonische Schwingungen	27 32/33
	Federpendel	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen, deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie deren Zusammenhänge (S1, S3), • konzipieren Experimente zur Abhängigkeit der Periodendauer von Einflussgrößen beim Federpendel und werten diese unter Anwendung digitaler Werkzeuge aus (E6, S4, K6), 	Experiment: Ermittlung von Periodendauern	29
		<ul style="list-style-type: none"> • erläutern am Beispiel des Federpendels Energieumwandlungen harmonischer Schwingungen (S1, S2, K4), 	2.2 Energie von Schwingungen Training: Harmonische Schwingungen	30/31 32/33
			Rückblick: Zusammenfassung	34
	Klassische Wellen		3 Wellen	
	Mechanische harmonische Wellen	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Wellen, deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie deren Zusammenhänge (S1, S3), 	3.1 Entstehung von Wellen 3.2 Harmonische Wellen Methode: Mathematische Beschreibung von Wellen Training: Beschreibung und Ausbreitung von Wellen	36/37 38/39 40 42

Std.	Inhaltliche Schwerpunkte	Prozessbezogene Kompetenzen	Thema im Schülerbuch	Seite
		<ul style="list-style-type: none"> • erläutern die lineare Polarisierung als Unterscheidungsmerkmal von Longitudinal- und Transversalwellen (S2, E3, K8), • beurteilen Maßnahmen zur Störgeräuschreduzierung hinsichtlich deren Eignung (B7, K1, K5). 	3.2 Harmonische Wellen Exkurs: Erdbeben und Tsunamis	38/39 41
		<ul style="list-style-type: none"> • erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Wellen, deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie deren Zusammenhänge (S1, S3), 	3.4 Überlagerung von Wellen	43/44
		<ul style="list-style-type: none"> • beurteilen Maßnahmen zur Störgeräuschreduzierung hinsichtlich deren Eignung (B7, K1, K5). 	Exkurs: Reduzierung von Störgeräuschen Training: Überlagerung von Wellen	45 49/50
		<ul style="list-style-type: none"> • erklären mithilfe der Superposition stehende Wellen (S1, E6, K3), 	Experiment: Erzeugung stehender Wellen 3.5 Stehende Wellen Training: Überlagerung von Wellen	46 47/48 49/50
	Huygens'sches Prinzip, Reflexion, Brechung, Beugung	<ul style="list-style-type: none"> • 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), 	Experiment: Ausbreitung von Wasserwellen 3.6 Das Huygens'sche Prinzip	51/52 53/54
	Superposition und Polarisation von Wellen	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Wellen, deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie deren Zusammenhänge (S1, S3), • erklären mithilfe der Superposition stehende Wellen (S1, E6, K3), 	Experiment: Versuche mit Ultraschall 3.7 Ultraschall	55 56
			Rückblick: Zusammenfassung	57
	Teilchen in Feldern		4 Elektrisches Feld	
	Die Lernenden...			
	Elektrische Felder, elektrische Feldstärke	<ul style="list-style-type: none"> • beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte (S2, S3, E6), • stellen elektrische Feldlinienbilder von homogenen, Radial- und Dipolfeldern sowie magnetische Feldlinienbilder von homogenen und Dipolfeldern dar (S1, K6), 	4.1 Die elektrische Ladung Experiment: Ladungsmessung Methode: Die Fläche unter einer Kurve – Ermittlung einer Ladung Experiment: Die elektrische Feldstärke 4.2 Das elektrische Feld	59/60 61 62 63 64/65

Std.	Inhaltliche Schwerpunkte	Prozessbezogene Kompetenzen	Thema im Schülerbuch	Seite
		<ul style="list-style-type: none"> stellen elektrische Feldlinienbilder von homogenen, Radial- und Dipolfeldern sowie magnetische Feldlinienbilder von homogenen und Dipolfeldern dar (S1, K6), entwickeln mithilfe des Superpositionsprinzips elektrische und magnetische Feldlinienbilder (E4, E6), 	4.3 Das Coulomb'sche Gesetz / Exkurs: Elektrische Filter für die Rauchgasreinigung Methode: Bestimmung funktionaler Zusammenhänge durch Regression Methode: Superposition von Feldern Training: Elektrische Ladung, elektrisches Feld	66 67 68 69/70
	Elektrische Spannung	<ul style="list-style-type: none"> beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte (S2, S3, E6), 	4.4 Energie und Spannung im elektrischen Feld Training: Energie und Spannung	71/72 73
		<ul style="list-style-type: none"> erläutern am Beispiel des Plattenkondensators den Zusammenhang zwischen elektrischer Spannung und elektrischer Feldstärke im homogenen elektrischen Feld (S3), 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), beurteilen den Einsatz des Kondensators als Energiespeicher in ausgewählten alltäglichen Situationen (B3, B4, K9), 	Experiment: Eigenschaften des Kondensators 4.5 Der Kondensator, ein Ladungsspeicher Exkurs: Blitze und Gewitter Training: Kondensatoren	74 75 80 81/82
		<ul style="list-style-type: none"> erläutern am Beispiel des Plattenkondensators den Zusammenhang zwischen elektrischer Spannung und elektrischer Feldstärke im homogenen elektrischen Feld (S3), untersuchen den Auf- und Entladevorgang bei Kondensatoren unter Anleitung experimentell (S4, S6, K6), modellieren mathematisch den zeitlichen Verlauf der Stromstärke bei Auf- und Entladevorgängen bei Kondensatoren unter Berücksichtigung des Widerstandes und der Kapazität (E4, E6, S7) interpretieren den Flächeninhalt zwischen Graph und Abszissenachse im Q-U-Diagramm als Energiegehalt des Plattenkondensators (E6, K8). 	Experiment: Aufladen und Entladen von Kondensatoren 4.6 Der Kondensator im Stromkreis Training: Kondensatoren	77 78/79 81/82
	Bahnformen von geladenen	<ul style="list-style-type: none"> erläutern am Fadenstrahlrohr die Erzeugung freier Elektronen durch den glühelektrischen Effekt, 	4.7 Ladungsträger im elektrischen Feld	83 84

Std.	Inhaltliche Schwerpunkte	Prozessbezogene Kompetenzen	Thema im Schülerbuch	Seite
	Teilchen in homogenen Feldern	<ul style="list-style-type: none"> • berechnen Geschwindigkeitsänderungen von Ladungsträgern nach Durchlaufen einer elektrischen Spannung (S1, S3, K3), • erläutern Experimente zur Variation elektrischer Einflussgrößen und deren Auswirkungen auf die Bahnformen von Ladungsträgern in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern (E2, K4), 	Exkurs: Ablenkung in einer Elektronenstrahlröhre Training: Ladungsträger im elektrischen Feld	87/88
		<ul style="list-style-type: none"> • schließen aus der statistischen Auswertung einer vereinfachten Version des Millikan-Versuchs auf die Existenz einer kleinsten Ladung (E3, E11, K8), 	Experiment: Die Ladung des Elektrons – der Millikanversuch 4.8 Nachweis der Elementarladung Training: Ladungsträger im elektrischen Feld	85 86 87/88
			Rückblick: Zusammenfassung	89
	Teilchen in Feldern		5 Magnetisches Feld	
	Magnetische Felder, magnetische Flussdichte	<ul style="list-style-type: none"> • beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte (S2, S3, E6), • stellen elektrische Feldlinienbilder von homogenen, Radial- und Dipolfeldern sowie magnetische Feldlinienbilder von homogenen und Dipolfeldern dar (S1, K6), 	5.1 Das magnetische Feld Experiment: Die magnetische Feldstärke 5.2 Quantitative Beschreibung des Magnetfeldes Training: Magnetfeld und Lorentzkraft	91/92 93 94/95 96
		<ul style="list-style-type: none"> • stellen elektrische Feldlinienbilder von homogenen, Radial- und Dipolfeldern sowie magnetische Feldlinienbilder von homogenen und Dipolfeldern dar (S1, K6), • entwickeln mithilfe des Superpositionsprinzips elektrische und magnetische Feldlinienbilder (E4, E6), • wenden eine Messmethode zur Bestimmung der magnetischen Flussdichte an (E3, K6), 	5.3 Der Hall-Effekt 5.4 Magnetische Felder spezieller Leiteranordnungen Experiment: Untersuchung der Magnetfelder in Spulen Training: Magnetfelder von Spulen und Hall-Effekt	97 98 99 100
		<ul style="list-style-type: none"> • erläutern am Fadenstrahlrohr die Beschleunigung freier Elektronen beim Durchlaufen eines elektrischen Felds sowie deren Ablenkung im homogenen magnetischen Feld durch die Lorentzkraft (S4, S6, E6, K5). 	Experiment: Bestimmung der Elektronenmasse 5.5 Elektronen haben eine Masse Exkurs: Geladene Teilchen in Feldern Training: Ladungsträger im Magnetfeld	101 102 103/104 105/106

Std.	Inhaltliche Schwerpunkte	Prozessbezogene Kompetenzen	Thema im Schülerbuch	Seite
		• erschließen sich die Funktionsweise des Zyklotrons auch mithilfe von Simulationen (E1, E10, S1, K1).	Experiment: Zyklotron-Experimente	107
			Rückblick: Zusammenfassung	108

Elektrodynamik und Energieübertragung			6 Induktion	
	Die Lernenden...			
Elektromagnetische Induktion		<ul style="list-style-type: none"> • 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), • interpretieren die mit einem Oszilloskop bzw. Messwerterfassungssystem aufgenommenen Daten bei elektromagnetischen Induktions- und Schwingungsversuchen unter Rückbezug auf die experimentellen Parameter (E6, E7, K9), • beschreiben das Induktionsgesetz mit der mittleren Änderungsrate und in differentieller Form des magnetischen Flusses (S7), 	Experiment: Erzeugung einer Induktionsspannung an einer Leiterschaukel Methode: Einsatz von Messwerterfassungssystemen 6.1 Elektrische Spannung durch Magnetfelder Methode: Induktionsspannung und Differenzialrechnung Training: Spannungserzeugung und Selbstinduktion	111 113/114 115 116 123/124
		<ul style="list-style-type: none"> • beurteilen das Potential der Energierückgewinnung auf Basis von Induktionsphänomenen bei elektrischen Antriebssystemen (K2). • beurteilen ausgewählte Beispiele zur Energiebereitstellung und -umwandlung unter technischen und ökologischen Aspekten (B3, B6, K8, K10), 	Exkurs: Energierückführung durch elektromagnetische Induktion	117
		<ul style="list-style-type: none"> • 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), 	Experiment: Der Thomson'sche Ringversuch 6.2 Die Lenz'sche Regel Exkurs: Wirbelströme 6.3 Selbstinduktion 6.4 Die Spule als Energiespeicher Training: Spannungserzeugung und Selbstinduktion	118 119 120 121 122 123/124

	Energieübertragung: Generator, Wechselspannung	<ul style="list-style-type: none"> • führen Induktionserscheinungen bei einer Leiterschleife auf die zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte oder die zeitliche Änderung der durchsetzten Fläche zurück (S1, S2, K4), • modellieren mathematisch das Entstehen von Induktions-spannungen für die beiden Spezialfälle einer zeitlich konstanten Fläche und einer zeitlich konstanten magnetischen Flussdichte (E4, E6, K7), • erklären das Entstehen von sinusförmigen Wechselspannungen in Generatoren mithilfe des Induktionsgesetzes (E6, E10, K3, K4), 	Experiment: Leiterschleifen im Magnetfeld	125
			6.5 Wechselspannung und Wechselstrom	126
			6.6 Elektrische Energie, Leistung und Wirkungsgrad	127
			Methode: Mathematische Beschreibung der Wechselspannung	128
			6.7 Wechselstromkreis mit Kondensator oder Spule	130
			Methode: Mathematische Betrachtung des Wechselstromkreises	131
			Training: Wechselstromkreis und Transformator	137/138
	Energieübertragung: Transformator	<ul style="list-style-type: none"> • 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), 	Experiment: Messungen am Transformator	132
			6.8 Der Transformator	133
			Training: Wechselstromkreis und Transformator	137/138
		<ul style="list-style-type: none"> • erklären am physikalischen Modellexperiment zu Freileitungen technologische Prinzipien der Bereitstellung und Weiterleitung von elektrischer Energie (S1, S3, K8), • beurteilen ausgewählte Beispiele zur Energiebereitstellung und -umwandlung unter technischen und ökologischen Aspekten (B3, B6, K8, K10), 	Experiment: Modellexperiment zu Freileitungen	134
			6.9 Energieversorgung	135/136
		<ul style="list-style-type: none"> • erläutern qualitativ die bei einer elektromagnetischen Schwingung in der Spule und am Kondensator ablaufenden physikalischen Prozesse (S1, S4, E4), • interpretieren die mit einem Messwerterfassungssystem aufgenommenen Daten bei elektromagnetischen Induktions- und Schwingungsversuchen unter Rückbezug auf die experimentellen Parameter (E6, E7, K9), 	6.10 Der elektromagnetische Schwingkreis	139
			Experiment: Untersuchung eines Schwingkreises	140
			Methode: Vergleich von mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen	141
			Rückblick: Zusammenfassung	142
Klassische Wellen			7 Wellenmodell des Lichtes	

		<ul style="list-style-type: none"> • 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), • ordnen verschiedene Frequenzbereiche dem elektromagnetischen Spektrum zu (S1, K6), 	Experiment: Untersuchung von Licht am Doppelspalt 7.1 Interferenzen am Doppelspalt 7.2 Modelle des Lichtes 7.3 Die Geschwindigkeit des Lichtes Experiment: Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach Foucault 7.4 Übergang vom Doppelspalt zum optischen Gitter Experiment: Bestimmung der Wellenlänge von Licht Training: Lichtgeschwindigkeit und Interferenz an Doppelspalt und Gitter 7.9 Das Spektrum elektromagnetischer Strahlung	144 145/146 147/148 149 150 151 152 153/154 155/156
			Rückblick: Zusammenfassung	157
	Quantenobjekte		8 Quantenobjekte	
	Photon und Elektron als Quantenobjekte: Wellen- und Teilchenmodell Wellenaspekt von Elektronen: De-Broglie-Wellenlänge, Interferenz von Elektronen am Doppelspalt	<ul style="list-style-type: none"> • 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), • untersuchen mithilfe von Simulationen das Verhalten von Quantenobjekten am Doppelspalt (E4, E8, K6, K7), 	8.1 Quantenobjekte Experiment: Interferenz von Elektronen an einer Kohlenstoffschicht Methode: Mathematische Beschreibung der Elektronenbeugung 8.2 Interferenz von Elektronen Exkurs: Elektronen erzeugen Beugungsbilder 8.3 Wahrscheinlichkeitsinterpretation 8.4 Photonen – Quantenobjekte des Lichtes Training: Interferenz von Quantenobjekten	159 160 161 162 163 164 165 170
		<ul style="list-style-type: none"> • berechnen Energie und Impuls über Frequenz und Wellenlänge für Quantenobjekte (S3), • beurteilen an Beispielen die Grenzen und Gültigkeitsbereiche von Wellen- und Teilchenmodellen für Licht und Elektronen (E9, E11, K8). 	8.2 Interferenz von Elektronen	162

Teilchenaspekte von Photonen: Energiequantelung von Licht, Photoeffekt Photon und Elektron als Quantenobjekte: Wellen- und Teilchenmodell, Kopenhagener Deutung	<ul style="list-style-type: none"> • erklären an einer exemplarischen Darstellung die Wahrscheinlichkeitsinterpretation für Quantenobjekte (S1, K3), 	8.3 Wahrscheinlichkeitsinterpretation	164
	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern bei Quantenobjekten die „Welcher-Weg“-Information als Bedingung für das Auftreten oder Ausbleiben eines Interferenz-musters in einem Interferenzexperiment (S2, K4). 	8.5 Photonen im Interferometer Training: Interferenz von Quantenobjekten	166/167 170/171
	<ul style="list-style-type: none"> • leiten anhand eines Experiments zum Photoeffekt den Zusammenhang von Energie, Wellenlänge und Frequenz von Photonen ab (E6, S6), 	Experiment: Der Fotoeffekt 8.8 Licht löst Elektronen aus Exkurs: Geschichte des Fotoeffekts Training: Fotoeffekt	174/175 176/177 177 179
	<ul style="list-style-type: none"> • 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). 	Exkurs: Deutungen 8.11 Delayed-Choice-Experimente	181/182 183
		Rückblick: Zusammenfassung	184

Strahlung und Materie		9 Atomphysik	
Kern-Hülle-Modell Linienpektrum, Energieniveauschema	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern qualitativ den Aufbau eines Atomkerns aus Nukleonen (S1, S2), • stellen an der historischen Entwicklung der Atommodelle die spezifischen Eigenschaften und Grenzen naturwissenschaftlicher Modelle heraus (B8, E9), 	9.1 Atome	186/187
	<ul style="list-style-type: none"> • interpretieren die Messergebnisse des Franck-Hertz-Versuchs (E6, E8, K8), 	Experiment: Der Franck-Hertz-Versuch 9.2 Anregung und Ionisation von Atomen	188 189
	<ul style="list-style-type: none"> • erklären die Energie emittierter und absorbierter Photonen am Beispiel von Linienpekturen leuchtender Gase und Fraunhofer-scher Linien mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (S1, S3, E6, K4), • interpretieren die Bedeutung von Flammenfärbung und Linienpekturen bzw. Spektralanalyse für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E6, E10), 	Experiment: Untersuchung des Lichtes verschiedener Spektralröhren / Untersuchung des Sonnenlichtes Experiment: Flammenuntersuchungen 9.3 Spektraluntersuchungen Exkurs: Spektralanalyse in der Astronomie	190 191 191/192 193 194

	<ul style="list-style-type: none"> identifizieren vorhandene Stoffe in der Sonnen- und Erdatmosphäre anhand von Spektraltafeln des Sonnenspektrums (E3, E6, K1), 	9.4 Untersuchung von Wasserstoff Exkurs: Leistungen und Grenzen des Bohr'schen Atommodells Training: Atomvorstellung und Energiezustände	195 196/197
	<ul style="list-style-type: none"> 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), 	9.5 Das Modell des Potenzialtopfs 9.6 Das Wasserstoff-Atom Exkurs: Atome mit mehreren Elektronen Training: Wasserstoff-Atom	198 199/200 201 202/203
	<ul style="list-style-type: none"> erklären die Entstehung von Bremsstrahlung und charakteristischer Röntgenstrahlung (S3, E6, K4), erklären das charakteristische Röntgenspektrum mit den Energieniveaus der Atomhülle (E6), 	Experiment: Aufnahme von Röntgenspektren 9.7 Charakteristisches Röntgenspektrum Training: Röntgenspektren	204 205/206 207
		Rückblick: Zusammenfassung	208

	Strahlung und Materie		10 Kernphysik	
	Ionisierende Strahlung, Geiger-Müller-Zählrohr	<ul style="list-style-type: none">• 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),	10.1 Atomkerne	210
		<ul style="list-style-type: none">• unterscheiden α-, β-, γ-Strahlung, Röntgenstrahlung und Schwerionenstrahlung als Arten ionisierender Strahlung (S1),• erläutern den Aufbau und die Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs als Nachweisgerät für ionisierende Strahlung (S4, S5, K8),	10.2 Strahlung radioaktiver Stoffe 10.3 Nachweis der Radioaktivität mit dem Geiger-Müller-Zählrohr Experiment: Das Geiger Müller-Zählrohr Methode: Zählstatistik Exkurs. Detektoren Training: Strahlung radioaktiver Stoffe und Strahlungsnachweis	211 212/213 212 213 214 220
		<ul style="list-style-type: none">• untersuchen experimentell anhand der Zählraten bei Absorptionsexperimenten unterschiedliche Arten ionisierender Strahlung (E3, E5, S4, S5),• unterscheiden α-, β-, γ-Strahlung, Röntgenstrahlung und Schwerionenstrahlung als Arten ionisierender Strahlung (S1),	Experiment: Nachweis der verschiedenen Strahlungsarten 10.4 Eigenschaften ionisierender Strahlung	215 216 220

Zerfallsprozesse und Kernumwandlungen	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern den Begriff der Radioaktivität und zugehörige Kernumwandlungsprozesse auch mithilfe der Nuklidkarte (S1, S2), 	Training: Strahlung radioaktiver Stoffe und Strahlungsnachweis	
	<ul style="list-style-type: none"> • unterscheiden α-, β-, γ-Strahlung, Röntgenstrahlung und Schwerionenstrahlung als Arten ionisierender Strahlung (S1), • untersuchen experimentell anhand der Zählraten bei Absorptionsexperimenten unterschiedliche Arten ionisierender Strahlung (E3, E5, S4, S5), 	Experiment: Schwächung von γ -Strahlung 10.5 Schwächung von γ -Strahlung Methode: Theorie führt zu Gesetzen Training: Strahlung radioaktiver Stoffe und Strahlungsnachweis	217 218 218 219/220
	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern den Begriff der Radioaktivität und zugehörige Kernumwandlungsprozesse auch mithilfe der Nuklidkarte (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), 	10.6 Die Entstehung ionisierender Strahlung	221/222
	<ul style="list-style-type: none"> • 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), • ermitteln im Falle eines einstufigen radioaktiven Zerfalls anhand der gemessenen Zählraten die Halbwertszeit (E5, E8, S6), 	10.7 Radioaktiver Zerfall Methode: Modellexperimente zur Radioaktivität Exkurs: Altersbestimmung mit radioaktiven Stoffen Training: Entstehung radioaktiver Strahlung und radioaktiver Zerfall	223/224 225 226 227/228
Biologische Wirkungen	<ul style="list-style-type: none"> • bewerten die Bedeutung hochenergetischer Strahlung hinsichtlich der Gesundheitsgefährdung sowie ihres Nutzens bei medizinischer Diagnose und Therapie (B5, B6, K1, K10). • 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). 	10.8 Dosimetrische Größen 10.9 Strahlenbelastung des Menschen Exkurs: Moderne Physik – Moderne Medizin	229 230/231 232
Kernspaltung und -fusion	<ul style="list-style-type: none"> • erklären anhand des Zusammenhangs $E = \Delta m c^2$ die Grundlagen der Energiefreisetzung bei Kernspaltung und -fusion über den Massendefekt (S1). 	10.10 Energie aus dem Atomkern Exkurs: Leichtwasser-Kernreaktoren Exkurs: Nutzen und Risiken der Kernenergie Exkurs: Wissenschaft und Gesellschaft	233/234 235 236/237 238

	Nukleonen	<ul style="list-style-type: none"> • bewerten die Bedeutung hochenergetischer Strahlung hinsichtlich der Gesundheitsgefährdung sowie ihres Nutzens bei medizinischer Diagnose und Therapie (B5, B6, K1, K10). 	Training: Energie aus dem Atomkern und Kerntechnik	239/240
		<ul style="list-style-type: none"> • 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), 	10.11 Elementarteilchen	241-244
			Rückblick: Zusammenfassung	245

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
1 Elektrische Felder mögliche Erschließungsfragen/-themen: - <i>Wie funktioniert ein Laserdrucker?</i> - <i>Wie funktioniert eine Elektronenkanone?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 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), • 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 anhand einer einfachen Version des Millikan-Versuchs die grundlegenden Ideen und Ergebnisse zur Bestimmung der Elementarladung (S3, S5, E7, K9) <p>(Hinweis/Option: Der Millikan-Versuch lässt sich gut zusammen mit dem Fadenstrahlrohr bei Erkundung des Elektrons behandeln.)</p>	5.1 Ladung und elektrisches Feld	82
		5.1.2 Elektrostatik	84
		5.1.3 Elektrische Felder und ihre Darstellung	86
		5.1.4 Elektrische Feldstärke und Spannung	90
		5.1.5 Radialsymmetrisches Feld und Coulombsches Gesetz	93
		Methode: Überlagerung von Feldern	94
		5.1.6 Ladung und Feldstärke – die elektrische Feldkonstante ϵ_0	96
		5.2 Geladene Teilchen im E-Feld	98
		5.2.1 Die Elektronenkanone	98
		5.2.2 Bewegung im Querfeld	99
		5.2.3 Linearbeschleuniger	100
		5.2.4 Die Elementarladung – Millikan-Versuch	101
		▪ Ergänzungen / Anwendungen (optional):	
		5.1.1 Grundlagen einfacher Stromkreise	82
		Exkurs: Elektrostatisches Lackieren	89
		Exkurs: Gewitter	89
		Exkurs: Laserdrucker	89

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
2 Magnetfelder mögliche Erschließungsfragen/-themen: - <i>Wie gelangen wir zu Kenntnissen über das Elektron?</i> - <i>Wie funktionieren „Teilchenbeschleuniger“?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern die Bestimmung der Elektronenmasse am Beispiel des Fadenstrahlrohrs mithilfe der Lorentzkraft sowie die Erzeugung und Beschleunigung freier Elektronen (S4, S5, S6, E6, K5) • modellieren mathematisch Bahnformen geladener Teilchen in homogenen elektrischen und magnetischen Längs- und Querfeldern sowie in orthogonal gekreuzten Feldern (E1, E2, E4, S7), • stellen Hypothesen zum Einfluss der relativistischen Massenzunahme auf die Bewegung geladener Teilchen im Zyklotron auf (E2, E4, S1, K4), • bewerten Teilchenbeschleuniger in Großforschungseinrichtungen im Hinblick auf ihre Realisierbarkeit und ihren gesellschaftlichen Nutzen hin (B3, B4, K1, K7), • erläutern die Untersuchung magnetischer Flussdichten mithilfe des Hall-Effekts (E4, E7, S1, S5) • konzipieren Experimente zur Bestimmung der Abhängigkeit der magnetischen Flussdichte einer langgestreckten stromdurchflossenen Spule von ihren Einflussgrößen (E2, E5), 	6.1 Kraftwirkung des magnetischen Feldes	118
		6.1.1 Das magnetische Feld	118
		Exkurs: Magnetfeld der Erde	119
		6.1.2 Elektrischer Strom und Magnetfeld	120
		Methode: Feldlinien / Vektoren dreidimensional darstellen	121
		6.1.3 Stärke des Magnetfelds	122
		6.1.4 Die Lorentzkraft	124
		6.1.5 Die Masse geladener Teilchen	128
		6.1.6 Zyklotron und Synchrotron	132
		6.1.8 Hall-Effekt / Bestimmung der magnetischen Flussdichte	134
		6.2 Magnetfeld von Leiter und Spule	136
		6.2.1 Magnetfeld im Innern einer Spule	136
		▪ Ergänzungen / Anwendungen (optional):	
		6.2.2 Magnetfeld eines Leiters	136
		Exkurs: Wie funktioniert ein Joystick?	138
		Exkurs: Felder im Vergleich	139
		Methode: Das Vektorprodukt	123

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
3 Induktion mögliche Erschließungsfragen/-themen: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Wie funktioniert eine „Kurbeltaschenlampe“?</i> - <i>Wie lässt sich per Induktion eine hohe Spannung erzeugen?</i> - <i>Wie funktionieren Wirbelstrombremsen?</i> - <i>Wie kann elektrische Energie gewonnen und im Alltag bereits gestellt werden?</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • nutzen das Induktionsgesetz auch in differentieller Form unter Verwendung des magnetischen Flusses (S2, S3, S7), • begründen qualitative Versuche zur Lenz'schen Regel sowohl mit dem Wechselwirkungs- als auch mit dem Energiekonzept (E2, E9, K3). • führen die Funktionsweise eines Generators auf das Induktionsgesetz zurück (E10, K4), • erklären Verzögerungen bei Einschaltvorgängen sowie das Auftreten von Spannungstößen bei Ausschaltvorgängen mit der Kenngröße Induktivität einer Spule anhand der Selbstinduktion (S1, S7, E6), • identifizieren und beurteilen Anwendungsbeispiele für die elektromagnetische Induktion im Alltag (B6, K8). 	7.1 Phänomen Induktion	142
		7.1.1 Induktionsversuche	142
		7.1.2 Induktion und magnetischer Fluss	144
		Exkurs: Elektrische Wirbelfelder	146
		Methode: Induktionsphänomene mit einer Strukturierungshilfe erklären	146
		7.1.3 Induktion durch Änderung des Magnetfelds oder der Fläche	148
		7.1.4 Magnetischer Fluss und Induktionsgesetz	151
		7.1.6 Die lenzsche Regel	156
		7.1.7 Wirbelströme	160
		Exkurs: Lenzsche Regel und Energieerhaltung	162
		7.1.8 Selbstinduktion	163
		7.2 Wechselstrom und Energietransport	168
		7.2.1 Erzeugung einer Wechselspannung – der Generator	168
		▪ Ergänzungen / Anwendungen (optional):	
		7.1.5 Die Lorentzkraft als Ursache von Induktion	154
		7.2.2 Elektrische Leistung und Energie	171
		7.2.4 Der Transformator	174
		7.2.5 Fernleitung elektrischer Energie	178
		Exkurs: Öffentliche Energieversorgung – Drehstromnetz	184

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
4 Kondensator und Spule mögliche Erschließungsfragen/-themen: - <i>Wie speichern elektrische und magnetische Felder Energie und wie geben sie diese wieder ab?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 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), • geben die in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern gespeicherte Energie in Abhängigkeit der elektrischen Größen und der Kenngrößen der Bauelemente an (S1, S3, E2) • 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), 	5.3 Der Kondensator	102
		5.3.1 Der Kondensator als Ladungsspeicher	102
		Methode: Ladungsmessung Q – Bedeutung des Flächeninhalts unter t-I-Graphen	103
		5.3.2 Der Kondensator / das elektrische Feld als Energiespeicher	106
		Methode: Rechnen mit Einheiten	107
		5.3.3 Energie und Leistung	108
		5.3.4 Aufladen und Entladen eines Kondensators	110
		Methode: Datenauswertung – Modellierung einer Exponentialfunktion	112
		7.1.8 Selbstinduktion	163
		Methode: Induktivität L einer Spule aus der Änderungsrate der Stromstärke ermitteln	165

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
5 Schwingungen – mechanische und elektromagnetische mögliche Erschließungsfragen/-themen: - <i>Wie lang ist ein „Sekundenpendel“?</i> - <i>Wie hängt die Periodendauer T eines Fadenpendels von seiner Länge ab?</i> - <i>Resonanzkatastrophe</i> - <i>Wie gelingt es, elektrische Ladungen in einem Stromkreis hin und her schwingen zu lassen?</i> - <i>Auf dem Weg zum Radiosender</i>	<ul style="list-style-type: none"> • untersuchen experimentell die Abhängigkeit der Periodendauer und Amplitudenabnahme von Einflussgrößen bei mechanischen und elektromagnetischen harmonischen Schwingungen unter Anwendung digitaler Werkzeuge (E4, S4), (MKR 1.2) • erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen sowie deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit und deren Zusammenhänge (S1, S3, K4), • leiten für das Federpendel und unter Berücksichtigung der Kleinwinkelnäherung für das Fadenpendel aus dem linearen Kraftgesetz die zugehörigen Differentialgleichungen her (S3, S7, E2), • untersuchen experimentell am Beispiel des Federpendels das Phänomen der Resonanz auch unter Rückbezug auf Alltagssituationen, • beurteilen Maßnahmen zur Vermeidung von Resonanzkatastrophen, • 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), • ermitteln mithilfe der Differentialgleichungen und der Lösungsansätze für das ungedämpfte Fadenpendel, die ungedämpfte Feder-schwingung und den ungedämpften Schwingkreis die Periodendauer sowie die Thomsonsche Gleichung (S3, S7, E8), • unterscheiden am Beispiel von Schwingungen deduktives und induktives Vorgehen als Grundmethoden der Erkenntnisgewinnung 	1.1 Schwingungen	10
		1.1.1 Schwingungsvorgänge und Schwingungsgrößen	10
		Methode: Modellierung einer Potenzfunktion	12
		Methode: Nutzung automatischer Regression	12
		1.1.2 Periodendauern	13
		1.1.3 Die harmonische Schwingung	14
		Methode: Ableitung nach der Zeit	16
		Methode: Die Differentialgleichung der harmonischen Schwingung	18
		1.1.4 Die Energie der harmonischen Schwingung	19
		1.1.5 Energieabgabe – Dämpfung	20
		1.1.6 Energiezufuhr – erzwungene Schwingungen	22
		Exkurs: Der Einsturz der Tacoma-Brücke – eine Resonanzkatastrophe	23
		8.1 Elektrische Schwingungen	186
		8.1.1 Der Schwingkreis	186
		Methode: Herleitung der Thomsonschen Schwingungsgleichung	188
		■ Ergänzungen / Anwendungen (optional):	
		1.1.7 Überlagerung von Schwingungen	24
		8.1.2 Idee der Rückkopplung	190

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
6 Wellen und Interferenz mögliche Erschließungsfragen/-themen: - <i>Licht + Licht = Dunkelheit?</i> - <i>Wie lässt sich die Wellenlänge von Licht bestimmen?</i> - <i>Kleine Wegänderungen mit Lichtwellen messen</i> - <i>Warum kam es im 17. Jh. zu einem Streit über das Licht/die Natur des Lichts?</i> - <i>Ist für die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen ein Trägermedium notwendig?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen sowie deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit und deren Zusammenhänge (S1, S3, 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), • 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, • 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 • erläutern qualitativ die Entstehung eines elektrischen bzw. magnetischen Wirbelfelds bei B- bzw. E-Feldänderung und die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle (S1, K4). • beschreiben den Hertzschen Dipol als (offenen) Schwingkreis 	2.1 Wellenausbreitung	28
		2.1.1 Von Schwingungen zur Welle	28
		Exkurs: Die Wellengleichung	30
		2.1.2 Wellen in der Ebene und im Raum	31
		2.2 Eigenschaften von Wellen	36
		2.2.1 Überlagerung von Wellen	36
		2.2.2 Interferenz zweier Kreiswellen	38
		2.2.3 Doppelspalt statt zwei Sender	39
		2.2.4 Welleneigenschaften und die Modellvorstellung von Huygens	41
		2.2.5 Reflexion, stehende Wellen und Eigenschwingungen	44
		2.2.6 Stehende Longitudinalwellen	46
		Exkurs: Licht als elektromagnetische Welle	50
		3.1 Licht als Welle	51
		3.1.1 Beugung in der Wellenoptik	51
		3.1.2 Interferenz mit Doppelspalt & Gitter	52
		3.1.4 Polarisation von Licht	58
		3.2 Interferometer	62
		3.2.1 Michelson-Interferometer	62
		3.2.2 Mach-Zehnder-Interferometer	63
		8.2 Elektromagnetische Wellen	192
		8.2.1 Entstehung elektromagnetischer Wellen – Hertzscher Dipol	192
		Exkurs: Maxwell und Hertz: elektromagnetische Wellen	195

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
		▪ Ergänzungen / Anwendungen (optional):	
		2.1.3 Wellen bei Erdbeben	33
		2.1.4 Doppler-Effekt	34
		Exkurs: Messung der Geschwindigkeit von Blut	35
		Exkurs: Interferenz im Zeigermodell	40
		Exkurs: Musikinstrumente	47
		3.1.3 Einzelspalt und Interferenz	56
		3.3 Geschwindigkeit des Lichts	64
		3.3.1 Messung der Lichtgeschwindigkeit	64
		3.3.2 Die Brechzahl	66
		Exkurs: Interferenz mit Seifenhaut /dünnen Folien	66
		8.2.2 Elektromagnetisches Spektrum	194
		8.2.3 Modulation	195
		8.2.4 Eigenschaften elektromagnetischer Wellen (Mikrowellen)	196

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
7 Quantenobjekte mögliche Erschließungsfragen/-themen: <ul style="list-style-type: none"> - Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden? - Was meinte Einstein mit „Gott würfelt nicht?“ - Was ist Licht? - Wie funktioniert Quantenkryptographie? 	<ul style="list-style-type: none"> • erklären den Photoeffekt mit der Einstein'schen Lichtquantenhypothese (S1, S2, E3) • 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), • erklären experimentelle Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre mit den Welleneigenschaften von Elektronen (E3, E6), • stellen anhand geeigneter Phänomene dar, dass Licht sowohl Wellen- als auch Teilchencharakter aufweisen kann (S2, S3, E6, K8) • erklären am Beispiel von Elektronen die De-Broglie-Hypothese (S1, S3), • berechnen Energie und Impuls über Frequenz und Wellenlänge für Quantenobjekte (S3), 	9.1 Eigenschaften von Licht	202
		9.1.1 Der Lichtelektrische Effekt	202
		9.1.2 Lichtquantenhypothese	204
		9.1.3 Energie von Fotoelektronen	205
		9.1.4 Impuls eines Photons	208
		9.2 Materie und Interferenz	210
		9.2.1 Doppelspalt und Elektronen	210
		9.2.2 Elektronenbeugung	211
	<ul style="list-style-type: none"> • modellieren qualitativ das stochastische Verhalten von Quantenobjekten am Doppelspalt bei gleichzeitiger Determiniertheit der Zufallsverteilung mithilfe der Eigenschaften der Wellenfunktion • 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). • beurteilen die Problematik der Übertragbarkeit von Begriffen aus der Anschauungswelt auf Quantenobjekte (B1, K8), • erklären bei Quantenobjekten anhand des Delayed-Choice-Experiments unter Verwendung der Koinzidenzmethode das Auftreten oder Verschwinden eines Interferenzmusters mit dem Begriff der 		
		9.3 Experimente mit einzelnen Quantenobjekten	214
		9.3.1 Wahrscheinlichkeiten	214
		9.3.2 Doppelspaltversuch mit einzelnen Quantenobjekten	216
		9.3.3 Wellenfunktion für Elektronen & Dichtewolken	218
		9.3.4 Tunneleffekt	222
		9.3.5 Schrödingers Katze	223
		9.3.6 Welcher-Weg-Information & Komplementarität	224
		9.3.7 Die Unbestimmtheitsrelation	228
		9.3.8 Verschränkte Zustände	230
		9.3.9 Delayed-Choice-Versuche	232

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
	<p>Komplementarität (S1, S5, E3, K3),</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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). 	9.3.10 Datenübermittlung mit polarisierten Photonen	234

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
8 Atomphysik mögliche Erschließungsfragen/-themen: - <i>Wieso emittieren leuchtende Gase Licht diskreter Wellenlängen?</i> - <i>Wie funktioniert Lumineszenz?</i> - <i>Woraus besteht die Sonne?</i> - <i>Woher stammen unsere Kenntnisse über den Aufbau von Atomen?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 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), • interpretieren Linienspektren bei Emission und Absorption sowie die Ergebnisse des Franck-Hertz-Versuchs mithilfe des Energieniveauschemas (E2, E10, S6), 	Erkunden & Einsteigen	251
		11.1 Entwicklung der Vorstellungen vom Atom	252
		11.1.1 Historische Modelle	252
		Exkurs :Was ist ein Modell?	253
	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern das Modell des eindimensionalen Potentialtopfs und seine Grenzen (S2, K4), • beschreiben die Energiewerte für das Wasserstoffatom und wasserstoffähnliche Atome mithilfe eines quantenphysikalischen Atommodells (S2), • 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), • stellen an der historischen Entwicklung der Atommodelle die spezifischen Eigenschaften und Grenzen naturwissenschaftlicher Modelle heraus (B8, E9) 	11.1.2 Quantenhafte Emission und Absorption	254
		11.1.3 Franck-Hertz-Versuch	258
		11.1.4 Diskrete Energieniveaus	260
		11.1 Atommodell der Quantenphysik	262
		11.2.1 Linearer Potentialtopf	262
		11.2.2 Ψ bei Wasserstoff	264
		11.2.3 Atome mit mehreren Elektronen	267
	<ul style="list-style-type: none"> • erklären die Entstehung von Bremsstrahlung und charakteristischer Röntgenstrahlung (S3, E6, K4), • beschreiben den Aufbau und die Funktionsweise der Röntgenröhre (S1), • interpretieren das Auftreten der kurzwelligen Grenze des 	11.3 Anwendungen	269
		11.3.1 Röntgenstrahlung	269
		11.3.3 Lumineszenz (Anwendung zu 1.1.2)	273
		▪ Ergänzungen / Anwendungen (optional):	

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
	Bremsstrahlungsspektrums (E6, S1),	11.3.2 Der Laser - Funktionsprinzip	272

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
9a Kerne und Teilchen mögliche Erschließungsfragen/-themen: <ul style="list-style-type: none"> - Was bedeutet „radioaktiv“? - Was ist α-, β-, γ-Strahlung? - Was ist „Kernenergie“? - Wie funktioniert ein Kernkraftwerk? - Wie lässt sich mit Kernfusion Energie gewinnen? 	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern qualitativ den Aufbau eines Atomkerns aus Nukleonen (...) (S1, S2, K3), • beschreiben natürliche Zerfallsreihen sowie künstlich herbeigeführte Kernumwandlungsprozesse (Kernspaltung und -fusion, Neutroneneinfang) auch mithilfe der Nuklidkarte (S1), • ordnen verschiedene Frequenzbereiche dem elektromagnetischen Spektrum zu (S1, K6), • unterscheiden α-, β-, γ-Strahlung, Röntgenstrahlung und Schwerionenstrahlung als Arten ionisierender Strahlung (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), • bestimmen mithilfe des Zerfallsgesetzes das Alter von Materialien mit der C-14-Methode (E4, E7, S7, K1), • konzipieren Experimente zur Bestimmung der Halbwertszeit kurzlebiger radioaktiver Substanzen (E2, E5, S5), • quantifizieren mit der Größe der effektiven Dosis die Wirkung ionisierender Strahlung und bewerten daraus abgeleitete Strahlenschutzmaßnahmen (E8, S3, B2). • wägen die Chancen und Risiken bildgebender Verfahren in der Medizin unter Verwendung ionisierender Strahlung gegeneinander ab (B1, B4, K3) 	Erkunden & Einsteigen	277
		12.1 Strahlung und Kernaufbau	278
		12.1.1 Ionisierende Strahlung	278
		12.1.2 Aufbau eines Atomkerns	280
		12.1.3 Arten der Kernumwandlung	282
		12.2 Ionisierende Strahlung	286
		12.2.1 Quellen	286
		12.2.2 Das Zerfallsgesetz	288
		Methode: C-14-Methode	292
		12.2.3 Abstand und Abschirmung	294
		12.2.4 Strahlenmessgrößen	296
		12.2.5 Biologische Wirkung	299

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
9b Kerne und Teilchen	<ul style="list-style-type: none"> • erläutern den Aufbau und die Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs als Nachweisgerät ionisierender Strahlung (S4, S5, K8), • wählen für die Planung von Experimenten mit ionisierender Strahlung zwischen dem Geiger-Müller-Zählrohr und einem energiesensiblen Detektor gezielt aus (E3, E5, S5, S6), • beschreiben Kernspaltung und Kernfusion mithilfe der starken Wechselwirkung zwischen den Nukleonen auch unter quantitativer Berücksichtigung von Bindungsenergien (S1, S2) • 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) 	12.2.6 Zählung und Energiemessung	302
		12.3.1 Massendifferenz und Energie	306
		12.3.2 Kernspaltung & Kernfusion	308
		12.3.3 Kernreaktor	310

Unterrichtssequenz	Kompetenzen (Die Schüler/-innen ...)	Thema im Lehrwerk	Seite
9c Elementarteilchen	<ul style="list-style-type: none"> • 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), • erläutern qualitativ an der β^--Umwandlung die Entstehung der Neutrinos mithilfe der schwachen Wechselwirkung und ihrer Austauscheteilchen (S1, S2, K4). 	13.1 Elementarteilchen – Konzepte und Ideen	317