



ZSL

Zentrum für Schulqualität
und Lehrerbildung
Baden-Württemberg

Bildungsplan 2016 Gymnasium – Physik

Überarbeitete Fassung vom 25.03.2022 (V2)

Jahresplanung für das Basisfach mit Schwerpunkt Quantenphysik

Klassen 11/12

Juni 2022

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort zu den Jahresplanungen	3
2. Exemplarische Jahresplanung.....	4
2.1 Themenbereiche mit Stundenverteilung	4
3. Exemplarische Unterrichtssequenzen	4
3.1 „Elektrische und magnetische Felder“	4
3.1.1 Didaktische Überlegungen	4
3.1.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	5
3.2 Themenbereich „Elektrodynamik“	11
3.2.1 Didaktische Überlegungen	11
3.2.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	11
3.3 Themenbereich „Schwingungen“	15
3.3.1 Didaktische Überlegungen	15
3.3.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	15
3.5 Themenbereich „Wellen“	17
3.5.1 Didaktische Überlegungen	17
3.5.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	17
3.4 Themenbereich „Wellenoptik“	20
3.4.1 Didaktische Überlegungen	20
3.4.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	20
3.5 Themenbereich „Quantenphysik und Materie“	22
3.5.1 Didaktische Überlegungen	22
3.5.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	22

1. Vorwort zu den Jahresplanungen

Um die Funktion von Jahresplanungen zu verstehen, ist eine Verortung im Gesamtkontext der Angebote, die den Bildungsplan 2016 flankieren, sinnvoll. Dies wird im Folgenden durch eine Begriffsdefinition und -abgrenzung zentraler Termini vorgenommen (vgl. hierzu auch <https://km-bw.de/Kultusministerium,Lde/Startseite/Schule/Neue+Seite+ +Glossar>).

Bildungsstandards sind Vorgaben, die definieren, welche Kompetenzen Schülerinnen und Schüler zu einem festgelegten Zeitpunkt erreicht haben müssen. Sie werden überwiegend im Zweijahresrhythmus ausgewiesen.

- Das **Kerncurriculum** umfasst die Summe der verbindlichen Inhalte der baden-württembergischen Bildungsstandards, die in 3/4 der zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit zu erreichen sind.
- Das **Schulcurriculum** umfasst 1/4 der zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit, z. B. zur Vertiefung und Erweiterung der Vorgaben der baden-württembergischen Bildungsstandards.
- Die **Beispielcurricula** bis Klasse 10, die flankierend zum baden-württembergischen Bildungsplan 2016 entwickelt wurden, stellen auf dem Bildungsplan basierende Beispiele von Kerncurricula dar; Ideen und Impulse für die Anbindung an das Schulcurriculum sind - sofern vorhanden - ergänzend ausgewiesen. Beispielcurricula zeigen somit eine Möglichkeit auf, wie aus dem Bildungsplan unterrichtliche Praxis werden kann. Sie erheben hierbei keinen Anspruch einer normativen Vorgabe, sondern dienen vielmehr als beispielhafte Vorlage zur Unterrichtsplanung und -gestaltung, indem sie exemplarisch darlegen, wie der im Bildungsplan vorgesehene Kompetenzaufbau innerhalb einer Standardstufe im Unterricht umgesetzt werden kann.
- Die hier vorliegenden **Jahresplanungen** für die Kursstufe zeigen Möglichkeiten auf, wie die im Bildungsplan für die Kursstufe beschriebenen inhalts- und prozessbezogene Kompetenzen sinnvoll angelegt und vernetzt werden können.

Diese Kompetenzen werden dabei konkreten Themenbereichen und Inhalten zugeordnet und ein zeitlicher Rahmen wird jeweils für die Themenbereiche vorgeschlagen. Umsetzungsideen geben einen Einblick, wie diese Inhalte im Unterricht konkret umgesetzt werden könnten.

2. Exemplarische Jahresplanung

2.1 Themenbereiche mit Stundenverteilung

Themenbereich	Inhalt	UStd.
Elektromagnetischer Felder	3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder	27
	3.4.2.2. Elektrodynamik	15
Schwingungen und Wellen	3.4.3 Schwingungen	18
	3.4.4 Wellen	27
	3.4.5 Wellenoptik	13
Quantenmechanik	3.4.6 Quantenphysik und Materie	28
		128

3. Exemplarische Unterrichtssequenzen

3.1 „Elektrische und magnetische Felder“

3.1.1 Didaktische Überlegungen

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen die Struktur statischer elektrischer und magnetischer Felder. Die Betrachtung der Superposition elektrischer und magnetischer Felder erfolgt zeichnerisch. Darüber hinaus vergleichen sie die Struktur des magnetischen und des elektrischen Feldes.

Zentrale Anwendung bei elektrischen Feldern ist der Kondensator. Auf- und Entladevorgänge von Kondensatoren werden experimentell untersucht und mit Hilfe der Exponentialfunktion mathematisch beschrieben. Hier bieten sich digitale Messwerterfassung und Modellbildung an.

Kenntnisse aus der Mechanik der Mittelstufe finden ihre Anwendung bei der Beschreibung der Bewegung geladener Teilchen in elektrischen Feldern. Alternativ zum hier dargestellten Unterrichtsgang kann die Betrachtung der Bewegung von geladenen Teilchen in elektrischen Feldern auch im Anschluss an die Einführung des magnetischen Feldes erfolgen.

3.1.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

Prozessbezogene Kompetenzen	Inhaltsbezogene Kompetenzen	Unterrichtsverlauf	Bemerkungen
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben 2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>1. zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung unterscheiden</p>	<p>3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder</p> <p>(1) die Struktur elektrischer und magnetischer Felder beschreiben (Feldbegriff, Feldlinien, homogenes Feld, elektrisches Radialfeld, Dipolfeld, Superposition von Feldern)</p>	<p>Stunden: 3</p> <p>Grundlagen der Elektrostatik: Untersuchung experimentell, Beschreibung modellhaft auf atomarer Ebene</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ positive und negative Ladungen ▪ Kräfte zwischen geladenen Körpern ▪ Ladungsverschiebung durch bewegte Elektronen (Influenz und Polarisation) 	<p>Bemerkung</p> <p>Phänomene können ggf. in Form von Schülerexperimenten untersucht werden</p> <p>dabei Wiederholung aus der Elektrizitätslehre der Mittelstufe:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Strom als fließende Ladung ▪ Ladungsmenge im I-t-Diagramm <p>Hinweis: Elektrostatik und elektrisches Feld sind häufig nicht im Rahmen der Mittelstufe unterrichtet worden.</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren</p>	<p>3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder</p> <p>(1) die Struktur elektrischer und magnetischer Felder beschreiben (Feldbegriff, Feldlinien, homogenes Feld, elektrisches Radialfeld, Dipolfeld, Superposition von Feldern)</p> <p>3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen der Physik</p> <p>(2) die Funktion von Modellen in der Physik erläutern (unter anderem anhand der Modellvorstellungen von Licht und Materie)</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Einführung des elektrischen Feldes als Kraftfeld analog zur Einführung des Magnetfeldes in der Mittelstufe</p> <p>Beschreibung elektrischer Felder mit Hilfe von Feldlinien</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Regeln für die Darstellung des Feldes im Feldlinienmodell ▪ homogenes Feld ▪ radiales Feld einer Punktladung ▪ Feld eines Dipols, Quellen und Senken 	<p>Bemerkung</p> <p>Aufgreifen des Feldbegriffs aus der Mittelstufe</p> <p>Veranschaulichung zum Beispiel im Experiment mit Grießkörner in Öl oder in Simulationen</p> <p>Mögliche Vertiefung: Faraday'scher Käfig</p>

<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen</p> <p>6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen [...]</p> <p>7. aus proportionalen Zusammenhängen Gleichungen entwickeln</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern ([...] unbekannte Formeln)</p> <p>6. Sachinformationen und Messdaten aus einer Darstellungsform entnehmen und in andere Darstellungsformen überführen</p>	<p>3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder</p> <p>(1) die Struktur elektrischer und magnetischer Felder beschreiben ([...] Superposition von Feldern)</p> <p>(2) den Zusammenhang zwischen der Kraftwirkung auf eine Probeladung und der elektrischen Feldstärke beschreiben ([...])</p> <p>(7) charakteristische Größen eines Plattenkondensators berechnen, ([...])</p> <p>3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen der Physik</p> <p>(1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment, Bestätigung beziehungsweise Widerlegung)</p>	<p>Stunden: 4</p> <p>Elektrische Feldstärke:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kraftwirkung auf Probeladung $E = \frac{F_{el}}{q}$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ Superposition von elektrischen Feldern zweier Punktladungen als Addition der Feldstärkevektoren. ▪ elektrische Feldstärke eines Plattenkondensators: $E = \frac{U}{d}$	<p>Bemerkung</p> <p>Elektrische Feldstärke experimentell über Kraftwirkung auf elektrische Ladung ermitteln (zum Beispiel mittels Digitalwaage oder empfindlicher Kraftsensor)</p> <p>Formel $E = \frac{U}{d}$ experimentell (zum Beispiel mittels Digitalwaage oder Elektrofeldmeter) ermitteln alternativ als unbekannte Formel einführen und interpretieren lassen, (siehe 2.2 Kommunikation (2) „[...] unbekannte Formel [...]“)</p> <p>Mögliche Vertiefungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Elektrische Spannung und elektrisches Potential ▪ Schülerexperimente zum Potential und Aufnahme von Äquipotentiallinien
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen</p>	<p>3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder</p> <p>(3) die Bewegung geladener Teilchen parallel und senkrecht zu einem homogenen elektrischen Feld qualitativ beschreiben und hierbei ihre Kenntnisse aus der Mechanik anwenden (Newton'sche Prinzipien, potentielle und</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Beschleunigung geladener Teilchen im homogenen elektrischen Feld längs der Feldlinien:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Energieerhaltungssatz ▪ Einheit eV ▪ beschleunigte Bewegung 	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Vertiefungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Millikan-Versuch ▪ Anwendungen (Braun'sche Röhre, Teilchenbeschleuniger in Medizin und Teilchenphysik)

	kinetische Energie, Energieerhaltungssatz, Bahnformen qualitativ)	Bewegungen geladener Teilchen in homogenen elektrischen Querfeldern: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Überlagerung von Bewegungen ▪ Parabelbahn ▪ Elektronenablenkröhre 	Mögliche Variante: Unterrichtseinheit zu Teilchen in Feldern zusammen mit den Inhalten aus 3.4.2.1 (5) und (6)
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen [...]</p> <p>7. aus proportionalen Zusammenhängen Gleichungen entwickeln</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern (Ursache-Wirkungs-Aussagen, unbekannte Formeln)</p>	<p>3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder</p> <p>(7) charakteristische Größen eines Plattenkondensators berechnen, ([...]) und technische Anwendungen beschreiben (zum Beispiel Standlicht beim Fahrrad)</p>	<p>Stunden: 3</p> <p>Kondensator und Kapazität:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kapazität $C = \frac{Q}{U}$ experimentell ermitteln ▪ Kapazität eines Plattenkondensators $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$ experimentell ermitteln ▪ Einführung der elektrischen Feldkonstante ▪ Einfluss von Dielektrika (Polarisation) 	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Vertiefungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schülerpraktikum Kondensator im Selbstbau ▪ Recherche: Verschiedene Bauformen von Kondensatoren und ihre Einsatzbereiche ▪ Technische Anwendung: kapazitive Sensoren (zum Beispiel Füllstands- und Beschleunigungssensoren)
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen</p>	<p>3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment [...])</p> <p>3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder</p> <p>(7) charakteristische Größen eines Plattenkondensators berechnen, ([...]) und technische Anwendungen beschreiben (zum Beispiel Standlicht beim Fahrrad)</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Kondensator als Energiespeicher:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ $E_{Kond} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$ ▪ Technische Anwendungen von Kondensatoren als Energiespeicher z.B. in Fahrradlampen 	<p>Bemerkung</p> <p>Möglich ist eine deduktive bzw. induktive Herleitung</p>

<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen</p> <p>5. Messwerte auch digital erfassen und auswerten (unter anderem Messwerterfassungssystem [...])</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern (Ursache-Wirkungs-Aussagen, unbekannte Formeln)</p> <p>5. physikalische Experimente, Ergebnisse und Erkenntnisse – auch mithilfe digitaler Medien – dokumentieren (Skizzen, Beschreibungen, Tabellen, Diagramme und Formeln)</p>	<p>3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder</p> <p>8) den zeitabhängigen Aufladevorgang und Entladevorgang eines Kondensators anhand von I-t-Diagrammen qualitativ erläutern und den Entladevorgang mit Hilfe der Exponentialfunktion mathematisch beschreiben sowie den Einfluss der Parameter Widerstand und Kapazität beschreiben</p>	<p>Stunden: 3</p> <p>Auf- und Entladevorgänge von Kondensatoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Auf- und Entladekurven von $U(t)$ und $I(t)$ am Kondensator ▪ Variation von C und R ▪ mathematische Darstellung der Kurven mittels Exponentialfunktion 	<p>Bemerkung</p> <p>Schülerexperimente auch mit Messwert-erfassungssystemen</p> <p>Mögliche Vertiefung:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Annäherung von Messkurven durch Exponentialfunktion
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben</p>	<p>3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder</p> <p>(1) die Struktur elektrischer und magnetischer Felder beschreiben (Feldbegriff, Feldlinien, homogenes Feld, elektrisches Radialfeld, Dipolfeld, Superposition von Feldern)</p>	<p>Stunden: 1</p> <p>Grundlagen Magnetismus</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Magnetpole, Anziehung und Abstoßung ▪ Beschreibung magnetischer Felder verschiedener Permanentmagnete (Feldlinien) ▪ Homogenes Feld des Hufeisenmagneten <p>Felder stromdurchflossener Leiter:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ gerader Leiter ▪ Leiterschleife, Spule ▪ Handregel 	<p>Bemerkung</p> <p>Wiederholung der Grundlagen aus der Mittelstufe, denkbar in Gruppenarbeit mit Präsentation.</p> <p>Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu elektrischen Feldern sollten betrachtet werden.</p>

<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen</p> <p>5. Messwerte auch digital erfassen und auswerten (unter anderem Messwert-erfassungssystem, Tabellenkalkulation)</p> <p>7. aus proportionalen Zusammenhängen Gleichungen entwickeln</p>	<p>3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment [...])</p> <p>3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder</p> <p>(4) den Zusammenhang zwischen der Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen Leiter und der magnetischen Flussdichte beschreiben (magnetische Flussdichte, \vec{B}, $F = B \cdot I \cdot s$, Messung von Flussdichten)</p> <p>(1) die Struktur elektrischer und magnetischer Felder beschreiben ([...] Superposition von Feldern)</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Magnetische Flussdichte</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kraft auf stromdurchflossenen Leiter (zum Beispiel Leiterschaukel in Hufeisenmagnet) ▪ Drei-Finger-Regel ▪ Induktive Einführung der magnetischen Flussdichte ($F \sim I \cdot s$) ▪ Kraft zwischen zwei parallelen Leitern anhand der Superposition der magnetischen Felder 	<p>Bemerkung</p> <p>Kraftwirkung auf stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld experimentell ermitteln (zum Beispiel mittels Digitalwaage oder empfindlicher Kraftsensor)</p> <p>Mögliche Vertiefung:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Elektromotor als lehrreiche Vertiefung zur Anwendung der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>3. Experimente zur Überprüfung von Hypothesen planen (unter anderem vermutete Einflussgrößen getrennt variieren)</p> <p>4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen</p> <p>5. Messwerte auch digital erfassen und auswerten (unter anderem Messwert-erfassungssystem, Tabellenkalkulation)</p> <p>Hypothesenbildern</p> <p>7. aus proportionalen Zusammenhängen Gleichungen entwickeln</p>	<p>3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder</p> <p>(9) Charakteristische Größen einer schlanken Spule berechnen $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n}{l} \cdot I$, $E_{Spule} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$</p>	<p>Stunden: 3</p> <p>Magnetisches Feld einer schlanken Spule:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Experimenteller Nachweis der Homogenität des magnetischen Feldes im Inneren einer Spule ▪ Messreihen mit Hallsonde (Variation von n, l und I) ▪ Magnetische Feldkonstante ▪ Materie im Magnetfeld (relative Permeabilität) $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot I \cdot \frac{n}{l}$	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Schülerexperimente: Messung der Flussdichte mit Hallsonde an verschiedenen Spulen; weitere Messungen (zum Beispiel Außenfeld, Erdmagnetfeld) auch mit Smartphone möglich.</p> <p>Hinweis: Die Hallsonde wird als Magnetfeldsensor verwendet, die Funktion kann später als Vertiefung nach Einführung der Lorentzkraft erklärt werden.</p>

<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen^[1]_{SEP}</p> <p>8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern (Ursache-Wirkungs-Aussagen, unbekannte Formeln)</p>	<p>3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment [...])</p> <p>3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder</p> <p>(5) die Kraftwirkung auf eine elektrische Ladung in einem Magnetfeld erläutern (Lorentzkraft, Drei-Finger-Regel [...])</p> <p>(6) die Bewegung geladener Teilchen senkrecht zu einem homogenen Magnetfeld qualitativ beschreiben und hierbei ihre Kenntnisse aus der Mechanik anwenden (Newton'sche Prinzipien, Bahnformen qualitativ)</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Bewegung geladener Teilchen senkrecht zu homogenen Magnetfeldern</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lorentzkraft $F_L = q \cdot v \cdot B$ mit Drei-Finger-Regel ▪ Kreisbahn im Magnetfeld (Lorentzkraft als Zentripetalkraft) ▪ Fadenstrahlrohr, e/m-Bestimmung 	<p>Bemerkung</p> <p>Wiederholung: Kreisbewegung, Zentripetalkraft</p> <p>Mögliche Vertiefungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Anwendungen in Ringbeschleunigern und Zyklotron ▪ inhomogene Felder, Polarlichter ▪ Erklärung des Hall-Effekts anhand der Lorentzkraft (Hall-Konstante) ▪ Massenspektrograph
--	--	---	--

3.2 Themenbereich „Elektrodynamik“

3.2.1 Didaktische Überlegungen

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen das Phänomen der elektromagnetischen Induktion basierend auf ihrem Wissen aus der Mittelstufe. Die Lenz'sche Regel ergibt die Polung der Induktionsspannung bzw. die Stromrichtung und kann zur Erklärung viele Phänomene herangezogen werden. Mit Hilfe des Faraday'schen Induktionsgesetzes erläutern sie technische Anwendungen. Ein- und Ausschaltvorgänge in Stromkreisen mit Spulen können zum Beispiel mittels Messwerterfassungssystemen untersucht werden.

3.2.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

Prozessbezogene Kompetenzen	Inhaltsbezogene Kompetenzen	Unterrichtsverlauf	Bemerkungen
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>3. sich über physikalische Erkenntnisse und deren Anwendungen unter Verwendung der Fachsprache und fachtypischer Darstellungen austauschen ([...])</p> <p>2.3 Bewertung</p> <p>1. bei Experimenten relevante von nicht relevanten Einflussgrößen unterscheiden</p>	<p>3.4.2.2 Elektrodynamik</p> <p>(1) mithilfe der Lorentzkraft erklären, dass in einem Leiter, der senkrecht zu einem Magnetfeld bewegt wird, eine Spannung bzw. ein elektrischer Strom induziert wird</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Grundlagen Induktion (phänomenologisch):</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schlüssel-Experiment: Bewegung der Leiterschaukel im Magnetfeld aufgrund eines Stromflusses → Induktionsspannung aufgrund der Bewegung einer Leiterschaukel im Magnetfeld ▪ Wechselspannung bei schwingender Leiterschaukel ▪ Spulen-Experimente zur Untersuchung der Ursache einer Induktionsspannung → U_{ind} solange sich das von der Spule umfasste Magnetfeld ändert ▪ Experimente zur Untersuchung der Abhängigkeiten der Induktionsspannung → Windungszahl, Stärke der Magnetfeld Änderung, Dauer der 	<p>Bemerkung</p> <p>Wiederholung der Grundlagen aus der Mittelstufe, denkbar zum Beispiel in Gruppenarbeit mit Präsentation oder Stationenlernen.</p> <p>Schrittweise werden aufgrund der experimentellen Beobachtungen die Aussagen zur Ursache und Stärke der Induktionswirkung präzisiert.</p>

		<p>Magnetfeldänderung, Querschnittsfläche der Spule, Eisenkern in der Spule</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Evtl. Vorzeichen der Induktionsspannung 	
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>3. Experimente zur Überprüfung von Hypothesen planen (unter anderem vermutete Einflussgrößen getrennt variieren)</p> <p>6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen (auch mithilfe digitaler Werkzeuge)</p>	<p>3.4.2.2 Elektrodynamik</p> <p>(2) das Faraday'sche Induktionsgesetz untersuchen und beschreiben ([...])</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Induktion durch Magnetfeldänderung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ quantitative Untersuchung (Induktionsspule und felderzeugende Spule) führt zu $U_{ind} \sim n \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$ <p>Möglichkeit der Erklärung des Effekts mit elektrischen Wirbelfeldern (zum Beispiel mit Versuch zu Ringentladung oder Thomson'schen Ring)</p>	<p>Bemerkung</p> <p>Hinweis zur Reihenfolge: Alternativ kann mit der Untersuchung der "Induktion durch Flächenänderung" begonnen werden.</p> <p>Je nach Aufbau besteht die lehrreiche Möglichkeit zur Vertauschung der Induktions- und felderzeugenden Spule.</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>3. Experimente zur Überprüfung von Hypothesen planen (unter anderem vermutete Einflussgrößen getrennt variieren)</p> <p>6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen (auch mithilfe digitaler Werkzeuge)</p>	<p>3.4.2.2 Elektrodynamik</p> <p>(2) das Faraday'sche Induktionsgesetz untersuchen und beschreiben ([...])</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Induktion durch Änderung der vom Magnetfeld durchsetzten Fläche</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Erklärung mit Lorentzkraft zum Beispiel an einem bewegten Leiter auf Schienen senkrecht zum Magnetfeld (hier ist die Gleichung $U_{ind} = B \cdot d \cdot v$ möglich) ▪ quantitative Untersuchung (bewegter Spulenrahmen) führt zu $U_{ind} \sim n \cdot B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t}$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ Orientierung der Fläche senkrecht zum Magnetfeld oder Projektion 	<p>Bemerkung</p> <p>Zur Motivation der "Induktion durch Flächenänderungen" sind Freihandexperimente möglich zum Beispiel Zusammenziehen einer Leiterschleife im Magnetfeld eines Hufeisenmagneten bzw. bewegte, lange Leiterschleife im Erdmagnetfeld.</p>

<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern (Ursache-Wirkungs-Aussagen, unbekannte Formeln)</p>	<p>3.4.2.2 Elektrodynamik</p> <p>(2) das Faraday'sche Induktionsgesetz untersuchen und beschreiben ([...])</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Induktionsgesetz:</p> <ul style="list-style-type: none"> Übergang von $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ zu \dot{A} und von $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ zu \dot{B} und entsprechend Zusammenführung $U_{ind} \sim n \cdot (\dot{A}B)$, magnetischer Fluss $\Phi = A \cdot B$ Lenz'sche Regel (zum Beispiel mittels bewegtem Leiter oder mittels Thomson'schen Ring-Versuch) Begründung des Vorzeichens $U_{ind} = -n \cdot \dot{\Phi}$ und Richtung der elektrischen Wirbelfelder 	<p>Bemerkung</p> <p>Verknüpfung zur Mathematik: Produktregel</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben 13. ihr physikalisches Wissen anwenden [...]</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>7. in unterschiedlichen Quellen recherchieren, Erkenntnisse sinnvoll strukturieren, sachbezogen und adressatengerecht aufbereiten sowie unter Nutzung geeigneter Medien präsentieren</p> <p>2.3 Bewertung</p> <p>9. Technologien auch unter sozialen, ökologischen und ökonomischen Aspekten diskutieren</p>	<p>3.4.2.2 Elektrodynamik</p> <p>(4) technische Anwendungen des Induktionsgesetzes qualitativ beschreiben (zum Beispiel Generator, Transformator, Induktionsladegerät, Induktionskochplatte)</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Elektrische Wirbelströme:</p> <ul style="list-style-type: none"> als Vertiefung zur Lenz'schen Regel Anwendungen (zum Beispiel Wirbelstrombremse, Induktionskochfeld) <p>Weitere Anwendungen der Induktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> Generator (Erzeugung sinusförmiger Wechselspannung) Transformator, Induktionsladegerät 	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliches Stationenlernen zu technischen Anwendungen oder Recherche/Textarbeit in Gruppen</p>

<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>5. Messwerte auch digital erfassen und auswerten (unter anderem Messwerterfassungssystem, Tabellenkalkulation)</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern (Ursache-Wirkungs-Aussagen [...])</p> <p>4. physikalische Vorgänge und technische Geräte beschreiben (zum Beispiel zeitliche Abläufe, kausale Zusammenhänge)</p> <p>5. physikalische Experimente, Ergebnisse und Erkenntnisse – auch mithilfe digitaler Medien – dokumentieren (Skizzen, Beschreibungen, Tabellen, Diagramme und Formeln)</p>	<p>3.4.2.2 Elektrodynamik</p> <p>(3) Selbstinduktionseffekte an einem Beispiel beschreiben (Induktivität, $U_{ind} = L \cdot \dot{I}$)</p> <p>3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder</p> <p>9) Charakteristische Größen einer schlanken Spule berechnen ($B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n}{l} \cdot I$, $E_{Spule} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$)</p>	<p>Stunden: 5</p> <p>Selbstinduktion, Induktivität von Spulen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ $U_{ind} = -L \cdot \dot{I}$ ▪ Induktivität einer schlanken Spule $L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot n^2 \cdot \frac{A}{l}$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ Energie im Magnetfeld einer Spule $E_{Spule} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$ <p>Selbstinduktion bei Ein- und Ausschaltvorgängen in Stromkreisen mit Spulen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ I-t-Diagramme und U-t-Diagramme 	<p>Bemerkung</p> <p>Möglich ist der Einsatz von Messwerterfassungssystemen zur Untersuchung von Ein- und Ausschaltvorgängen</p> <p>Mögliche Vertiefungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mathematische Beschreibung der Kurven des Ein- und Ausschaltvorgangs mittels Exponentialfunktion ▪ Bestimmung von L und R aus den Diagrammen
---	---	--	--

3.3 Themenbereich „Schwingungen“

3.3.1 Didaktische Überlegungen

Die Schülerinnen und Schüler entwickeln ihre Modellvorstellungen zunächst an mechanischen Schwingungen und wenden ihre Kenntnisse anschließend auf elektromagnetische Schwingungen an.

3.3.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

Prozessbezogene Kompetenzen	Inhaltsbezogene Kompetenzen	Unterrichtsverlauf	Bemerkungen
2.1 Erkenntnisgewinnung 1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben	3.4.3 Schwingungen (1) Schwingungen experimentell aufzeichnen und mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen als zeitlich periodische Bewegungen um eine Gleichgewichtslage beschreiben und klassifizieren, (Auslenkung $s(t)$, Amplitude \hat{s} , Periodendauer T , Frequenz f , Kreisfrequenz ω)	Stunden: 2 Beschreibung periodischer Bewegungen: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Beispiele periodischer Bewegungen ▪ Auslenkung, Amplitude ▪ Periodendauer, Frequenz ▪ (harmonische) Schwingung einer Stimmgabel 	Bemerkung Wiederholung: aus der Akustik bekannte Begriffe
2.1 Erkenntnisgewinnung 1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben	3.4.3 Schwingungen (1) Schwingungen experimentell aufzeichnen mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen als zeitlich periodische Bewegungen um eine Gleichgewichtslage beschreiben und klassifizieren ([...]) (2) ungedämpfte harmonische Schwingungen mathematisch beschreiben [...]	Stunden: 5 Beschreibung einer ungedämpften harmonischen Schwingung (hier gezeigt am Beispiel des vertikalen Federpendels): <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufnahme eines Auslenkungs-Zeit-Diagramms $s(t)$ ▪ Zeigerdarstellung (Vergleich mit Kreisbewegung) ▪ $s(t) = \hat{s} \cdot \sin(\omega t)$ ▪ Beschreibung der Energieumwandlungen 	Bemerkung Anknüpfung an die Mechanik der Mittelstufe: <ul style="list-style-type: none"> ▪ $a(t) = \dot{v}(t) = \ddot{s}(t)$ ▪ $F = m \cdot a$

<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen</p> <p>8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>5. physikalische Experimente, Ergebnisse und Erkenntnisse – auch mithilfe digitaler Medien – dokumentieren (Skizzen, Beschreibungen, Tabellen, Diagramme und Formeln)</p>	<p>3.4.3 Schwingungen</p> <p>(3) den Zusammenhang zwischen <i>harmonischen</i> mechanischen <i>Schwingungen</i> und <i>linearer Rückstellkraft</i> an Beispielen beschreiben</p> <p>(4) die Schwingung eines Federpendels erklären ($T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$) und die auftretenden Energieumwandlungen beschreiben</p>	<p>Stunden: 6</p> <p>harmonische Schwingungen qualitativ erklären (vertikales Federpendel):</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Unterscheidung Federdehnung und Auslenkung, Gleichgewichtslage ▪ Rückstellkraft ▪ Schwingungs-Differentialgleichung $\ddot{s}(t) = -\frac{D}{m} \cdot s(t)$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ Periodendauer $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ Energieumwandlung am Federpendel 	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Schülerexperimente: Messwerterfassung an einem Federpendel mit verschiedenen Sensoren (Kraftsensor, Beschleunigungssensor, Abstandssensor)</p> <p>Mögliche Vertiefungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Weitere Schülerexperimente: Digitale Endgeräte als Fadenpendel ▪ Phänomene zur erzwungenen Schwingung und Resonanz (z.B. Videos zur Tacoma-Bridge und zur Bodenresonanz beim Hubschrauber)
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>10. Analogien beschreiben und zur Lösung von Problemstellungen nutzen</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>4. physikalische Vorgänge [...] beschreiben (zum Beispiel zeitliche Abläufe, kausale Zusammenhänge)</p>	<p>3.4.3 Schwingungen</p> <p>(5) die Schwingung in einem elektromagnetischen Schwingkreis erklären und die auftretenden Energieumwandlungen beschreiben</p> <p>(6) anhand eines Federpendels und eines elektromagnetischen Schwingkreises Gemeinsamkeiten und Unterschiede von mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen erläutern</p>	<p>Stunden: 5</p> <p>Vorgänge beim elektromagnetischen Schwingkreis beschreiben und erklären</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufnahme von $U(t)$ und $I(t)$ am Schwingkreis ▪ Erklärung der Vorgänge auf Basis der Induktion ▪ Energieumwandlungen elektromagnetischer Schwingungen ▪ Gemeinsamkeiten und Unterschiede von elektromagnetischem Schwingkreis und Federpendel 	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Schülerexperimente mit Messwerterfassungssystemen</p>

3.5 Themenbereich „Wellen“

3.5.1 Didaktische Überlegungen

Die Schülerinnen und Schüler entwickeln ihre Modellvorstellungen zunächst an mechanischen Wellen und übertragen ihre Kenntnisse anschließend auf elektromagnetische Wellen. Sie erkennen, dass mit dem Huygens'schen Prinzip grundlegende Wellenphänomene erklärt werden können. Im Vordergrund der Betrachtungen stehen Transversalwellen, an geeigneten Beispielen erkennen die Schülerinnen und Schüler aber auch die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu Longitudinalwellen.

3.5.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

Prozessbezogene Kompetenzen	Inhaltsbezogene Kompetenzen	Unterrichtsverlauf	Bemerkungen
2.1 Erkenntnisgewinnung 1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben	3.4.4 Wellen (1) Wellen mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen beschreiben (Wellenlänge λ , Ausbreitungsgeschwindigkeit, $c = \lambda \cdot f$ [...]) (2) grundlegende Wellenphänomene beschreiben ([...] Energietransport) und in Alltagssituationen erkennen (zum Beispiel Meereswellen [...])	Stunden: 2 Grundlagen: Eigenschaften und Größen an Beispielen einführen, insb. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Periodendauer ▪ Wellenlänge ▪ Ausbreitungsgeschwindigkeit ▪ Welle als Kette von gekoppelten Oszillatoren (Energietransport ohne Materietransport) 	Bemerkung Phänomenologische Einführung anhand von Wasserwellen, la-Ola-Wellen (mit Schülern), Freihandexperimenten ("Slinky"), Wellenmaschine etc. Hinweis: Eine selbstgebaute Wellenmaschine kann über die gesamte Unterrichtseinheit eingesetzt werden (mit Klebeband, Holzspießen und Fruchtgummis). Genauso ist der Einsatz von Simulationen, Apps auf digitalen Endgeräten (zum Beispiel Geogebra) über die gesamte Unterrichtseinheit lehrreich.
2.1 Erkenntnisgewinnung 8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen	3.4.4 Wellen (1) Wellen mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen beschreiben (Wellenlänge, Ausbreitungsgeschwindigkeit, $c = \lambda \cdot f$	Stunden: 3 Mathematische Beschreibung einer linearen harmonischen Welle <ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschreibung der Wellenausbreitung mit dem Zeigermodell. 	Bemerkung Mögliche Vertiefungen bzw. Anwendungen: Wellenarten

	[...]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge und Frequenz ▪ s-t-Diagramm und s-x-Diagramm ▪ Strecken Δs und Phasendifferenz $\Delta\varphi$ 	(Longitudinal- und Transversalwelle) sowie longitudinale und transversale Erdbebenwellen
2.1 Erkenntnisgewinnung 1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben	3.4.4 Wellen (1) Wellen mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen beschreiben ([...] Polarisation) (2) grundlegende Wellenphänomene beschreiben (Beugung, Reflexion, Brechung, Interferenz [...]) und in Alltagssituationen erkennen (zum Beispiel Meereswellen [...])	Stunden: 2 Eigenschaften von Wellen und Wellenphänomene <ul style="list-style-type: none"> ▪ Beugung ▪ Reflexion (am festen und losen Ende, Phasensprung) ▪ Polarisation ▪ Überlagerung von Wellen 	Bemerkung Hinweis: Beeindruckend sind Beugungserscheinungen von Tsunamis auf Ozeanen (Animationen von Satellitendaten) Reflexion und Überlagerung mit "Slinky" Mögliche Vertiefung: Wellenphänomene am Beispiel von Schallwellen
2.1 Erkenntnisgewinnung 6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen [...]	3.4.4 Wellen (3) eindimensionale stehende Wellen beschreiben und als Interferenzphänomen erklären (Bäuche, Knoten, Eigenfrequenzen, Stellen konstruktiver beziehungsweise destruktiver Interferenz, Reflexion an festen beziehungsweise losen Enden, Wellenlängenbestimmung mittels Knotenabstand)	Stunden: 6 Stehende Wellen: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Eindimensionale stehende Wellen als Überlagerung zweier fortschreitender Wellen gleicher Frequenz (zum Beispiel mit "Slinky") ▪ Wellenbäuche und Wellenknoten, Wellenlängenbestimmung mittels Knotenabstand ▪ Eindimensionale stehende Wellen bei Reflexion einer fortschreitenden Welle ▪ Bedingungen für stehende Wellen auf Wellenträger der Länge L bei unterschiedlichen Enden ▪ Unterschiede und Gemeinsamkeiten von fortschreitenden und stehenden Wellen 	Bemerkung Einstiegsexperiment mit "Slinky" Hinweis: Simulationen Mögliche Vertiefung: Eigenfrequenz und Resonanz bei Musikinstrumenten (evtl. Chladni'sche Klangfiguren) Mögliche Vertiefungen anhand stehender Longitudinalwellen bei der Schallausbreitung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kundt'sches Rohr ▪ Schwingende Luftsäule auf Wasseroberfläche

<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben 11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären [...]</p>	<p>3.4.4 Wellen</p> <p>(2) grundlegende Wellenphänomene beschreiben (Beugung, Reflexion, Brechung, [...]) [...] (5) grundlegende Wellenphänomene mithilfe des Huygens'schen Prinzips erklären (zum Beispiel Beugung, Reflexion)</p>	<p>Stunden: 3</p> <p>Huygens'sches Prinzip</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wellen auf einem zweidimensionalen Wellenträger (zum Beispiel Wasseroberfläche): Wellenfront und Wellennormale ▪ Elementarwellen und Einhüllende ▪ Anwendungen: zum Beispiel Beugung, Reflexion 	<p>Bemerkung</p> <p>Klassische Wellenwanne, Simulationen, Apps auf digitalen Endgeräten etc.</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen [...]</p>	<p>3.4.4 Wellen</p> <p>(4) mithilfe des Gangunterschieds die Überlagerung zweidimensionaler kohärenter Wellen qualitativ beschreiben</p>	<p>Stunden: 7</p> <p>Interferenzphänomene in der Ebene</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gangunterschied, Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz ▪ Gangunterschied und Phasendifferenz (Formel) 	<p>Bemerkung</p> <p>Geeignet sind Freihandexperimente zum Einstieg (Zonen destruktiver Interferenz) bzw. Experiment mit zwei Lautsprechern</p> <p>Mögliche Vertiefung: Konstruktion des Interferenzfeldes und Energieverteilung im Interferenzfeld</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren</p>	<p>3.4.4 Wellen</p> <p>(1) Wellen mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen beschreiben ([...], Polarisation)</p> <p>(8) das elektromagnetische Spektrum im Überblick beschreiben</p>	<p>Stunden: 4</p> <p>Elektromagnetische Wellen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lichtgeschwindigkeit ▪ Polarisation ▪ Experimente zur Beugung am Einzelspalt und Doppelspalt, zur Polarisation, zu stehenden Wellen ▪ Elektromagnetisches Spektrum im Überblick 	<p>Bemerkung</p> <p>Geeignet sind Experimente mit Mikrowellen und Dezimeterwellen</p> <p>Mögliche Vertiefung: Erzeugung elektromagnetischer Wellen mittels eines Hertz'schen Dipols</p>

3.4 Themenbereich „Wellenoptik“

3.4.1 Didaktische Überlegungen

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen optische Interferenzphänomene und beschreiben diese mithilfe des Modells der elektromagnetischen Welle. Sie können ihre Erkenntnisse auch auf Alltagsphänomene anwenden.

3.4.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

Prozessbezogene Kompetenzen	Inhaltsbezogene Kompetenzen	Unterrichtsverlauf	Bemerkungen
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>9. zwischen realen Erfahrungen und konstruierten, idealisierten Modellvorstellungen unterscheiden [...]</p> <p>11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren</p> <p>2.3 Bewertung</p> <p>4. Grenzen physikalischer Modelle an Beispielen erläutern</p> <p>8. Chancen und Risiken von Technologien mithilfe ihres physikalischen Wissens bewerten</p>	<p>3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(3) die Funktion von Modellen in der Physik erläutern [...]</p> <p>3.4.5 Wellenoptik</p> <p>(1) kohärentes Licht als elektromagnetische Welle beschreiben (unter anderem Lichtgeschwindigkeit)</p> <p>(2) das Strahlenmodell und das Wellenmodell des Lichts miteinander vergleichen (Gültigkeitsbereich des Strahlenmodells: zum Beispiel Beugung an einer Blende, Dispersion)</p>	<p>Stunden: 3</p> <p>Einführung in die Wellenoptik:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einstiegsexperiment: Einzelspaltbeugung ▪ Begriffsbildungen: Strahlenoptik, Wellenoptik, Ausblick zur Quantenoptik; Gültigkeitsgrenzen ▪ Lichtquellen: thermisches Licht, Laser-Licht; Kohärenz 	<p>Bemerkung</p> <p>Einstiegsexperiment: Bau eines Einzelspalts mit Objektträger, Aluminiumfolie, Cutter-Messer, Kleber; Kerzenlicht als polychromatische Lichtquelle</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>12. Sachtexte mit physikalischem Bezug sinnennehmend lesen</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>4. physikalische Vorgänge und technische Geräte beschreiben (zum Beispiel</p>	<p>3.4.5 Wellenoptik</p> <p>(1) kohärentes Licht als elektromagnetische Welle beschreiben (unter anderem Lichtgeschwindigkeit)</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recherche zu Experimenten zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit und Vergleich historischer und moderner Versuchsaufbauten 	<p>Bemerkung</p> <p>Gruppenarbeit mit Präsentation</p>

<p>zeitliche Abläufe, kausale Zusammenhänge) 7. in unterschiedlichen Quellen recherchieren, Erkenntnisse sinnvoll strukturieren, sachbezogen und adressatengerecht aufbereiten sowie unter Nutzung geeigneter Medien präsentieren</p> <p>2.3 Bewertung</p> <hr/> <p>11. historische Auswirkungen physikalischer Erkenntnisse beschreiben</p>			
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <hr/> <p>4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen</p> <p>6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen [...]</p> <p>2.3 Bewertung</p> <hr/> <p>7. Risiken und Sicherheitsmaßnahmen bei Experimenten und im Alltag mithilfe ihres physikalischen Wissens bewerten</p>	<p>3.4.5 Wellenoptik</p> <hr/> <p>(1) kohärentes Licht als elektromagnetische Welle beschreiben (unter anderem Lichtgeschwindigkeit)</p> <p>(3) die Struktur der Interferenzmuster und der Intensitätsverteilung bei Beugung an Doppelspalt und Gitter beschreiben</p> <p>(4) die Lage von Interferenzminima beziehungsweise Interferenzmaxima bei ausgewählten Beugungsvorgängen in Fernfeldnäherungen berechnen (Maxima beim Doppelspalt, Hauptmaxima beim Gitter)</p> <p>(5) die Spektralzerlegung des Lichts polychromatischer Lichtquellen als Interferenzphänomen erklären und am Doppelspalt oder Gitter experimentell untersuchen</p>	<p>Stunden: 8</p> <hr/> <p>Doppelspalt und Gitter:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Doppelspalt-Experiment nach Young ▪ Analyse des Interferenzmusters: Lage der Intensitätsmaxima und Intensitätsminima (Fernfeld- und Kleinwinkelnäherung) ▪ Bestimmung der Wellenlänge von roten, grünen und blauem Laser-Licht ▪ Gitter: Analyse des Interferenzmusters: Lage der Hauptmaxima der Intensität; Anzahl der Hauptmaxima ▪ Zerlegung von weißem Licht mit einem Gitter: <p>Wellenlängenabhängigkeit des Beugungswinkels und Überlagerung der Spektren</p>	<p>Bemerkung</p> <hr/> <p>Sicherheitshinweise Laser-Licht beachten</p> <p>Erstmalige Bestimmung der Wellenlänge von Licht</p> <p>Mögliches Schüler-Praktikum: Strukturanalyse einer CD-ROM, DVD und Blue-ray</p> <p>Mögliche Vertiefungen: Recherche in Gruppenarbeiten zu Wellenphänomenen im Alltag: Strukturfarben in der Biologie (zum Beispiel Schmetterling), Interferenz an dünnen Schichten im Alltag (Ölfilm, Seifenblasen), Polarisation im Alltag (Sonnenbrillen, Blitzer, Farben des Himmels)</p>

3.5 Themenbereich „Quantenphysik und Materie“

3.5.1 Didaktische Überlegungen

Die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass jegliche klassische Modellvorstellung zur vollständigen und widerspruchsfreien Beschreibung des Verhaltens von Quantenobjekten wie Photonen und Elektronen versagen. Insbesondere stellen sie fest, dass quantenphysikalische Erkenntnisse und Experimente vertraute Konzepte und Begriffe (Determinismus, Kausalität, Bahnbegriff) in Frage stellen. Sie beschreiben das Verhalten von Quantenobjekten unter anderem mithilfe von Wahrscheinlichkeitsaussagen. Die Schülerinnen und Schüler verbinden die Beobachtung von Linienspektren mit der Struktur der Atomhülle. Sie verwenden den Photonenbegriff zur Erklärung von Emissions- und Absorptionsspektren von Atomen.

Alternative Reihenfolgen zum hier dargestellten Unterrichtsgang sind selbstverständlich möglich. Beispielsweise könnte der Einstieg in die Quantenphysik auch anhand von Materiewellen, d.h. anhand der Elektronenbeugung erfolgen. Unabhängig von der Reihenfolge sollte beachtet werden, dass im Bereich der Quantenphysik verhältnismäßig wenig Experimente im Unterricht durchgeführt werden können. Entsprechend sollte auf die wenigen zur Verfügung stehenden Experimente nicht verzichtet werden.

3.5.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

Prozessbezogene Kompetenzen	Inhaltsbezogene Kompetenzen	Unterrichtsverlauf	Bemerkungen
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>9. zwischen realen Erfahrungen und konstruierten, idealisierten Modellvorstellungen unterscheiden [...] 11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>1. zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung unterscheiden 3. sich über physikalische Erkenntnisse und deren Anwendungen unter Verwendung der Fachsprache und</p>	<p>3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment [...])</p> <p>3.4.6 Quantenphysik und Materie</p> <p>(7) [...] messbare Eigenschaften von Objekten der klassischen Physik bereits vor ihrer Messung real vorliegen und dass der Wert der Messung unabhängig davon ist, ob überhaupt gemessen wurde [...]</p>	<p>Stunden: 1</p> <p>Eigenschaften physikalischer Systeme der klassischen Physik:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Größenordnungen physikalischer Systeme im Überblick (von der Planck-Skala zur Ausdehnung des Universums) ▪ Kausalitäts-Prinzip ▪ Klassischer Bahnbegriff und Determinismus der klassischen Physik ▪ Lokalität und Realität im Rahmen der klassischen Physik (Sichtweise der klassischen Physik: "real ist, was man messen kann") 	<p>Bemerkung</p> <p>Die Schülerinnen und Schüler werden sich der bisher unbewusst verwendeten Begriffe und Konzepte der klassischen Physik bewusst u.a. Kausalität und Determinismus. Möglich ist die Verwendung des Begriffs des "lokalen Realismus" der klassischen Physik.</p>

<p>fachtypischer Darstellungen austauschen ([...])</p>	<p>(8) [...] räumlich getrennte Objekte eines zusammengesetzten Systems aus Objekten der Klassischen Physik alle ihre messbaren Eigenschaften unabhängig voneinander besitzen [...]</p>		
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <hr/> <p>2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen 12. Sachtexte mit physikalischem Bezug sinnentnehmend lesen</p> <p>2.3 Bewertung</p> <hr/> <p>1. bei Experimenten relevante von nicht relevanten Einflussgrößen unterscheiden 4. Grenzen physikalischer Modelle an Beispielen erläutern 11. historische Auswirkungen physikalischer Erkenntnisse beschreiben</p>	<p>3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <hr/> <p>(3) die Bedeutung von Naturkonstanten beschreiben [...]</p> <p>3.4.6 Quantenphysik und Materie</p> <hr/> <p>(5) den lichtelektrischen Effekt beschreiben und anhand der Einstein'schen Lichtquantenhypothese erklären (Hallwachs-Effekt, Einstein'sche Gleichung [...], Planck'sche Konstante h) (6) [...] wie sich Quantenobjekte anhand ihrer Energie und anhand ihres Impulses beschreiben lassen [...]</p>	<p>Stunden: 6</p> <hr/> <p>Lichtelektrischer Effekt:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualitative Betrachtung des lichtelektrischen Effekts ▪ Eigenschaften des lichtelektrischen Effekts und seine Unvereinbarkeit mit den Gesetzen der klassischen Physik ▪ Quantitative Analyse des lichtelektrischen Effekts (Fotозelle und Messmethoden) und Einstein-Gleichung, Planck'sche Konstante ▪ Lichtquantenhypothese von Einstein, Photonenbegriff, Photonenimpuls 	<p>Bemerkung</p> <hr/> <p>Lehrreich ist die Lektüre der entsprechenden Absätze in Einsteins Artikel.</p> <p>Mögliche Vertiefung zum Photonenimpuls: Compton-Effekt.</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <hr/> <p>2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen 11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren</p>	<p>3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <hr/> <p>(3) die Funktion von Modellen in der Physik erläutern [...]</p> <p>3.4.6 Quantenphysik und Materie</p> <hr/> <p>(6) [...] wie sich Quantenobjekte anhand ihrer Energie und anhand ihres Impulses beschreiben lassen ([...], de Broglie-Wellenlänge von Materiewellen) (1) Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Verhaltens von klassischen Wellen, klassischen Teilchen und</p>	<p>Stunden: 3</p> <hr/> <p>Materiewellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ de Broglie Hypothese ▪ Elektronenbeugung am Graphit-Kristall (qualitativ) ▪ Doppelspaltexperimente (quantitativ) von Elektronen, Neutronen, C-60 Molekülen, Positronen etc. 	<p>Bemerkung</p> <hr/> <p>Gedankenexperimente zur Wellenlänge von makroskopischen Körpern</p>

	Quantenobjekten am Doppelspalt beschreiben		
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen 11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>1. zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung unterscheiden 4. physikalische Vorgänge [...] beschreiben ([...] kausale Zusammenhänge)</p> <p>2.3 Bewertung</p> <p>3. Hypothesen anhand der Ergebnisse von Experimenten beurteilen 4. Grenzen physikalischer Modelle an Beispielen erläutern</p>	<p>3.4.6 Quantenphysik und Materie</p> <p>(1) Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Verhaltens von klassischen Wellen, klassischen Teilchen und Quantenobjekten am Doppelspalt beschreiben (2) [...] wie für Quantenobjekte der Determinismus der klassischen Physik durch Wahrscheinlichkeitsaussagen ersetzt wird (3) Experimente zur Interferenz einzelner Quantenobjekte anhand von Wahrscheinlichkeitsaussagen beschreiben und den Ausgang der Experimente erklären (4) am Beispiel des Doppelspaltexperiments beschreiben, dass Quantenobjekte zwar stets Wellen- und Teilcheneigenschaften aufweisen, sich diese aber nicht unabhängig voneinander beobachten lassen. Sie können dies anhand der Interferenzfähigkeit und der Welcher-Weg-Information bei einzelnen Quantenobjekten erläutern (Komplementarität)</p>	<p>Stunden: 6</p> <p>Simulationen zu Experimenten mit Quantenobjekten am Doppelspalt (Taylor-Experiment)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Unterschiede zwischen klassischen Wellen und Quantenobjekten anhand der Beobachtungen beschreiben. ▪ Beschreibung und Interpretation der Beobachtungen anhand von Wahrscheinlichkeitsaussagen 	<p>Bemerkung</p> <p>Simulationen zum Doppelspaltexperiment können als Schülerexperimente eingesetzt werden zur individuellen Auseinandersetzung mit den Phänomenen Hinweis: Beim Taylor-Experiment sollten die Schülerinnen und Schüler Hypothesen aufstellen, wie sich klassische Wellen und wie sich klassische Teilchen verhalten würden (→ Quantenobjekte verhalten sich weder wie klassische Wellen noch wie klassische Teilchen).</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen</p>	<p>3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Realität und Lokalität</p>	<p>Bemerkung</p> <p>Hinweis: Betrachtet man statt doppelbrechender Kristalle atomare</p>

	<p>grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment [...])</p> <p>3.4.6 Quantenphysik und Materie</p> <p>(7) [...] messbare Eigenschaften von Objekten der klassischen Physik bereits vor ihrer Messung real vorliegen und dass der Wert der Messung unabhängig davon ist, ob überhaupt gemessen wurde. Sie können beschreiben, dass diese Aussage für Quantenobjekte im Allgemeinen nicht gilt (Realität, zum Beispiel bei verschränkten Photonen)</p> <p>(8) [...] räumlich getrennte Objekte eines zusammengesetzten Systems aus Objekten der Klassischen Physik alle ihre messbaren Eigenschaften unabhängig voneinander besitzen. Sie können beschreiben, dass diese Aussage für Quantenobjekte im Allgemeinen nicht gilt (Realität, zum Beispiel bei verschränkten Photonen)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vergleich von zwei unabhängigen Photonen und zwei verschränkten Photonen ▪ Realität und Lokalität in klassischer Physik und Quantenphysik 	<p>Photonenkaskaden (zum Beispiel in Kalzium-Atomen) können die Schülerinnen und Schüler die Erzeugung verschränkter Photonen verstehen.</p> <p>Mögliche Vertiefung: Simulationen zur Verschränkung und Kryptographie</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben</p> <p>8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen</p> <p>2.3 Bewertung</p> <p>4. Grenzen physikalischer Modelle an Beispielen erläutern</p>	<p>3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment [...])</p> <p>(3) die Funktion von Modellen in der Physik erläutern [...]</p> <p>3.4.6 Quantenphysik und Materie</p> <p>(9) Linienspektren von Atomen als Übergänge zwischen diskreten</p>	<p>Stunden: 10</p> <p>Atomphysik</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nichtphysikalische Atomvorstellung u.a. Atombegriff der Antike, Atomvorstellungen der Chemie (Periodensystem der Elemente nach Mendelejew und Meyer) ▪ Rutherford'sches Atommodell, Streuexperimente von Geiger und Marsden, Streuexperimente zur Erforschung der Struktur der Materie ▪ Emissions- und Absorptionsspektren 	<p>Bemerkung</p> <p>Hinweis: Die Emissionsspektren verschiedener Elemente können experimentell bestimmt werden, bei hinreichender Ausstattung auch im Rahmen von Schülerexperimenten.</p>

	<p>Energieniveaus beschreiben und in einem Energieniveauschema veranschaulichen (Absorption, Emission, Bohr'sche Frequenzbedingung, Energiewerte des Wasserstoffatoms (10) unterschiedliche atomare Modellvorstellungen im Überblick beschreiben (Rutherford'sches Atommodell, Orbitale des Wasserstoffatoms)</p>	<ul style="list-style-type: none">▪ Linienspektrum von atomarem Wasserstoff, Balmer-Serie▪ Energieniveauschema (Übergänge zwischen Energieniveaus)▪ Rydberg-Formel, Bohr'sche Frequenzbedingung, Energiewerte des Wasserstoffatoms▪ Wasserstoffähnliche Atome	<p>Erfolgreiche Modellbildungen der Atome bzw. Moleküle müssen die experimentell beobachteten Linienspektren reproduzieren.</p>
--	---	--	---