



ZSL

Zentrum für Schulqualität
und Lehrerbildung
Baden-Württemberg

Bildungsplan 2016 Gymnasium – Physik

Überarbeitete Fassung vom 25.03.2022 (V2)

Jahresplanung für das Leistungsfach

Klassen 11/12

Juni 2022

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort zu den Jahresplanungen	4
2. Exemplarische Jahresplanung.....	5
2.1 Themenbereiche mit Stundenverteilung	5
3. Exemplarische Unterrichtssequenzen	5
3.1 Themenbereich „Elektrische Felder“	5
3.1.1 Didaktische Überlegungen	5
3.1.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	6
3.2 Themenbereich „Magnetisches Feld“	11
3.2.1 Didaktische Überlegungen	11
3.2.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	11
3.3 Themenbereich „Elektrodynamik“	14
3.3.1 Didaktische Überlegungen	14
3.3.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	14
3.4 Themenbereich „Schwingungen“	19
3.4.1 Didaktische Überlegungen	19
3.4.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	19
3.5 Themenbereich „Wellen“	23
3.5.1 Didaktische Überlegungen	23
3.5.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	23
3.5 Themenbereich „Wellenoptik“	27
3.5.1 Didaktische Überlegungen	27
3.5.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	27
3.6 Themenbereich „Quantenphysik und Materie“	30
3.6.1 Didaktische Überlegungen	30
3.6.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz	30

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	3.6.2.1 Elektrische Felder	36
	3.6.2.2 Magnetische Felder	21
	3.6.2.3 Elektrodynamik	29
Schwingungen und Wellen	3.6.3 Schwingungen	25
	3.6.4 Wellen	29
	3.6.5 Wellenoptik	20
Quantenmechanik	3.6.6 Quantenphysik und Materie	47
		207

3. Exemplarische Unterrichtssequenzen

3.1 Themenbereich „Elektrische Felder“

3.1.1 Didaktische Überlegungen

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen und erläutern die Ursache sowie die Struktur statischer elektrischer Felder. Sie sind in der Lage, homogene Felder auch quantitativ zu beschreiben. Die Betrachtung der Superposition elektrischer Felder erfolgt im Allgemeinen zeichnerisch, im Falle senkrechter und paralleler Felder auch rechnerisch. 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>3.6.2.1 elektrisches Feld</p> <p>(1) Kraftwirkungen zwischen elektrisch geladenen Körpern beschreiben (3) Verhalten von Materie im elektrischen Feld</p>	<p>Stunden: 4</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>3.6.2.1 elektrisches Feld</p> <p>(2) die Struktur elektrischer Felder beschreiben (Feldbegriff, Feldlinien, homogenes Feld, radiales Feld einer Punktladung, Feld eines Dipols, Quelle und Senke [...])</p>	<p>Stunden: 3</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>3.6.2.1 elektrisches Feld</p>	<p>Stunden: 4</p> <p>Elektrische Feldstärke:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kraftwirkung auf Probeladung 	<p>Bemerkung</p> <p>Elektrische Feldstärke experimentell über Kraftwirkung auf elektrische Ladung</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>(4) Zusammenhang zwischen der Kraftwirkung auf eine Probeladung und der elektrischen Feldstärke</p> <p>(5) elektrische Feldstärke eines Plattenkondensators</p>	$E = \frac{F_{el}}{q}$ <ul style="list-style-type: none"> elektrische Feldstärke eines Plattenkondensators: $E = \frac{U}{d}$	<p>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>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen</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>3.6.2.1 elektrisches Feld</p> <p>(1) [...] Coulomb’sches Gesetz [...]</p>	<p>Stunden: 3</p> <p>Radialfeld, Coulomb’sches Gesetz</p> $F_{el} = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$ <p>mit $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$</p> <ul style="list-style-type: none"> Proportionalitäten experimentell ermitteln oder vorgeben k als zunächst unbekannter Faktor 	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Vertiefung: Vergleich von Gravitationsgesetz und Coulomb-Gesetz</p> <p>Mögliche Vertiefung: Eine sinnvolle Alternative besteht in der Einführung der elektrischen Feldkonstante anhand der Flächenladungsdichte ($\sigma = \epsilon_0 \cdot E$). Auf diese Weise ergibt sich die Möglichkeit, das Coulomb-Gesetz im Rahmen einer deduktiven Betrachtung einzuführen.</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p>	<p>3.6.2.1 elektrisches Feld</p>	<p>Stunden: 5</p>	<p>Bemerkung</p>

<p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben 4. Experimente durchführen und auswerten 10. Analogien beschreiben [...]</p>	<p>(9) Zusammenhang zwischen Spannung und Potential (Äquipotentiallinien) (10) Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen elektrischen Feldern und Gravitationsfeldern</p>	<p>Elektrische Spannung und elektrisches Potential: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vergleich der potentiellen Energie im homogenen Gravitationsfeld und im homogenen elektrischen Feld ▪ potentielle Energie in Radialfeldern ▪ elektrischen Potential ($\varphi = \frac{E_{\text{pot}}}{q}$) ▪ Zusammenhang zwischen elektrischem Potential und elektrischer Spannung <p>Äquipotentiallinien: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Erstellung von Äquipotentiallinienbildern für homogene Felder, Dipolfeld, Radialfeld ▪ Analogie zwischen Äquipotentiallinien im elektrischen Feld und Höhenlinien im Gravitationsfeld ▪ Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen elektrischen Feldern und Gravitationsfeldern </p> </p>	<p>Wiederholung: übertragene Energie $\Delta E = F_s \cdot \Delta s$</p> <p>Erweiterung des Spannungsbegriffs der Mittelstufe (Spannung als Ursache eines elektrischen Stroms) als Energie pro Ladung</p> <p>Mögliche Schülerexperimente zum Potenzial und Aufnahme von Äquipotentiallinien, daraus Ermittlung des Verlaufs von Feldlinien</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen</p>	<p>3.6.2.1 elektrisches Feld</p> <p>(11) Bewegung geladener Teilchen parallel und senkrecht zu einem homogenen elektrischen Feld quantitativ</p>	<p>Stunden: 5</p> <p>Beschleunigung geladener Teilchen im homogenen elektrischen Feld längs der Feldlinien: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Energieerhaltungssatz ▪ Einheit eV ▪ beschleunigte Bewegung <p>Bewegungen geladener Teilchen in homogenen elektrischen Quersfeldern: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Überlagerung von Bewegungen ▪ Parabelbahn ▪ Elektronenablenkröhre </p> </p>	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Vertiefungen: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Millikan-Versuch ▪ Anwendungen (Braun'sche Röhre, Teilchenbeschleuniger in Medizin und Teilchenphysik) <p>Mögliche Variante: Unterrichtseinheit zu Teilchen in Feldern zusammen mit den Inhalten aus 3.6.2.2 (6) und (7)</p> </p>

<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>3.6.2.1 elektrisches Feld</p> <p>(6) Kapazität eines Kondensators</p> <p>(7) Eigenschaften eines Plattenkondensators (Kapazität)</p>	<p>Stunden: 4</p> <p>Kondensator und Kapazität:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kapazität $C = \frac{Q}{U}$ experimentell ermitteln ▪ Bauformen von Kondensatoren ▪ 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"> ▪ Messmethoden zur Bestimmung von Kapazitäten ▪ Kondensatorschaltungen ▪ kapazitive Sensoren (zum Beispiel Füllstands- und Beschleunigungssensoren)
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen</p>	<p>3.6.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment [...])</p> <p>3.6.2.1 elektrisches Feld</p> <p>(7) Eigenschaften eines Plattenkondensators (Kondensator als Energiespeicher)</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Kondensator als Energiespeicher:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ $E_{Kond} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$ ▪ Anwendungen von Kondensatoren als Energiespeicher 	<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>3.6.2.1 elektrisches Feld</p> <p>(8) zeitabhängiger Auf- und Entladevorgang eines Kondensators [...] und mit der Exponentialfunktion math. beschreiben</p>	<p>Stunden: 6</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 Messwerterfassungssystemen</p> <p>Mögliche Vertiefungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mathematische Betrachtung der Differentialgleichung für $Q(t)$ beim Laden und Entladen

<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>			<ul style="list-style-type: none"> ▪ numerische Betrachtung der Differentialgleichung mittels Tabellenkalkulation (Modellbildung)
--	--	--	--

3.2 Themenbereich „Magnetisches Feld“

3.2.1 Didaktische Überlegungen

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen und erläutern die Ursache sowie die Struktur statischer magnetischer Felder. Sie sind in der Lage, homogene Felder und die Bewegung geladener Teilchen darin auch quantitativ zu beschreiben. Die Betrachtung der Superposition magnetischer Felder erfolgt im Allgemeinen zeichnerisch, im Falle senkrechter und paralleler Felder auch rechnerisch. Zentrale Anwendung bei magnetischen Feldern ist die Spule. Sie vergleichen die Struktur des elektrischen und magnetischen Feldes und beschreiben Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

3.2.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

Prozessbezogene Kompetenzen	Inhaltsbezogene Kompetenzen	Unterrichtsverlauf	Bemerkungen
2.1 Erkenntnisgewinnung 1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben	3.6.2.2 magnetisches Feld (1) die Struktur magnetischer Felder beschreiben (Feldlinie, homogenes Feld, einfache nicht-homogene Felder, Feld um einen geraden Leiter, Handregel)	Stunden: 4 Grundlagen Magnetismus <ul style="list-style-type: none"> ▪ Magnetpole, Anziehung und Abstoßung ▪ Beschreibung magnetischer Felder verschiedener Permanentmagnete (Feldlinien) ▪ Homogenes Feld des Hufeisenmagneten Felder stromdurchflossener Leiter: <ul style="list-style-type: none"> ▪ gerader Leiter ▪ Leiterschleife, Spule ▪ Handregel 	Bemerkung Wiederholung der Grundlagen aus der Mittelstufe, denkbar in Gruppenarbeit mit Präsentation. Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu elektrischen Feldern sollten betrachtet werden.
2.1 Erkenntnisgewinnung 4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen	3.6.1 Denk- und Arbeitsweisen (1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment [...])	Stunden: 3 Magnetische Flussdichte <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kraft auf stromdurchflossenen Leiter (zum Beispiel Leiterschaukel in Hufeisenmagnet) ▪ Drei-Finger-Regel 	Bemerkung Kraftwirkung auf stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld experimentell ermitteln (zum Beispiel mittels Digitalwaage oder empfindlicher Kraftsensor)

<p>5. Messwerte auch digital erfassen und auswerten (unter anderem Messwert-erfassungssystem, Tabellenkalkulation) 7. aus proportionalen Zusammenhängen Gleichungen entwickeln</p>	<p><u>3.6.2.2 magnetisches Feld</u> (2) die Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen Leiter in einem Magnetfeld erläutern (magnetische Flussdichte)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Induktive Einführung der magnetischen Flussdichte ($F \sim I \cdot s$) ▪ Kraft zwischen zwei parallelen Leitern anhand der Superposition der magnetischen Felder 	<p>Mögliche Vertiefungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Elektromotor als lehrreiche Vertiefung zur Anwendung der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter ▪ Bau eines Elektromotors im Rahmen eines Schülerprojekts (zum Beispiel mit PET-Flasche und Lackdraht, drehbar zwischen Permanentmagneten)
<p><u>2.1 Erkenntnisgewinnung</u> 3. Experimente zur Überprüfung von Hypothesen planen (unter anderem vermutete Einflussgrößen getrennt variieren) 4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen 5. Messwerte auch digital erfassen und auswerten (unter anderem Messwert-erfassungssystem, Tabellenkalkulation) Hypothesen bilden 7. aus proportionalen Zusammenhängen Gleichungen entwickeln</p>	<p><u>3.6.2.2 magnetisches Feld</u> (5) das Magnetfeld einer schlanken Spule untersuchen und beschreiben</p>	<p><u>Stunden: 4</u> 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) ▪ $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot I \cdot \frac{n}{\ell}$ 	<p><u>Bemerkung</u> Mögliche Schülerexperimente: Messung der Flussdichte mit Hallsonde an verschiedenen Spulen; weitere Messungen (zum Beispiel Außenfeld, Erdmagnetfeld) auch mit Smartphone möglich Hinweis: Die Hallsonde wird als Magnetfeldsensor verwendet, die Funktion aber erst nach Einführung der Lorentzkraft erklärt.</p>
<p><u>2.1 Erkenntnisgewinnung</u> 4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen 8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen <u>2.2 Kommunikation</u> 2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal</p>	<p><u>3.6.1 Denk- und Arbeitsweisen</u> (1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment [...]) <u>3.6.2.2 magnetisches Feld</u> (3) die Kraft auf eine elektrische Ladung in einem Magnetfeld erläutern (Lorentzkraft, Drei-Finger-Regel)</p>	<p><u>Stunden: 6</u> 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) ▪ Schraubenbahnen ▪ Fadenstrahlrohr, e/m-Bestimmung ▪ Erklärung des Hall-Effekts anhand der Lorentzkraft (Hall-Konstante) 	<p><u>Bemerkung</u> Wiederholung: Kreisbewegung, Zentripetalkraft Mögliche Vertiefungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Anwendungen in Ringbeschleunigern und Zyklotron ▪ inhomogene Felder, Polarlichter

beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern (Ursache-Wirkungs-Aussagen, unbekannte Formeln)	(4) den Hall-Effekt beschreiben (6) die Bewegung geladener Teilchen senkrecht zu einem homogenen Magnetfeld quantitativ beschreiben ...		Hinweis: Der Hall-Effekt liefert eine Überleitung zu gekreuzten Feldern
2.1 Erkenntnisgewinnung	3.6.2.2 magnetisches Feld	Stunden: 4	Bemerkung
13. ihr physikalisches Wissen anwenden, um Problem- und Aufgabenstellungen zielgerichtet zu lösen	(7) die Bewegung geladener Teilchen in gekreuzten homogenen elektrischen und magnetischen Feldern erklären	Bewegung geladener Teilchen in gekreuzten elektromagnetischen Feldern <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kräftegleichgewicht im Wienfilter ▪ Anwendung am Massenspektrograph 	Mögliche Vertiefung: Anwendung von Massenspektrographen, zum Beispiel Analyse von Eisbohrkernen

3.3 Themenbereich „Elektrodynamik“

3.3.1 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. Die Schülerinnen und Schüler beschreiben und vergleichen die Ursache und Struktur elektromagnetischer Felder anhand der Aussagen der Maxwell-Gleichungen.

3.3.2 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>3.6.2.3 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: 4</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 ▪ Wechselfeld 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 	<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>Änderung, Dauer der 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>Elektrodynamik</p> <p>(2) das Faraday'sche Induktionsgesetz erläutern und anwenden ([...])</p>	<p>Stunden: 4</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>Hinweis: Falls die elektrischen Wirbelfelder hier nicht behandelt werden, könnte eine Betrachtung im Rahmen der Maxwell'schen Gleichungen und anhand der Ringentladung untersucht werden.</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>3.6.2.3 Elektrodynamik</p> <p>(2) das Faraday'sche Induktionsgesetz erläutern und anwenden</p>	<p>Stunden: 4</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 	<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>

		$U_{ind} \sim n \cdot B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t}$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ Orientierung der Fläche senkrecht zum Magnetfeld oder Projektion 	
<p>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>3.6.2.3 Elektrodynamik</p> <p>(2) das Faraday'sche Induktionsgesetz erläutern und anwenden (magnetischer Fluss [...], $U_{ind} = -n \cdot \dot{\Phi}$, Lenz'sche Regel)</p> <p>(6) Ursachen und Struktur elektromagnetischer Felder [...] beschreiben</p>	<p>Stunden: 4</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</p>	<p>3.6.2.3 Elektrodynamik</p> <p>(7) eine technische Anwendung elektrischer Wirbelströme beschreiben (zum Beispiel Wirbelstrombremse, 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>Bemerkung</p> <p>Mögliches Stationenlernen zu Wirbelströmen und weiteren Beispielen zur Lenz'schen Regel als Vertiefung</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>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</p>	<p>3.6.2.3 Elektrodynamik</p> <p>(3) technische Anwendungen des Induktionsgesetzes qualitativ beschreiben (zum Beispiel Generator, Transformator, Induktionsladegerät)</p>	<p>Stunden: 4</p> <p>Anwendungen der Induktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Generator (Erzeugung sinusförmiger Wechselspannung) ▪ Transformator, Induktionsladegerät 	<p>Bemerkung</p> <p>Möglich sind Schülerexperimente oder Recherche/Textarbeit in Gruppen</p>

<p>unter Nutzung geeigneter Medien präsentieren</p> <p>2.3 Bewertung</p> <p>9. Technologien auch unter sozialen, ökologischen und ökonomischen Aspekten diskutieren</p> <p>10. im Bereich der nachhaltigen Entwicklung persönliche [...] Maßnahmen [...] mithilfe ihres physikalischen Wissens bewerten</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>3.6.2.3 Elektrodynamik</p> <p>(4) Selbstinduktionseffekte in Stromkreisen bei Ein- und Ausschaltvorgängen erklären (Induktivität, $U_{ind} = -L \cdot \dot{I}$)</p> <p>(5) die Eigenschaften einer schlanken Spule beschreiben ([...])</p>	<p>Stunden: 6</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 ▪ Bestimmung von L und R aus den Diagrammen ▪ "Spannungsspitzen" beim Ausschalten 	<p>Bemerkung</p> <p>Möglich ist der Einsatz von Messwerterfassungssystemen zur Untersuchung von Ein- und Ausschaltvorgängen</p> <p>Mögliche Vertiefung:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Differentialgleichungen beim Ein- und Ausschaltvorgängen ▪ mathematische Beschreibung der Kurven des Ein- und Ausschaltvorgangs mittels Exponentialfunktion
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären [...]</p>	<p>3.6.2.3 Elektrodynamik</p> <p>(6) Ursache und Struktur elektromagnetischer Felder anhand der</p>	<p>Stunden: 1</p> <p>Maxwell'sche Gleichungen</p>	<p>Bemerkung</p>

	Aussagen der Maxwell-Gleichungen im Überblick beschreiben	▪ Aussagen der Maxwell'schen Gleichungen im Überblick	Möglich ist auch eine spätere Behandlung im Rahmen der elektromagnetischen Wellen.
--	---	---	--

3.4 Themenbereich „Schwingungen“

3.4.1 Didaktische Überlegungen

Die Schülerinnen und Schüler entwickeln ihre Modellvorstellungen zunächst an mechanischen Schwingungen und wenden ihre Kenntnisse anschließend auf elektromagnetische Schwingungen an. Sie erkennen, dass Differentialgleichungen zur mathematischen Behandlung von Schwingungen notwendig sind. Sie unterscheiden zwischen idealisierten Schwingungen und realen Schwingungen mit Dämpfung.

3.4.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

Prozessbezogene Kompetenzen	Inhaltsbezogene Kompetenzen	Unterrichtsverlauf	Bemerkungen
2.1 Erkenntnisgewinnung 1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben	3.6.3 Schwingungen (1) Schwingungen experimentell aufzeichnen und mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen als zeitlich periodische Bewegungen um eine Gleichgewichtslage beschreiben (Auslenkung $s(t)$, Amplitude \hat{s} , Periodendauer T , Frequenz f , Kreisfrequenz ω , harmonisch und nicht harmonisch, gedämpft und ungedämpft)	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	3.6.3 Schwingungen (1) Schwingungen experimentell aufzeichnen mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen als zeitlich periodische Bewegungen um eine Gleichgewichtslage beschreiben ([...]) (2) ungedämpfte harmonische Schwingungen mathematisch beschreiben [...]	Stunden: 4 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>3.6.3 Schwingungen</p> <p>(4) den Zusammenhang zwischen <i>harmonischen</i> mechanischen <i>Schwingungen</i> und <i>linearer Rückstellkraft</i> beschreiben (unter anderem horizontales Federpendel)</p> <p>(5) die Schwingungs-Differentialgleichung eines Federpendels durch einen geeigneten Ansatz lösen [...]</p>	<p>Stunden: 3</p> <p>harmonische Schwingungen qualitativ erklären (horizontales und 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 $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Schülerexperimente: Messwerterfassung an einem Federpendel mit verschiedenen Sensoren (Kraftsensor, Beschleunigungssensor, Abstandssensor)</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente</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>2.3 Bewertung</p> <p>1. bei Experimenten relevante von nicht relevanten Einflussgrößen unterscheiden</p> <p>2. Ergebnisse von Experimenten bewerten (Messfehler, Genauigkeit, Ausgleichsgerade, mehrfache Messung und Mittelwertbildung)</p>	<p>3.6.3 Schwingungen</p> <p>(6) die Schwingungs-Differentialgleichung eines Fadenpendels durch einen geeigneten Ansatz lösen [...]</p>	<p>Stunden: 4</p> <p>Untersuchung weiterer Schwingungen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fadenpendel mit Schwingungs-Differentialgleichung $\ddot{s}(t) = -\frac{g}{l} \cdot s(t)$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ weitere schwingende Systeme möglich 	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Schülerexperimente: Digitale Endgeräte als Fadenpendel (Beschleunigungssensor)</p> <p>Mögliche Vertiefung: Überlagerung von Schwingungen (Schwebungen in der Akustik, zum Beispiel Aufnahme mit digitalen Endgeräten)</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p>	<p>3.6.3 Schwingungen</p>	<p>Stunden: 3</p> <p>Gedämpfte Schwingung</p>	<p>Bemerkung</p>

<p>9. zwischen realen Erfahrungen und konstruierten, idealisierten Modellvorstellungen unterscheiden [...]</p>	<p>(3) die zeitlich abnehmende <i>Amplitude</i> einer <i>gedämpften Schwingung</i> mathematisch beschreiben (geschwindigkeitsproportionale Reibung)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufnahme einer Schwingung mit geschwindigkeitsproportionaler Dämpfung ▪ mathematische Beschreibung der zeitlich abnehmenden Amplitude 	
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben</p> <p>2.3 Bewertung</p> <p>8. Chancen und Risiken von Technologien mithilfe ihres physikalischen Wissens bewerten</p>	<p>3.6.3 Schwingungen</p> <p>(10) Resonanz bei erzwungenen Schwingungen beschreiben (Eigenfrequenz, Erregerfrequenz)</p>	<p>Stunden: 3</p> <p>Erzwungene Schwingung und Resonanz</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusammenhang zwischen der Amplitude und der Erregerfrequenz qualitativ beschreiben (Resonanzkurve) ▪ Resonanzfall nahe der Eigenfrequenz ▪ Resonanzphänomene im Alltag 	<p>Bemerkung</p> <p>Hinweis: Videos zur Tacoma-Bridge und zur Bodenresonanz beim Hubschrauber</p>
<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>3.6.3 Schwingungen</p> <p>(7) die <i>Schwingung</i> in einem <i>elektromagnetischen Schwingkreis</i> erklären und die auftretenden Energieumwandlungen erläutern</p> <p>(9) Gemeinsamkeiten und Unterschiede von mechanischen und elektromagnetischen <i>Schwingungen</i> erläutern (zum Beispiel anhand eines Federpendels und eines <i>elektromagnetischen Schwingkreises</i>)</p>	<p>Stunden: 4</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>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen</p>	<p>3.6.3 Schwingungen</p> <p>(8) die Schwingungs-Differentialgleichung eines elektromagnetischen Schwingkreises durch einen geeigneten Ansatz lösen [...]</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Elektromagnetische Schwingungen quantitativ erklären:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schwingungs-Differentialgleichung $\ddot{Q}(t) = -\frac{1}{L \cdot C} \cdot Q(t)$ ▪ Periodendauer $T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$ 	<p>Bemerkung</p> <p>Die Schwingungs-Differentialgleichung kann mittels des 2. Kirchhoff'schen Gesetzes bzw. mittels des Energieerhaltungssatzes hergeleitet werden.</p>

			Mögliche Vertiefungen: <ul style="list-style-type: none">▪ Alltagsbeispiele zum elektromagnetischen Schwingkreis▪ Dämpfung beim Schwingkreis▪ Resonanz beim Schwingkreis
--	--	--	--

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	3.6.4 Wellen (1) Wellen mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen beschreiben (Wellenlänge, 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	3.6.4 Wellen (4) die zeitliche und räumliche Entwicklung einer harmonischen eindimensionalen Welle in einer	Stunden: 3 Mathematische Beschreibung einer linearen harmonischen Welle	Bemerkung

	mathematischen Darstellung beschreiben [...]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschreibung der Wellenausbreitung mit dem Zeigermodell. Formel hier ▪ Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge und Frequenz ▪ s-t-Diagramm und s-x-Diagramm ▪ Strecken Δs und Phasendifferenz $\Delta\varphi$ 	
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben</p>	<p>3.6.4 Wellen</p> <p>(2) den Unterschied zwischen Longitudinalwellen und Transversalwellen erläutern</p>	<p>Stunden: 1</p> <p>Wellenarten (Transversal- und Longitudinalwellen)</p>	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Vertiefung bzw. Anwendung: longitudinale und transversale Erdbebenwellen</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben</p>	<p>3.6.4 Wellen</p> <p>(1) Wellen mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen beschreiben ([...] Polarisierung) (2) grundlegende Wellenphänomene beschreiben (Beugung, Reflexion, Brechung, Interferenz [...]) und in Alltagssituationen erkennen (zum Beispiel Meereswellen [...])</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Eigenschaften von Wellen und Wellenphänomene</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Beugung ▪ Reflexion (am festen und losen Ende, Phasensprung) ▪ Polarisierung ▪ Überlagerung von Wellen 	<p>Bemerkung</p> <p>Hinweis: Beeindruckend sind Beugungserscheinungen von Tsunamis auf Ozeanen (Animationen von Satellitendaten) Reflexion und Überlagerung mit "Slinky"</p> <p>Mögliche Vertiefung: Polarisierungseffekte in der Fotografie</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen [...]</p>	<p>3.6.4 Wellen</p> <p>(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)</p>	<p>Stunden: 6</p> <p>Stehende Wellen:</p> <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 	<p>Bemerkung</p> <p>Einstiegsexperiment mit "Slinky"</p> <p>Hinweis: Simulationen</p> <p>Vertiefung: Eigenfrequenz und Resonanz bei Musikinstrumenten (evtl. Chladni'sche Klangfiguren)</p>

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bedingungen für stehende Wellen auf Wellenträger der Länge L bei unterschiedlichen Enden ▪ Unterschiede und Gemeinsamkeiten von fortschreitenden und stehenden Wellen 	<p>Mögliche Vertiefung anhand stehender Longitudinalwellen bei der Schallausbreitung</p> <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>3.6.4 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, Brechung 	<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>3.6.4 Wellen</p> <p>(4) mithilfe des Gangunterschieds die Überlagerung zweidimensionaler kohärenter Wellen qualitativ beschreiben</p>	<p>Stunden: 8</p> <p>Interferenzphänomene in der Ebene</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gangunterschied, Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz ▪ Gangunterschied und Phasendifferenz (Formel) ▪ Konstruktion des Interferenzfeldes und Energieverteilung im Interferenzfeld 	<p>Bemerkung</p> <p>Geeignet sind Freihandexperimente zum Einstieg (Zonen destruktiver Interferenz) bzw. Experiment mit zwei Lautsprechern</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren</p>	<p>3.6.4 Wellen</p> <p>(8) das elektromagnetische Spektrum im Überblick beschreiben (9) den Hertz'schen Dipol als Grenzfall eines elektromagnetischen Schwingkreises erkennen und die daraus entstehenden Abstrahlung</p>	<p>Stunden: 4</p> <p>Elektromagnetische Wellen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Erzeugung elektromagnetischer Wellen mittels eines Hertz'schen Dipols ▪ Lichtgeschwindigkeit ▪ Polarisation 	<p>Bemerkung</p> <p>Geeignet sind Experimente mit Mikrowellen und Dezimeterwellen</p>

	elektromagnetischer Wellen in Grundzügen beschreiben	<ul style="list-style-type: none">▪ Experimente zur Beugung am Einzelspalt und Doppelspalt, zur Polarisation, zu stehenden Wellen▪ Elektromagnetisches Spektrum im Überblick	
--	--	---	--

3.5 Themenbereich „Wellenoptik“

3.5.1 Didaktische Überlegungen

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen optische Interferenzphänomene und beschreiben diese mithilfe des Modells der elektromagnetischen Welle. Sie können ihre Erkenntnisse sowohl auf Alltagsphänomene als auch auf die historische Entwicklung von Modellen anwenden.

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 [...]</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>3.6.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(3) die Funktion von Modellen in der Physik erläutern [...]</p> <p>3.6.5 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>(5) die Struktur der Interferenzmuster und der Intensitätsverteilung bei Beugung an Einzelspalt [...] beschreiben ([...] Spektralzerlegung des Lichts polychromatischer Lichtquellen)</p> <p>(8) die geschichtliche Entwicklung von Modellvorstellungen des Lichts beschreiben (zum Beispiel Lichtstrahlen, Lichtteilchen, Lichtwellen, elektromagnetische Wellen [...])</p>	<p>Stunden: 2</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>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> <p>7. Risiken und Sicherheitsmaßnahmen bei Experimenten und im Alltag mithilfe ihres physikalischen Wissens bewerten</p>	<p>3.6.5 Wellenoptik</p> <p>(1) kohärentes Licht als elektromagnetische Welle beschreiben (unter anderem Lichtgeschwindigkeit)</p> <p>(3) Interferenzphänomene an Einzelspalt, Doppelspalt und Gitter experimentell untersuchen</p> <p>(5) die Struktur der Interferenzmuster und der Intensitätsverteilung bei Beugung an Einzelspalt, Doppelspalt und Gitter beschreiben (Unterschied zwischen idealisierten und realen Spalten mit endlicher Breite, Spektralzerlegung des Lichts polychromatischer Lichtquellen)</p> <p>(6) die Lage von Interferenzminima beziehungsweise Interferenzmaxima bei ausgewählten Beugungsvorgängen in Fernfeldnäherungen berechnen (Minima beim Einzelspalt, Minima und Maxima beim Doppelspalt, Hauptmaxima beim Gitter)</p>	<p>Stunden: 8</p> <p>Doppelspalt, Mehrfachspalt 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 ▪ Doppelspaltexperiment mit Polarisationsfiltern: Intensitätsmuster in Abhängigkeit von der Vorzugsrichtung der Polarisationsfilter ▪ Gitter: Analyse des Interferenzmusters: Lage der Hauptmaxima der Intensität; Anzahl der Hauptmaxima 	<p>Bemerkung</p> <p>Sicherheitshinweise Laser-Licht beachten</p> <p>Erstmalige Bestimmung der Wellenlänge von Licht</p> <p>Zur Vertiefung kann auf die Intensitätsverteilung von Mehrfachspalten eingegangen werden. Im Rahmen des Zeigermodells kann die Intensitätsverteilung in Abhängigkeit von der Anzahl der beleuchteten Spalte betrachtet werden.</p> <p>Mögliches Schüler-Praktikum: Strukturanalyse einer CD-ROM, DVD und Blue-ray</p> <p>Mögliche Recherche in Gruppenarbeiten: Strukturfarben in der Biologie (zum Beispiel Schmetterlinge)</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen</p> <p>9. zwischen realen Erfahrungen und konstruierten, idealisierten Modellvorstellungen unterscheiden [...]</p> <p>2.3 Bewertung</p> <p>1. bei Experimenten relevante von nicht relevanten Einflussgrößen unterscheiden</p>	<p>3.6.5 Wellenoptik</p> <p>(5) die Struktur der Interferenzmuster und der Intensitätsverteilung bei Beugung an Einzelspalt, Doppelspalt und Gitter beschreiben (Unterschied zwischen idealisierten und realen Spalten mit endlicher Breite [...])</p> <p>(6) die Lage von Interferenzminima beziehungsweise Interferenzmaxima bei ausgewählten Beugungsvorgängen in Fernfeldnäherungen berechnen (Minima</p>	<p>Stunden: 4</p> <p>Einzelspaltbeugung:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einzelspalt: Analyse des Interferenzmusters: Hauptmaximum, Lage der Intensitätsminima ▪ Doppelspalt und Gitter mit endlichen Spaltbreiten: Einhüllende Funktion 	<p>Bemerkung</p> <p>Evtl. Vertiefung: Interferenzmuster eines komplementären Beugungsobjekt, Theorem von Babinet</p> <p>Mögliches Schüler-Praktikum: Messung der Dicke eines Haares</p>

	beim Einzelspalt, Minima und Maxima beim Doppelspalt, Hauptmaxima beim Gitter)		
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>13. ihr physikalisches Wissen anwenden, um Problem- und Aufgabenstellungen zielgerichtet zu lösen</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>3.6.5 Wellenoptik</p> <p>(7) Interferenzphänomene im Alltag physikalisch beschreiben (zum Beispiel Interferenz an dünnen Schichten, Interferenz an Gitterstrukturen, Laser-Speckle)</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Interferenz an dünnen Schichten</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zum Beispiel: Seifenblasen, Interferenz am Glimmerblatt nach Pohl oder Newton'sche Ringe 	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Recherche in Gruppenarbeiten: Interferenzphänomene im Alltag</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben</p>	<p>3.6.5 Wellenoptik</p> <p>(1) kohärentes Licht als elektromagnetische Welle beschreiben (unter anderem Lichtgeschwindigkeit)</p> <p>(4) Interferenzphänomene am Michelson-Interferometer beschreiben (Strahlteiler)</p>	<p>Stunden: 4</p> <p>Interferometer:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufbau und Funktionsweise eines Michelson-Interferometers (Strahlteiler), Interferenzmuster, Verschiebungsstrecke und Gangunterschied ▪ Interferenzfähigkeit, Sichtbarkeit des Interferenzmusters, Kohärenzlänge 	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Vertiefung: Michelson-Morley-Experiment, Gravitationswellendetektoren, Mach-Zehnder-Interferometer, Sagnac-Interferometer</p>

3.6 Themenbereich „Quantenphysik und Materie“

3.6.1 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 und der Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelation. 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.

3.6.2 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>2.2 Kommunikation</p> <p>1. zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung unterscheiden</p> <p>3. sich über physikalische Erkenntnisse und deren Anwendungen unter Verwendung der Fachsprache und</p>	<p>3.6.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment [...])</p> <p>3.6.6 Quantenphysik und Materie</p> <p>(7) [...] klassischer Bahnbegriff und klassischer Determinismus) [...]</p> <p>(8) [...] messbare Eigenschaften von Objekten der klassischen Physik bereits vor ihrer Messung real vorliegen und dass der Wert der Messung unabhängig</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>2.3 Bewertung</p> <p>4. Grenzen physikalischer Modelle an Beispielen erläutern 11. historische Auswirkungen physikalischer Erkenntnisse beschreiben</p>	<p>davon ist, ob überhaupt gemessen wurde [...]</p> <p>(9) [...] räumlich getrennte Objekte eines zusammengesetzten Systems aus Objekten der Klassischen Physik alle ihre messbaren Eigenschaften unabhängig voneinander besitzen [...]</p>		
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen 12. Sachtexte mit physikalischem Bezug sinnentnehmend lesen</p> <p>2.3 Bewertung</p> <p>1. bei Experimenten relevante von nicht relevanten Einflussgrößen unterscheiden</p>	<p>3.6.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(3) die Bedeutung von Naturkonstanten beschreiben [...]</p> <p>3.6.5 Wellenoptik</p> <p>(8) die geschichtliche Entwicklung von Modellvorstellungen es Lichts beschreiben ([...] Lichtwellen, elektromagnetische Wellen, Photonen)</p> <p>3.6.6 Quantenphysik und Materie</p> <p>(1) den lichtelektrischen Effekt beschreiben und anhand der Einstein'schen Lichtquantenhypothese erklären (Hallwachs-Effekt, Einstein'sche Gleichung [...], Planck'sche Konstante) (2) [...] wie sich Quantenobjekte anhand ihrer Energie und anhand ihres Impulses beschreiben lassen [...]</p>	<p>Stunden: 8</p> <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 (Fotozelle und Messmethoden) und Einstein-Gleichung, Planck'sche Konstante ▪ Lichtquantenhypothese von Einstein, Photonenbegriff ▪ Photonenimpuls 	<p>Bemerkung</p> <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> <p>2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen 11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren</p>	<p>3.6.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(3) die Funktion von Modellen in der Physik erläutern [...]</p> <p>3.6.6 Quantenphysik und Materie</p> <p>(2) [...] wie sich Quantenobjekte anhand ihrer Energie und anhand ihres Impulses</p>	<p>Stunden: 4</p> <p>Materiewellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ de Broglie Hypothese ▪ Elektronenbeugung am Graphit-Kristall (qualitativ) 	<p>Bemerkung</p> <p>Gedankenexperimente zur Wellenlänge von makroskopischen Körpern</p> <p>Mögliche Vertiefung: Beugung an periodischen Kristall-Strukturen, Bragg-</p>

	beschreiben lassen ([...], de Broglie-Wellenlänge von Materiewellen)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Doppelspaltexperimente (quantitativ) von Elektronen, Neutronen, C-60 Molekülen, Positronen etc. 	Gleichung, DNA als periodische Beugungsstruktur
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen</p> <p>2.2 Kommunikation</p> <p>1. zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung unterscheiden</p> <p>2.3 Bewertung</p> <p>11. historische Auswirkungen physikalischer Erkenntnisse beschreiben</p>	<p>3.6.6 Quantenphysik und Materie</p> <p>(7) [...] dass der Ort und Impuls von Quantenobjekten nicht gleichzeitig beliebig genau messbar sind und begründen, warum der klassische Bahnbegriff und der klassische Determinismus aufgegeben werden müssen (Unbestimmtheitsrelation [...])</p>	<p>Stunden: 4</p> <p>Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Unbestimmtheiten im Rahmen der klassischen Physik ▪ Unbestimmtheiten bei Quantenobjekten: Unbestimmtheitsrelation ▪ Vergleich: Aussagen der Unbestimmtheitsrelation für makroskopische Objekte und mikroskopische Objekte 	<p>Bemerkung</p> <p>Mögliche Vertiefung: Lokalisationsenergie von Elektronen in der Atomhülle sowie von Nukleonen im Atomkern; Quantenmechanische Interpretation des absoluten Nullpunkts</p>
<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</p>	<p>3.6.6 Quantenphysik und Materie</p> <p>(3) Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Verhaltens von klassischen Wellen, klassischen Teilchen und Quantenobjekten am Doppelspalt beschreiben</p> <p>(4) [...] wie für Quantenobjekte der Determinismus der klassischen Physik durch Wahrscheinlichkeitsaussagen ersetzt wird (Interferenz-Experimente mit einzelnen Quantenobjekten)</p> <p>(5) Experimente zur Interferenz einzelner Quantenobjekte anhand von Wahrscheinlichkeitsaussagen beschreiben und den Ausgang der Experimente erklären (quantenmechanische Wellenfunktion [...])</p>	<p>Stunden: 9</p> <p>Quantenphysikalische Wellenfunktion und Born'sche Wahrscheinlichkeitsinterpretation</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wiederholung: Begriffe der Stochastik u.a. Mittelwert, relative Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit, Gesetz der Großen Zahlen ▪ Taylor-Experiment, Doppelspaltexperimente mit einzelnen Photonen und Elektronen ▪ Quantenmechanische Wellenfunktion und Wahrscheinlichkeitsinterpretation ▪ Verhalten der Wellenfunktion am Doppelspalt, Messprozess, "Kollaps" der quantenmechanischen Wellenfunktion 	<p>Bemerkung</p> <p>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>(6) 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 (Koinzidenzmethode, Komplementarität, Delayed-choice-Variante des Doppelspaltexperimentes)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Detektion des Durchgangsspalts, Welcher-Weg-Information, Komplementarität, Delayed-choice Variante des Experiments 	<p>Mögliche Vertiefung: Delayed-choice Experimente mit Interferometern</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen</p>	<p>3.6.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment [...])</p> <p>3.6.6 Quantenphysik und Materie</p> <p>(8) [...] 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>(9) [...] räumlich getrennte Objekte eines zusammengesetzten Systems aus Objekten der Klassischen Physik alle ihre messbaren Eigenschaften unabhängig voneinander besitzen. Sie können</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Realität und Lokalität</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>Bemerkung</p> <p>Hinweis: Betrachtet man statt doppelbrechender Kristalle atomare 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>

	beschreiben, dass diese Aussage für Quantenobjekte im Allgemeinen nicht gilt (Realität, zum Beispiel bei verschränkten Photonen)		
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben 8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen</p>	<p>3.6.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment [...]) (3) die Funktion von Modellen in der Physik erläutern [...]</p> <p>3.6.6 Quantenphysik und Materie</p> <p>(10) Linienspektren von Atomen als Übergänge zwischen diskreten Energieniveaus beschreiben und in einem Energieniveauschema veranschaulichen (Absorption, Emission, Bohr'sche Frequenzbedingung [...], Energiewerte des Wasserstoffatoms [...], Energiewerte wasserstoffähnlicher Atome) (13) unterschiedliche atomare Modellvorstellungen (Rutherford'sches Atommodell, Orbitale des Wasserstoffatoms) und Mehrelektronensysteme (Pauli-Prinzip) im Überblick beschreiben</p>	<p>Stunden: 14</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 ▪ Emission- und Absorptionsspektren ▪ Linienspektrum von atomarem Wasserstoff, Balmer-Serie ▪ Energieniveauschema (Übergänge zwischen Energieniveaus) ▪ Rydberg-Formel, Bohr'sche Frequenzbedingung, Energiewerte des Wasserstoffatoms ▪ Wasserstoffähnliche Atome ▪ Ausblick auf Mehrelektronensysteme, Quantenzahlen, Pauli-Prinzip sowie das Periodensystem 	<p>Bemerkung</p> <p>Hinweis: Die Emissionsspektren verschiedener Elemente können experimentell bestimmt werden, bei hinreichender Ausstattung auch im Rahmen von Schülerexperimenten.</p> <p>Erfolgreiche Modellbildungen der Atome bzw. Moleküle müssen die experimentell beobachteten Linienspektren reproduzieren.</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen</p> <p>2.3 Bewertung</p>	<p>3.6.1 Denk- und Arbeitsweisen</p> <p>(3) die Funktion von Modellen in der Physik erläutern [...]</p> <p>3.6.6 Quantenphysik und Materie</p>	<p>Stunden: 3</p> <p>Unendlicher Potentialtopf als Atom bzw. Molekülmodell:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Stehende Materiewellen im unendlichen Potentialtopf ▪ Energiewerte 	<p>Bemerkung</p>

<p>4. Grenzen physikalischer Modelle an Beispielen erläutern</p>	<p>(12) [...] die Energiewerte eines Elektrons im eindimensionalen Potentialtopf mit unendlich hohen Wänden berechnen sowie die Grenzen dieses Modells zur Beschreibung von Energieniveaus in Atomen beziehungsweise Molekülen erläutern</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anwendung auf Atome bzw. Moleküle: Vergleich mit Linienspektrum des Wasserstoffs und Farbstoffmolekül β-Carotins 	<p>Hinweis: Der unendliche Potentialtopf ist nicht zur Modellbildung von Atomen und Molekülen geeignet (falsches Potential, keine Ionisation, Energiewerte falsch, Linienspektrum falsch etc.).</p>
<p>2.1 Erkenntnisgewinnung</p> <p>1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben</p>	<p>3.6.6 Quantenphysik und Materie</p> <p>(11) die Entstehung des Röntgenspektrums erklären (charakteristische Röntgenstrahlung, Bremsstrahlung, kurzwellige Grenze des Röntgenspektrums)</p>	<p>Stunden: 2</p> <p>Kontinuierliches und charakteristisches Röntgenspektrum</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Funktionsweise einer Röntgen-Röhre ▪ Bremsstrahlung (Grenze des Röntgenspektrums, Planck'sche Konstante) ▪ Charakteristische Röntgenstrahlung (K_{α}-Linien, Moseley'sches Gesetz) ▪ Anwendungen der Röntgenstrahlung in Medizin und Technik 	<p>Bemerkung</p> <p>Experimente mit der Röntgenröhre</p>