

**Klassen 11/12**

**Jahresplanung für das Basisfach mit Schwerpunkt Quantenphysik**

**Juni 2022**

**Bildungsplan 2016 Gymnasium – Physik**

Überarbeitete Fassung vom 25.03.2022 (V2)

Inhaltsverzeichnis

[1. Vorwort zu den Jahresplanungen 3](#_Toc107415201)

[2. Exemplarische Jahresplanung 4](#_Toc107415202)

[2.1 Themenbereiche mit Stundenverteilung 4](#_Toc107415203)

[3. Exemplarische Unterrichtssequenzen 4](#_Toc107415204)

[3.1 „Elektrische und magnetische Felder“ 4](#_Toc107415205)

[3.1.1 Didaktische Überlegungen 4](#_Toc107415206)

[3.1.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz 5](#_Toc107415207)

[3.2 Themenbereich „Elektrodynamik“ 11](#_Toc107415208)

[3.2.1 Didaktische Überlegungen 11](#_Toc107415209)

[3.2.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz 11](#_Toc107415210)

[3.3 Themenbereich „Schwingungen“ 15](#_Toc107415211)

[3.3.1 Didaktische Überlegungen 15](#_Toc107415212)

[3.3.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz 15](#_Toc107415213)

[3.5 Themenbereich „Wellen“ 17](#_Toc107415214)

[3.5.1 Didaktische Überlegungen 17](#_Toc107415215)

[3.5.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz 17](#_Toc107415216)

[3.4 Themenbereich „Wellenoptik“ 20](#_Toc107415217)

[3.4.1 Didaktische Überlegungen 20](#_Toc107415218)

[3.4.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz 20](#_Toc107415219)

[3.5 Themenbereich „Quantenphysik und Materie“ 22](#_Toc107415220)

[3.5.1 Didaktische Überlegungen 22](#_Toc107415221)

[3.5.2 Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz 22](#_Toc107415222)

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](https://km-bw.de/Kultusministerium%2CLde/Startseite/Schule/Neue%2BSeite%2B_%2BGlossar)).

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 Kompetenz-aufbau 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.

1. Exemplarische Jahresplanung
	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** |

1. Exemplarische Unterrichtssequenzen
	1. „Elektrische und magnetische Felder“

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.

Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ProzessbezogeneKompetenzen | InhaltsbezogeneKompetenzen | Unterrichtsverlauf | Bemerkungen |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen2.2 Kommunikation1. zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung unterscheiden   | 3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder (1) die Struktur elektrischer und magnetischer Felder beschreiben (Feldbegriff, Feldlinien,homogenes Feld, elektrisches Radialfeld, Dipolfeld, Superposition von Feldern) | Stunden: 3Grundlagen der Elektrostatik:Untersuchung experimentell, Beschreibung modellhaft auf atomarer Ebene* positive und negative Ladungen
* Kräfte zwischen geladenen Körpern
* Ladungsverschiebung durch bewegte Elektronen (Influenz und Polarisation)
 | Bemerkung Phänomene können ggf. in Form von Schülerexperimenten untersucht werdendabei Wiederholung aus der Elektrizitätslehre der Mittelstufe:* Strom als fließende Ladung
* Ladungsmenge im I-t-Diagramm

Hinweis: Elektrostatik und elektrisches Feld sind häufig nicht im Rahmen der Mittelstufe unterrichtet worden. |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren | 3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder (1) die Struktur elektrischer und magnetischer Felder beschreiben (Feldbegriff, Feldlinien,homogenes Feld, elektrisches Radialfeld, Dipolfeld, Superposition von Feldern)3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen der Physik(2) die Funktion von Modellen in der Physik erläutern (unter anderem anhand der Modellvorstellungen von Licht und Materie) | Stunden: 2Einführung des elektrischen Feldes als Kraftfeld analog zur Einführung des Magnetfeldes in der MittelstufeBeschreibung elektrischer Felder mit Hilfe von Feldlinien* Regeln für die Darstellung des Feldes im Feldlinienmodell
* homogenes Feld
* radiales Feld einer Punktladung
* Feld eines Dipols, Quellen und Senken
 | Bemerkung Aufgreifen des Feldbegriffs aus der MittelstufeVeranschaulichung zum Beispiel im Experiment mit Grießkörner in Öl oder in Simulationen Mögliche Vertiefung: Faraday'scher Käfig |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen […]7. aus proportionalen Zusammenhängen Gleichungen entwickeln 2.2 Kommunikation2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern ([…] unbekannte Formeln) 6. Sachinformationen und Messdaten aus einer Darstellungsform entnehmen und in andere Darstellungsformen überführen  | 3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder(1) die Struktur elektrischer und magnetischer Felder beschreiben ([…] Superposition von Feldern)(2) den Zusammenhang zwischen der Kraftwirkung auf eine Probeladung und der elektrischenFeldstärke beschreiben ([…])(7) charakteristische Größen eines Plattenkondensators berechnen, ([…])3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen der Physik(1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment, Bestätigung beziehungsweise Widerlegung) | Stunden: 4Elektrische Feldstärke:* Kraftwirkung auf Probeladung
* Superposition von elektrischen Feldern zweier Punktladungen als Addition der Feldstärkevektoren.
* elektrische Feldstärke eines Plattenkondensators:

  | Bemerkung Elektrische Feldstärke experimentell über Kraftwirkung auf elektrische Ladung ermitteln (zum Beispiel mittels Digitalwaage oder empfindlicher Kraftsensor)Formel experimentell (zum Beispiel mittels Digitalwaage oder Elektrofeldmeter) ermitteln alternativ als unbekannte Formel einführen und interpretieren lassen, (siehe 2.2 Kommunikation (2) „[…] unbekannte Formel […]“)Mögliche Vertiefungen:* Elektrische Spannung und elektrisches Potential
* Schülerexperimente zum Potential und Aufnahme von Äquipotentiallinien
 |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen | 3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder(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 kinetische Energie, Energieerhaltungssatz, Bahnformenqualitativ) | Stunden: 2Beschleunigung geladener Teilchen im homogenen elektrischen Feld längs der Feldlinien:* Energieerhaltungssatz
* Einheit eV
* beschleunigte Bewegung

Bewegungen geladener Teilchen in homogenen elektrischen Querfeldern:* Überlagerung von Bewegungen
* Parabelbahn
* Elektronenablenkröhre
 | Bemerkung Mögliche Vertiefungen: * Millikan-Versuch
* Anwendungen (Braun'sche Röhre, Teilchenbeschleuniger in Medizin und Teilchenphysik)

Mögliche Variante:Unterrichtseinheit zu Teilchen in Feldern zusammen mit den Inhalten aus 3.4.2.1 (5) und (6) |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen […] 7. aus proportionalen Zusammenhängen Gleichungen entwickeln 2.2 Kommunikation2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern (Ursache-Wirkungs-Aussagen, unbekannte Formeln)  | 3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder(7) charakteristische Größen eines Plattenkondensators berechnen, ([…]) und technische Anwendungen beschreiben(zum Beispiel Standlicht beim Fahrrad) | Stunden: 3Kondensator und Kapazität:* Kapazität experimentell ermitteln
* Kapazität eines Plattenkondensators experimentell ermitteln
* Einführung der elektrischen Feldkonstante
* Einfluss von Dielektrika (Polarisation)
 | Bemerkung Mögliche Vertiefungen:* Schülerpraktikum Kondensator im Selbstbau
* Recherche: Verschiedene Bauformen von Kondensatoren und ihre Einsatzbereiche
* Technische Anwendung: kapazitive Sensoren (zum Beispiel Füllstands- und Beschleunigungssensoren)
 |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen | 3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen (1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment […]) 3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder(7) charakteristische Größen eines Plattenkondensators berechnen, ([…]) und technische Anwendungen beschreiben(zum Beispiel Standlicht beim Fahrrad) | Stunden: 2Kondensator als Energiespeicher:*
* Technische Anwendungen von Kondensatoren als Energiespeicher z.B. in Fahrradlampen
 | Bemerkung Möglich ist eine deduktive bzw. induktive Herleitung |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen 5. Messwerte auch digital erfassen und auswerten (unter anderem Messwerterfassungssystem […]) 2.2 Kommunikation2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern (Ursache-Wirkungs-Aussagen, unbekannte Formeln) 5. physikalische Experimente, Ergebnisse und Erkenntnisse – auch mithilfe digitaler Medien – dokumentieren (Skizzen, Beschreibungen, Tabellen, Diagramme und Formeln) | 3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder8) den zeitabhängigen Aufladevorgang und Entladevorgang eines Kondensators anhand vonI-t-Diagrammen qualitativ erläutern und den Entladevorgang mit Hilfe der Exponentialfunktionmathematisch beschreiben sowie den Einfluss der Parameter Widerstand und Kapazität beschreiben | Stunden: 3Auf- und Entladevorgänge von Kondensatoren:* Auf- und Entladekurven von und am Kondensator
* Variation von und
* mathematische Darstellung der Kurven mittels Exponentialfunktion
 | Bemerkung Schülerexperimente auch mit Messwert-erfassungssystemenMögliche Vertiefung:* Annäherung von Messkurven durch Exponentialfunktion
 |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben | 3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder(1) die Struktur elektrischer und magnetischer Felder beschreiben (Feldbegriff, Feldlinien,homogenes Feld, elektrisches Radialfeld, Dipolfeld, Superposition von Feldern) | Stunden: 1Grundlagen Magnetismus* Magnetpole, Anziehung und Abstoßung
* Beschreibung magnetischer Felder verschiedener Permanentmagnete (Feldlinien)
* Homogenes Feld des Hufeisenmagneten

Felder stromdurchflossener Leiter:* gerader Leiter
* Leiterschleife, Spule
* Handregel
 | BemerkungWiederholung der Grundlagen aus der Mittelstufe, denkbar in Gruppenarbeit mit Präsentation.Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu elektrischen Feldern sollten betrachtet werden. |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen5. Messwerte auch digital erfassen und auswerten (unter anderem Messwert-erfassungssystem, Tabellenkalkulation) 7. aus proportionalen Zusammenhängen Gleichungen entwickeln | 3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen (1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment […]) 3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder(4) den Zusammenhang zwischen der Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen Leiter undder magnetischen Flussdichte beschreiben (magnetische Flussdichte, , , Messung von Flussdichten)(1) die Struktur elektrischer und magnetischer Felder beschreiben ([…] Superposition von Feldern) | Stunden: 2Magnetische Flussdichte* Kraft auf stromdurchflossenen Leiter(zum Beispiel Leiterschaukel in Hufeisenmagnet)
* Drei-Finger-Regel
* Induktive Einführung der magnetischen Flussdichte ()
* Kraft zwischen zwei parallelen Leitern anhand der Superposition der magnetischen Felder
 | Bemerkung Kraftwirkung auf stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld experimentell ermitteln (zum Beispiel mittels Digitalwaage oder empfindlicher Kraftsensor)Mögliche Vertiefung:* Elektromotor als lehrreiche Vertiefung zur Anwendung der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter
 |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung3. Experimente zur Überprüfung von Hypothesen planen (unter anderem vermutete Einflussgrößen getrennt variieren)4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen5. Messwerte auch digital erfassen und auswerten (unter anderem Messwert-erfassungssystem, Tabellenkalkulation) Hypothesenbilden7. aus proportionalen Zusammenhängen Gleichungen entwickeln | 3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder(9) Charakteristische Größen einer schlanken Spule berechnen ,  | Stunden: 3Magnetisches Feld einer schlanken Spule:* Experimenteller Nachweis der Homogenität des magnetischen Feldes im Inneren einer Spule
* Messreihen mit Hallsonde (Variation von und
* Magnetische Feldkonstante
* Materie im Magnetfeld (relative Permeabilität)
 | Bemerkung 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 kann später als Vertiefung nach Einführung der Lorentzkraft erklärt werden. |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen 8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen2.2 Kommunikation2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern (Ursache-Wirkungs-Aussagen, unbekannte Formeln) | 3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen (1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment […]) 3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder(5) die Kraftwirkung auf eine elektrische Ladung in einem Magnetfeld erläutern (Lorentzkraft, Drei-Finger-Regel […] )(6) die Bewegung geladener Teilchen senkrecht zu einem homogenen Magnetfeld qualitativbeschreiben und hierbei ihre Kenntnisse aus der Mechanik anwenden (Newton’sche Prinzipien,Bahnformen qualitativ) | Stunden: 2Bewegung geladener Teilchen senkrecht zu homogenen Magnetfeldern* Lorentzkraft mit Drei-Finger-Regel
* Kreisbahn im Magnetfeld (Lorentzkraft als Zentripetalkraft)
* Fadenstrahlrohr, -Bestimmung
 | Bemerkung Wiederholung:Kreisbewegung, ZentripetalkraftMögliche Vertiefungen:* Anwendungen in Ringbeschleunigern und Zyklotron
* inhomogene Felder, Polarlichter
* Erklärung des Hall-Effekts anhand der Lorentzkraft (Hall-Konstante)
* Massenspektrograph
 |

Themenbereich „Elektrodynamik“

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.

Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ProzessbezogeneKompetenzen | InhaltsbezogeneKompetenzen | Unterrichtsverlauf | Bemerkungen |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben2.2 Kommunikation3. sich über physikalische Erkenntnisse und deren Anwendungen unter Verwendung der Fachsprache und fachtypischer Darstellungen austauschen ([…]) 2.3 Bewertung1. bei Experimenten relevante von nicht relevanten Einflussgrößen unterscheiden | 3.4.2.2 Elektrodynamik(1) mithilfe der Lorentzkraft erklären, dass in einem Leiter, der senkrecht zu einem Magnetfeld bewegt wird, eine Spannung bzw. ein elektrischer Strom induziert wird | Stunden: 2Grundlagen Induktion (phänomenologisch):* 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 🡪 solange sich das von der Spule umfasste Magnetfeld ändert
* Experimente zur Untersuchung der Abhängigkeiten der Induktionsspannung 🡪 Windungszahl, Stärke der Magnetfeld Änderung, Dauer der Magnetfeldänderung, Querschnittsfläche der Spule, Eisenkern in der Spule
* Evtl. Vorzeichen der Induktionsspannung
 | Bemerkung Wiederholung der Grundlagen aus der Mittelstufe, denkbar zum Beispiel in Gruppenarbeit mit Präsentation oder Stationenlernen. Schrittweise werden aufgrund der experimentellen Beobachtungen die Aussagen zur Ursache und Stärke der Induktionswirkung präzisiert. |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung3. Experimente zur Überprüfung von Hypothesen planen (unter anderem vermutete Einflussgrößen getrennt variieren)6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen (auch mithilfe digitaler Werkzeuge) | 3.4.2.2 Elektrodynamik(2) das Faraday’sche Induktionsgesetz untersuchen und beschreiben ([…]) | Stunden: 2Induktion durch Magnetfeldänderung* quantitative Untersuchung (Induk-tionsspule und felderzeugende Spule) führt zu

Möglichkeit der Erklärung des Effekts mit elektrischen Wirbelfeldern (zum Beispiel mit Versuch zu Ringentladung oder Thomson'schen Ring) | BemerkungHinweis zur Reihenfolge: Alternativ kann mit der Untersuchung der "Induktion durch Flächenänderung" begonnen werden.Je nach Aufbau besteht die lehrreiche Möglichkeit zur Vertauschung der Induktions- und felderzeugenden Spule. |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung3. Experimente zur Überprüfung von Hypothesen planen (unter anderem vermutete Einflussgrößen getrennt variieren)6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen (auch mithilfe digitaler Werkzeuge) | 3.4.2.2 Elektrodynamik(2) das Faraday’sche Induktionsgesetz untersuchen und beschreiben ([…]) | Stunden: 2Induktion durch Änderung der vom Magnetfeld durchsetzten Fläche* Erklärung mit Lorentzkraft zum Beispiel an einem bewegten Leiter auf Schienen senkrecht zum Magnetfeld (hier ist die Gleichung möglich)
* quantitative Untersuchung (bewegter Spulenrahmen) führt zu
* Orientierung der Fläche senkrecht zum Magnetfeld oder Projektion
 | BemerkungZur Motivation der "Induktion durch Flächenänderungen" sind Freihandexperimente möglich zum Beispiel Zusammenziehen einer Leiterschlaufe im Magnetfeld eines Hufeisenmagneten bzw. bewegte, lange Leiterschlaufe im Erdmagnetfeld.   |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen2.2 Kommunikation2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern (Ursache-Wirkungs-Aussagen, unbekannte Formeln)  | 3.4.2.2 Elektrodynamik(2) das Faraday’sche Induktionsgesetz untersuchen und beschreiben ([…]) | Stunden: 2Induktiongesetz:* Übergang von zu und von zu und entsprechend
* Zusammenführung ,magnetischer Fluss
* Lenz’sche Regel (zum Beispiel mittels bewegtem Leiter oder mittels Thomson'schen Ring-Versuch)
* Begründung des Vorzeichens

und Richtung der elektrischen Wirbelfelder  | BemerkungVerknüpfung zur Mathematik: Produktregel |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben13. ihr physikalisches Wissen anwenden […]2.2 Kommunikation7. in unterschiedlichen Quellen recherchieren, Erkenntnisse sinnvoll strukturieren, sachbezogen und adressatengerecht aufbereiten sowie unter Nutzung geeigneter Medien präsentieren 2.3 Bewertung9. Technologien auch unter sozialen, ökologischen und ökonomischenAspekten diskutieren | 3.4.2.2 Elektrodynamik(4) technische Anwendungen des Induktionsgesetzes qualitativ beschreiben (zum BeispielGenerator, Transformator, Induktionsladegerät, Induktionskochplatte) | Stunden: 2Elektrische Wirbelströme:* als Vertiefung zur Lenz’schen Regel
* Anwendungen (zum Beispiel Wirbelstrombremse, Induktionskochfeld)

Weitere Anwendungen der Induktion:* Generator (Erzeugung sinusförmiger Wechselspannung)
* Transformator, Induktionsladegerät
 | BemerkungMögliches Stationenlernenzu technischen Anwendungen oder Recherche/Textarbeit in Gruppen |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung5. Messwerte auch digital erfassen und auswerten (unter anderem Messwerterfassungssystem, Tabellenkalkulation)2.2 Kommunikation2. funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen verbal beschreiben („je-desto“-Aussagen) und physikalische Formeln erläutern (Ursache-Wirkungs-Aussagen […]) 4. physikalische Vorgänge und technische Geräte beschreiben (zum Beispiel zeitliche Abläufe, kausale Zusammenhänge) 5. physikalische Experimente, Ergebnisse und Erkenntnisse – auch mithilfe digitaler Medien – dokumentieren (Skizzen, Beschreibungen, Tabellen, Diagramme und Formeln)  | 3.4.2.2 Elektrodynamik(3) Selbstinduktionseffekte an einem Beispiel beschreiben (Induktivität, )3.4.2.1 Elektrische und magnetische Felder9) Charakteristische Größen einer schlanken Spule berechnen (, ) | Stunden: 5Selbstinduktion, Induktivität von Spulen:*
* Induktivität einer schlanken Spule
* Energie im Magnetfeld einer Spule

 Selbstinduktion bei Ein- und Ausschaltvorgängen in Stromkreisen mit Spulen:* I-t-Diagramme und U-t-Diagramme
 | BemerkungMöglich ist der Einsatz von Messwerterfassungssystemen zur Untersuchung von Ein- und AusschaltvorgängenMögliche Vertiefungen:* mathematische Beschreibung der Kurven des Ein- und Ausschalt-vorgangs mittels Exponentialfunktion
* Bestimmung von und aus den Diagrammen
 |

Themenbereich „Schwingungen“

Didaktische Überlegungen

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

Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ProzessbezogeneKompetenzen | InhaltsbezogeneKompetenzen | Unterrichtsverlauf | Bemerkungen |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung1. 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 , Amplitude , Periodendauer , Frequenz , Kreisfrequenz ) | Stunden: 2Beschreibung periodischer Bewegungen:* Beispiele periodischer Bewegungen
* Auslenkung, Amplitude
* Periodendauer, Frequenz
* (harmonische) Schwingung einer Stimmgabel
 | Bemerkung Wiederholung:aus der Akustik bekannte Begriffe |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung1. 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: 5Beschreibung einer ungedämpften harmonischen Schwingung (hier gezeigt am Beispiel des vertikalen Federpendels):* Aufnahme eines Auslenkungs-Zeit-Diagramms
* Zeigerdarstellung (Vergleich mit Kreisbewegung)
* Beschreibung der Energieumwandlungen
 | BemerkungAnknüpfung an die Mechanik der Mittelstufe:*
 |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen2.2 Kommunikation5. physikalische Experimente, Ergebnisse und Erkenntnisse – auch mithilfe digitaler Medien – dokumentieren (Skizzen, Beschreibungen, Tabellen, Diagramme und Formeln)  | 3.4.3 Schwingungen(3) den Zusammenhang zwischen *harmonischen* mechanischen *Schwingungen* und *linearer Rückstellkraft* an Beispielen beschreiben (4) die Schwingung eines Federpendels erklären ( ) und die auftretendenEnergieumwandlungen beschreiben | Stunden: 6harmonische Schwingungen qualitativ erklären (vertikales Federpendel):* Unterscheidung Federdehnung und Auslenkung, Gleichgewichtslage
* Rückstellkraft
* Schwingungs-Differentialgleichung
* Periodendauer
* Energieumwandlung am Federpendel
 | BemerkungMögliche Schülerexperimente:Messwerterfassung an einem Federpendel mit verschiedenen Sensoren (Kraftsensor, Beschleunigungssensor, Abstandssensor)Mögliche Vertiefungen:* Weitere Schülerexperimente:

Digitale Endgeräte als Fadenpendel* Phänomene zur erzwungenen Schwingung und Resonanz (z.B. Videos zur Tacoma-Bridge und zur Bodenresonanz beim Hubschrauber)
 |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung10. Analogien beschreiben und zur Lösung von Problemstellungen nutzen2.2 Kommunikation4. physikalische Vorgänge […] beschreiben (zum Beispiel zeitliche Abläufe, kausale Zusammenhänge)  | 3.4.3 Schwingungen (5) die Schwingung in einem elektromagnetischen Schwingkreis erklären und die auftretendenEnergieumwandlungen beschreiben(6) anhand eines Federpendels und eines elektromagnetischen Schwingkreises Gemeinsamkeitenund Unterschiede von mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen erläutern | Stunden: 5Vorgänge beim elektromagnetischen Schwingkreis beschreiben und erklären* Aufnahme von und am Schwingkreis
* Erklärung der Vorgänge auf Basis der Induktion
* Energieumwandlungen elektromagnetischer Schwingungen
* Gemeinsamkeiten und Unterschiede von elektromagnetischem Schwingkreis und Federpendel
 | BemerkungMögliche Schülerexperimente mit Messwerterfassungssystemen |

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

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ProzessbezogeneKompetenzen | InhaltsbezogeneKompetenzen | Unterrichtsverlauf | Bemerkungen |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben | 3.4.4 Wellen(1) Wellen mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen beschreiben (Wellenlänge λ,Ausbreitungsgeschwindigkeit, […])(2) grundlegende Wellenphänomene beschreiben ([…] Energietransport) und in Alltagssituationen erkennen (zum Beispiel Meereswellen […]) | Stunden: 2Grundlagen:Eigenschaften und Größen an Beispielen einführen, insb. * Periodendauer
* Wellenlänge
* Ausbreitungsgeschwindigkeit
* Welle als Kette von gekoppelten Oszillatoren (Energietransport ohne Materietransport)
 | BemerkungPhänomenologische 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 Erkenntnisgewinnung8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen | 3.4.4 Wellen(1) Wellen mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen beschreiben (Wellenlänge,Ausbreitungsgeschwindigkeit, […]) | Stunden: 3Mathematische Beschreibung einer linearen harmonischen Welle* Beschreibung der Wellenausbreitung mit dem Zeigermodell.
* Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge und Frequenz
* s-t-Diagramm und s-x-Diagramm
* Strecken und Phasendifferenz
 | BemerkungMögliche Vertiefungen bzw. Anwendungen: Wellenarten (Longitudinal- und Transversalwelle) sowielongitudinale und transversale Erdbebenwellen |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung1. 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: 2Eigenschaften von Wellen und Wellenphänomene* Beugung
* Reflexion (am festen und losen Ende, Phasensprung)
* Polarisation
* Überlagerung von Wellen
 | BemerkungHinweis: Beeindruckend sind Beugungserscheinungen von Tsunamis auf Ozeanen (Animationen von Satellitendaten)Reflexion und Überlagerung mit "Slinky"Mögliche Vertiefung: Wellenphänomene am Beispiel von Schallwellen |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung6. 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 destruktiverInterferenz, Reflexion an festen beziehungsweise losen Enden, Wellenlängenbestimmungmittels Knotenabstand) | Stunden: 6Stehende Wellen:* 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 bei unterschiedlichen Enden
* Unterschiede und Gemeinsamkeiten von fortschreitenden und stehenden Wellen
 | BemerkungEinstiegsexperiment mit "Slinky"Hinweis: SimulationenMögliche Vertiefung: Eigenfrequenz und Resonanz bei Musikinstrumenten (evtl. Chladni'sche Klangfiguren)Mögliche Vertiefungen anhand stehender Longitudinalwellen bei der Schallausbreitung* Kundt´sches Rohr
* Schwingende Luftsäule auf Wasseroberfläche
 |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären […] | 3.4.4 Wellen(2) grundlegende Wellenphänomene beschreiben (Beugung, Reflexion, Brechung, […]) […](5) grundlegende Wellenphänomene mithilfe des Huygens’schen Prinzips erklären (zum Beispiel Beugung, Reflexion) | Stunden: 3Huygens'sches Prinzip* Wellen auf einem zweidimensionalen Wellenträger (zum Beispiel Wasseroberfläche): Wellenfront und Wellennormale
* Elementarwellen und Einhüllende
* Anwendungen: zum Beispiel Beugung, Reflexion
 | BemerkungKlassische Wellenwanne, Simulationen, Apps auf digitalen Endgeräten etc.  |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen […] | 3.4.4 Wellen(4) mithilfe des Gangunterschieds die Überlagerung zweidimensionaler kohärenter Wellen qualitativ beschreiben | Stunden: 7Interferenzphänomene in der Ebene* Gangunterschied, Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz
* Gangunterschied und Phasendifferenz (Formel)
 | BemerkungGeeignet sind Freihandexperimente zum Einstieg (Zonen destruktiver Interferenz) bzw. Experiment mit zwei LautsprechernMögliche Vertiefung: Konstruktion des Interferenzfeldes und Energieverteilung im Interferenzfeld |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren | 3.4.4 Wellen(1) Wellen mithilfe charakteristischer Eigenschaften und Größen beschreiben ([…], Polarisation)(8) das elektromagnetische Spektrum im Überblick beschreiben | Stunden: 4Elektromagnetische Wellen * Lichtgeschwindigkeit
* Polarisation
* Experimente zur Beugung am Einzelspalt und Doppelspalt, zur Polarisation, zu stehenden Wellen
* Elektromagnetisches Spektrum im Überblick
 | BemerkungGeeignet sind Experimente mit Mikrowellen und Dezimeterwellen Mögliche Vertiefung: Erzeugung elektromagnetischer Wellen mittels eines Hertz'schen Dipols |

* 1. Themenbereich „Wellenoptik“
		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.

* + 1. Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ProzessbezogeneKompetenzen | InhaltsbezogeneKompetenzen | Unterrichtsverlauf | Bemerkungen |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung9. zwischen realen Erfahrungen und konstruierten, idealisierten Modellvorstellungen unterscheiden […]11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren2.3 Bewertung4. Grenzen physikalischer Modelle an Beispielen erläutern 8. Chancen und Risiken von Technologien mithilfe ihres physikalischen Wissens bewerten  | 3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen (3) die Funktion von Modellen in der Physik erläutern […]3.4.5 Wellenoptik(1) kohärentes Licht als elektromagnetische Welle beschreiben (unter anderem Lichtgeschwindigkeit)(2) das Strahlenmodell und das Wellenmodell des Lichts miteinander vergleichen (Gültigkeitsbereich des Strahlenmodells: zum Beispiel Beugung an einer Blende, Dispersion) | Stunden: 3Einführung in die Wellenoptik:* Einstiegsexperiment: Einzelspaltbeugung
* Begriffsbildungen: Strahlenoptik, Wellenoptik, Ausblick zur Quantenoptik;

Gültigkeitsgrenzen* Lichtquellen: thermisches Licht, Laser-Licht; Kohärenz
 | Bemerkung Einstiegsexperiment: Bau eines Einzelspalts mit Objektträger, Aluminiumfolie, Cutter-Messer, Kleber; Kerzenlicht als polychromatische Lichtquelle  |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung12. Sachtexte mit physikalischem Bezug sinnentnehmend lesen2.2 Kommunikation4. physikalische Vorgänge und technische Geräte beschreiben (zum Beispiel zeitliche Abläufe, kausale Zusammenhänge)7. in unterschiedlichen Quellen recherchieren, Erkenntnisse sinnvoll strukturieren, sachbezogenund adressatengerecht aufbereiten sowie unter Nutzung geeigneter Medien präsentieren2.3 Bewertung11. historische Auswirkungen physikalischer Erkenntnisse beschreiben | 3.4.5 Wellenoptik(1) kohärentes Licht als elektromagnetische Welle beschreiben (unter anderem Lichtgeschwindigkeit) | Stunden: 2Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit* Recherche zu Experimenten zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit und Vergleich historischer und moderner Versuchsaufbauten
 | BemerkungGruppenarbeit mit Präsentation |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung4. Experimente durchführen und auswerten, dazu gegebenenfalls Messwerte erfassen6. mathematische Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen herstellen und überprüfen […]2.3 Bewertung7. Risiken und Sicherheitsmaßnahmen bei Experimenten und im Alltag mithilfe ihres physikalischen Wissens bewerten  | 3.4.5 Wellenoptik(1) kohärentes Licht als elektromagnetische Welle beschreiben (unter anderem Lichtgeschwindigkeit)(3) die Struktur der Interferenzmuster und der Intensitätsverteilung bei Beugung an Doppelspaltund Gitter beschreiben(4) die Lage von Interferenzminima beziehungsweise Interferenzmaxima bei ausgewählten Beugungsvorgängen in Fernfeldnäherungen berechnen (Maxima beim Doppelspalt, Hauptmaxima beim Gitter)(5) die Spektralzerlegung des Lichts polychromatischer Lichtquellen als Interferenzphänomenerklären und am Doppelspalt oder Gitter experimentell untersuchen | Stunden: 8Doppelspalt und Gitter:* 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:

Wellenlängenabhängigkeit des Beugungswinkels und Überlagerung der Spektren | BemerkungSicherheitshinweise Laser-Licht beachtenErstmalige Bestimmung der Wellenlänge von LichtMögliches Schüler-Praktikum: Strukturanalyse einer CD-ROM, DVD und Blue-ray 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) |

* 1. Themenbereich „Quantenphysik und Materie“
		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.

* + 1. Tabellarische Darstellung der Unterrichtssequenz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ProzessbezogeneKompetenzen | InhaltsbezogeneKompetenzen | Unterrichtsverlauf | Bemerkungen |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung9. zwischen realen Erfahrungen und konstruierten, idealisierten Modellvorstellungen unterscheiden […]11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren2.2 Kommunikation1. zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung unterscheiden 3. sich über physikalische Erkenntnisse und deren Anwendungen unter Verwendung der Fachsprache und fachtypischer Darstellungen austauschen ([…])  | 3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen (1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment […]) 3.4.6 Quantenphysik und Materie (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 [...](8) [...] räumlich getrennte Objekte eines zusammengesetzten Systems aus Objekten der Klassischen Physik alle ihre messbaren Eigenschaften unabhängig voneinander besitzen [...] | Stunden: 1Eigenschaften physikalischer Systeme der klassischen Physik:* 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")
 | Bemerkung 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.  |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen12. Sachtexte mit physikalischem Bezug sinnentnehmend lesen2.3 Bewertung1. bei Experimenten relevante von nicht relevanten Einflussgrößen unterscheiden 4. Grenzen physikalischer Modelle an Beispielen erläutern 11. historische Auswirkungen physikalischer Erkenntnisse beschreiben | 3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen (3) die Bedeutung von Naturkonstanten beschreiben […] 3.4.6 Quantenphysik und Materie (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 [...] | Stunden: 6Lichtelektrischer Effekt:* 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
 | BemerkungLehrreich ist die Lektüre der entsprechenden Absätze in Einsteins Artikel. Mögliche Vertiefung zum Photonenimpuls: Compton-Effekt. |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren | 3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen (3) die Funktion von Modellen in der Physik erläutern […]3.4.6 Quantenphysik und Materie (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 Quantenobjekten am Doppelspalt beschreiben  | Stunden: 3Materiewellen:* de Broglie Hypothese
* Elektronenbeugung am Graphit-Kristall (qualitativ)
* Doppelspaltexperimente (quantitativ) von Elektronen, Neutronen, C-60 Molekülen, Positronen etc.
 | BemerkungGedankenexperimente zur Wellenlänge von makroskopischen Körpern |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen11. mithilfe von Modellen Phänomene erklären und Hypothesen formulieren2.2 Kommunikation1. zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung unterscheiden 4. physikalische Vorgänge […] beschreiben ([…] kausale Zusammenhänge) 2.3 Bewertung3. Hypothesen anhand der Ergebnisse von Experimenten beurteilen 4. Grenzen physikalischer Modelle an Beispielen erläutern  | 3.4.6 Quantenphysik und Materie (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) | Stunden: 6Simulationen zu Experimenten mit Quantenobjekten am Doppelspalt (Taylor-Experiment)* Unterschiede zwischen klassischen Wellen und Quantenobjekten anhand der Beobachtungen beschreiben.
* Beschreibung und Interpretation der Beobachtungen anhand von Wahrscheinlichkeitsaussagen
 | BemerkungSimulationen zum Doppelspaltexperiment können als Schülerexperimente eingesetzt werden zur individuellen Auseinandersetzung mit den PhänomenenHinweis: 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). |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung2. Hypothesen zu physikalischen Fragestellungen aufstellen | 3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen (1) an Beispielen beschreiben, dass Aussagen in der theoriegeleiteten Physik grundsätzlich empirisch überprüfbar sind (Fragestellung, Hypothese, Experiment […]) 3.4.6 Quantenphysik und Materie(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)(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) | Stunden: 2Realität und Lokalität* Vergleich von zwei unabhängigen Photonen und zwei verschränkten Photonen
* Realität und Lokalität in klassischer Physik und Quantenphysik
 | BemerkungHinweis: Betrachtet man statt doppelbrechender Kristalle atomare Photonenkaskaden (zum Beispiel in Kalzium-Atomen) können die Schülerinnen und Schüler die Erzeugung verschränkter Photonen verstehen. Mögliche Vertiefung: Simulationen zur Verschränkung und Kryptographie  |
| 2.1 Erkenntnisgewinnung1. Phänomene und Experimente zielgerichtet beobachten und ihre Beobachtungen beschreiben8. mathematische Umformungen zur Berechnung physikalischer Größen durchführen2.3 Bewertung4. Grenzen physikalischer Modelle an Beispielen erläutern  | 3.4.1 Denk- und Arbeitsweisen (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 […]3.4.6 Quantenphysik und Materie (9) Linienspektren von Atomen als Übergänge zwischen diskreten Energieniveaus beschreibenund 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)  | Stunden: 10Atomphysik* 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
* Linienspektrum von atomarem Wasserstoff, Balmer-Serie
* Energieniveauschema (Übergänge zwischen Energieniveaus)
* Rydberg-Formel, Bohr'sche Frequenzbedingung, Energiewerte des Wasserstoffatoms
* Wasserstoffähnliche Atome
 | BemerkungHinweis: Die Emissionsspektren verschiedener Elemente können experimentell bestimmt werden, bei hinreichender Ausstattung auch im Rahmen von Schülerexperimenten.Erfolgreiche Modellbildungen der Atome bzw. Moleküle müssen die experimentell beobachteten Linienspektren reproduzieren. |