

2026

Lehrplan / Programme

DFG / LFA

Physik / Physique

**Vertiefungsfach /
Enseignement de spécialité**

**Klassenstufen 11 und 12 /
Classes de 1ère et Terminale**

Inhaltsverzeichnis

1. Leitgedanken.....	3
1.1. Bildungsziele	3
1.2. Zielsetzungen	3
1.3. Methodische Herausforderungen	4
1.4. Leistungsbewertung.....	5
2. Thematische Inhalte.....	5
2.1. Messungen und Messunsicherheiten (Querschnittsthema)	6
2.2. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Die vier fundamentalen Wechselwirkungen	7
2.3. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung – Bewegung eines Systems.....	7
2.4. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung – Gravitation: Gravitationsfeld	8
2.5. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: elektrisches Feld	9
2.6. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: magnetisches Feld	10
2.7. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: Elektromagnetisches Feld und Induktion	12
2.8. Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Thermodynamik.....	13
2.9. Signale, Schwingungen, Wellen - Elektrische Signale in quasistationären Feldern (ARQS)	14
2.10. Signale, Schwingungen, Wellen - Freie und erzwungene Oszillatoren	16
2.11. Signale, Schwingungen, Wellen - Einführung in mechanische Wellen	17
2.12. Signale, Schwingungen, Wellen - Mechanische Wellenphänomene	19
2.13. Signale, Schwingungen, Wellen - Einführung in die elektromagnetischen Wellen	20
2.14. Signale, Schwingungen, Wellen - Geometrische Optik.....	21
2.15. Signale, Schwingungen, Wellen - Elektromagnetische Wellenphänomene und physikalische Optik.....	23
2.16. Quantenphysik - Quantenobjekte	25
2.17. Quantenphysik – Quantisierung der Energieniveaus	26
2.18. Quantenphysik – Ergänzungen	27
2.19. Kernphysik - Kernumwandlungen	30
3. Operatoren	32

1. Leitgedanken

1.1. Bildungsziele

Die Physik bietet eine rationale Analyse der Natur und ihrer Veränderungen. Ziel ist es, die reale Welt mithilfe universell gültiger Prinzipien zu verstehen, die durch Beobachtung, Experiment und Messung überprüft werden.

Die Disziplin ist historisch eng mit der Mathematik verknüpft, deren Sprache sie zur modellhaften Beschreibung der Realität einsetzt.

Der Physikunterricht vertieft das Verständnis dieser Modelle und vermittelt experimentelle Kompetenzen, mit denen sich die Modelle an der Wirklichkeit überprüfen lassen.

Die Physik steht im Mittelpunkt zahlreicher technischer Innovationen, die die Gesellschaft, in der wir leben, kontinuierlich verändern: Diese Anwendungen bieten der Lehrkraft zahlreiche alltagsnahe Kontexte für die Anwendung der vermittelten Konzepte.

An den Deutsch-Französischen Gymnasien vereint der Physikunterricht mehrere Ziele in ausgewogener Weise:

- den Lernenden zentrale Konzepte in vielfältigen Kontexten vorstellen, um natürliche Phänomene und technische Systeme zu beschreiben und zu analysieren;
- die Schülerinnen und Schüler für ein naturwissenschaftliches Studium vorbereiten, indem Methoden und Gegenstände vorgestellt werden, die ihnen später wiederbegegnen;
- die Lernenden mit der wissenschaftlichen Arbeitsweise vertraut machen, ihre Stärken und Grenzen aufzeigen und Instrumente zur Validierung von Wissen bereitstellen;
- einige geschichtliche Meilensteine der Physik vermitteln, an denen französische und deutsche Forschende maßgeblich beteiligt waren.

Der wissenschaftliche Ansatz kennt keine Grenzen; er hat die Aufgabe, Wissen mit einer universellen Reichweite aufzubauen, dessen Internationalität in einer binationalen Schule ihren Platz findet.

1.2. Zielsetzungen

Der Physikunterricht entwickelt eine Reihe von Kompetenzen, die bei jeder wissenschaftlichen Herangehensweise eingesetzt werden. Diese Kompetenzen, die in der folgenden Tabelle aufgeführt sind, strukturieren sowohl die Ausbildung als auch die Bewertung der Lernenden. Einige Beispiele zugehöriger Teilkompetenzen verdeutlichen die Ausprägung der einzelnen übergeordneten Kompetenzen, wobei die Gesamtheit keinen starren Rahmen bilden soll.

Übergeordnete Kompetenzen	Beispiele zugehöriger Teilkompetenzen
Sich aneignen	eine Problemstellung formulieren Informationen im Zusammenhang mit der untersuchten Fragestellung suchen und ordnen die Situation schematisch darstellen
Analysieren / Schließen	eine Hypothese formulieren eine Lösungsstrategie formulieren, um ein Problem zu lösen Aufgaben planen ein Modell oder relevante Gesetze passend auswählen ein Verfahren oder Protokoll auswählen, entwickeln und begründen

Durchführen	die Schritte einer Vorgehensweise / eines Ansatzes umsetzen ein Modell verwenden und Vorhersagen damit treffen Durchführen gängiger Verfahren (Berechnungen, Darstellungen, Datenerhebungen, Größenordnungen abschätzen, Analogien ziehen usw.). ein Versuchsverfahren / experimentelles Protokoll unter Einhaltung der Sicherheitsvorschriften durchführen
Validieren	kritisch denken, Plausibilitätsprüfungen durchführen Quellen der Messunsicherheit erkennen, eine Messunsicherheit abschätzen und mit einem Referenzwert vergleichen ein Modell mit experimentellen Ergebnissen vergleichen mögliche Verbesserungen der Vorgehensweise / des Ansatzes oder des Modells vorschlagen
Kommunizieren	Schriftlich und mündlich: - eine Vorgehensweise argumentativ, prägnant und kohärent darstellen - einen angemessenen Wortschatz verwenden und geeignete Darstellungsformen wählen - sich unter Gleichaltrigen austauschen

Der Physikunterricht entwickelt darüber hinaus Querschnittskompetenzen unterschiedlicher Art.

Über die fachlichen Inhalte hinaus fördert der Physikunterricht das kritische Denken der Lernenden, indem er die Validierung wissenschaftlicher Aussagen in den Mittelpunkt stellt (Kompetenz „Validieren“).

Er schärft zudem ihr Verständnis für aktuelle Herausforderungen wie die Energiewende und Klimawandel, damit sie demokratische Entscheidungen, die sie jetzt und in Zukunft treffen müssen, mit rationalen Argumenten belegen zu können.

Die kollektive Dimension des wissenschaftlichen Aufbaus von Wissen im Bereich der Physik ist ein Beispiel, an dem sich Lehrkräfte orientieren sollten, um zur Entwicklung von Teamfähigkeit beizutragen. Labor- und Projektarbeiten im Zweier- oder Gruppenformat im Unterricht, tragen wesentlich dazu bei.

Digitale Kompetenzen sind integraler Bestandteil des Faches. Jedes Themengebiet bietet Lehrkräften zudem zahlreiche Beispiele, um in ihrem Unterricht technologische Anwendungen aus dem Alltag einzubinden.

1.3. Methodische Herausforderungen

Die didaktischen Ansätze, die in den Physiklehrplänen in Deutschland und Frankreich umgesetzt werden, unterscheiden sich in mancherlei Hinsicht (Stellenwert der Modellierung, des gemeinsamen Argumentierens, des Experimentierens usw.). Physiklehrkräfte an Deutsch-Französischen Gymnasien müssen sich dieser Unterschiede bewusst sein und die Vorteile der einzelnen Ansätze nutzen, indem sie sie an ihre Schülerschaft anpassen. Es ist besonders lehrreich, den Schülerinnen und Schülern die jeweils andere Herangehensweise vorzustellen; der Perspektivwechsel vertieft das Verständnis physikalischer Phänomene und Gesetze.

Vor diesem Hintergrund ist dieser Lehrplan aufgebaut: Einige Themen folgen eher der französischen, andere der deutschen Tradition. Alle werden von den Schritten, die sie im Sinne eines besseren Verständnisses der Gepflogenheiten des Partnerlandes machen werden, profitieren.

Die sprachliche Dimension ist für den Aufbau dieser gemeinsamen Kultur von grundlegender Bedeutung. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass die Lehrkräfte beider Länder ihren Schülerinnen und Schülern in beiden Sprachen die wichtigsten Elemente des wissenschaftlichen Vokabulars vermitteln, die in den verschiedenen Themenbereich eingesetzt werden. Der Unterricht soll durch die Arbeit an wissenschaftlich orientierten Originaltexten bereichert werden, die in der jeweiligen Partnersprache verfasst sind.

1.4. Leistungsbewertung

Die Leistungsbewertung in Physik sollte sich auf eine Vielzahl von Situationen stützen, die die Vielfalt der in diesem Fach vorkommenden Formate widerspiegelt: schriftliche Leistungsmessung, Kurztests, Quiz, Durchführung von Experimenten, mündliche Präsentationen auch im Rahmen von praktischen Arbeiten, Dokumentenanalysen, wissenschaftliche Debatten usw. Sie kann individuell oder in Gruppen erfolgen, wobei auch hier die Bewertung jedes Gruppenmitglieds individuell erfolgt. Sie ist in erster Linie ein grundlegendes Element zur Verbesserung des Lernens. Ihre formative Dimension ist von entscheidender Bedeutung, selbst in Bewertungssituationen, in denen der summative Aspekt im Vordergrund steht.

Daher sollen Leistungsmessungen, bei denen Erwartungshorizonte klar zu formulieren sind, zu schnellen und detaillierten Rückmeldungen der Lehrkräfte an ihre Schülerinnen und Schüler führen. Auch gegenseitige Bewertungen (teilweise oder vollständige Bewertungen durch Mitschülerinnen und Mitschüler / „Peer Reviews“) sind empfehlenswert. Bei Bedarf können differenzierte Fördermaßnahmen eingesetzt werden.

2. Thematische Inhalte

In den folgenden Tabellen sind das erforderliche Fachwissen und die zugehörigen Kompetenzen, die von den Lernenden beherrscht werden müssen, nach Themen geordnet aufgeführt. Den "Begriffen und Inhalten" in der ersten Spalte der Tabellen entsprechen eine oder mehrere "verbindliche Kompetenzen" in der zweiten Spalte. Experimentell ausgerichtete Fähigkeiten sind kursiv und mit [CE] gekennzeichnet, digital ausgerichtete Fähigkeiten kursiv und mit [CN]. Die empfohlene Programmiersprache ist Python.

Die Themen erlauben vielfältige Alltagsbezüge – insbesondere die Analyse der Ursachen und Folgen von Klimawandel und Energiewende. Die Geschichte der Physik dient als Hintergrund, um die vorgestellten Konzepte zu beleuchten. Die epistemische Dimension des wissenschaftlichen Ansatzes (kollektiver Aufbau des wissenschaftlichen Wissens, Funktionsweise der wissenschaftlichen Gemeinschaft / Scientific Community, Stärken und Grenzen der wissenschaftlichen Methode usw.) muss im Unterricht auf einem angemessenen Niveau und in einem angemessenen Umfang berücksichtigt werden.

Es steht den Lehrkräften frei, in den Klassenstufen 11 und 12 die Themen, Kenntnisse und Fähigkeiten in der von ihm gewählten Reihenfolge zu behandeln; es wird jedoch explizit darauf hingewiesen, dass folgende Themen bereits in der Klassenstufe 11 behandelt werden müssen:

- Messungen und Unsicherheiten; ausgenommen zusammengesetzte Messunsicherheiten, die erst in Jahrgangsstufe 12 eingeführt werden
- Wechselwirkungen, Felder und Bewegung :
 - Die vier fundamentalen Wechselwirkungen
 - Bewegung eines Systems
 - Gravitative Wechselwirkung – Gravitations- und Schwerfelder
 - Elektromagnetische Wechselwirkung: Elektrisches Feld
- Signale, Schwingungen, Wellen:
 - Elektrische Signale im quasi-stationären Regime (ARQS)

Die folgenden zwei Themen sind nicht Teil des Programms der Abschlussprüfung im deutsch-französischen Abitur:

- Signale, Schwingungen, Wellen: Geometrische Optik
- Quantenphysik: Zusätze

Einige Fähigkeiten sind allen oder mehreren Themen gemeinsam und werden nicht systematisch in der tabellarischen Auflistung wiederholt:

- die Sicherheitsregeln im Zusammenhang mit der Arbeit im Labor einhalten;
- Messunsicherheiten analysieren, kontrollieren und, wenn möglich, minimieren;
- Datenerfassungs- und -verarbeitungssysteme einsetzen: Mikrocontroller, Messinterface, Tabellenkalkulation, Programmiersprache.

2.1. Messungen und Messunsicherheiten (Querschnittsthema)

Bei der Behandlung dieses Themas liegt der Schwerpunkt eher auf der Visualisierung und Auswertung von Messunsicherheiten als auf deren mathematischer Behandlung. Hierzu werden digitale Werkzeuge, darunter die Programmiersprache Python, eingesetzt.

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Streuung von Messwerten einer physikalischen Größe	Die Schülerinnen und Schüler • Werten eine Reihe von unabhängigen Messungen einer physikalischen Größe aus: Histogramm, Mittelwert und Standardabweichung, • diskutieren die Ursachen für die Streuung von Messwerten sowie den Einfluss des Messgeräts und des Messprotokolls, • bewerten die Streuung einer Reihe unabhängiger Messwerte qualitativ, • stellen das zu einer Messreihe gehörige Histogramm mithilfe einer Tabellenkalkulation oder einer Programmiersprache dar [CN], • definieren eine Messunsicherheit qualitativ, • führen die Bestimmung einer Messunsicherheit durch einen statistischen Ansatz durch (Bewertung vom Typ A), • erläutern den Nutzen einer großen Anzahl von Messungen zur Verringerung der Messunsicherheit des Mittelwertes, • führen die Bestimmung einer Messunsicherheit durch einen nicht-statistischen Ansatz mithilfe einer vorgegebenen Formel durch (Bewertung vom Typ B), • bestimmen mithilfe einer vorgegebenen Formel die Messunsicherheit einer Größe, die von anderen Größen abhängt, deren Messunsicherheiten bekannt sind, • simulieren mit einer Tabellenkalkulation oder einer Programmiersprache einen Zufallsprozess, um die Streuung der Werte einer zusammengesetzten Größe zu charakterisieren [CN],
Messunsicherheit	
Zusammengesetzte Messunsicherheiten	
Angabe des Messergebnisses	
Vergleich zweier Werte; normierte Abweichung	
Lineare Regression	

2.2. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Die vier fundamentalen Wechselwirkungen

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Gravitation, elektromagnetische, starke und schwache Wechselwirkung; Reichweiten	Die Schülerinnen und Schüler • charakterisieren die vier fundamentalen Wechselwirkungen hinsichtlich ihrer Reichweite, • vergleichen die Größenordnungen der fundamentalen Wechselwirkungen in einem gegebenen Kontext, • ordnen jeder fundamentalen Wechselwirkung eine oder mehrere physikalische Situationen zu, in denen sie bestimmend ist, • nennen Forschungsfragen zur Untersuchung fundamentaler Wechselwirkungen.

2.3. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung – Bewegung eines Systems

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Beschreibung einer Bewegung. Orts-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren eines Punktes Gleichförmig geradlinige Bewegung und gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung Kreisbewegung und gleichförmige Kreisbewegung Koordinaten der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren im Frenet-Bezugssystem für eine Kreisbewegung (Normal- und Tangentialkomponenten)	Die Schülerinnen und Schüler • definieren den Geschwindigkeitsvektor als Ableitung des Ortsvektors nach der Zeit und den Beschleunigungsvektor als Ableitung des Geschwindigkeitsvektors nach der Zeit, • leiten die kartesischen Koordinaten der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren aus den kartesischen Koordinaten des Orts- und/oder Geschwindigkeitsvektors ab, • charakterisieren eine Bewegung unter Verwendung des Fachvokabulars und der entsprechenden kinematischen Größen (Durchschnittsgeschwindigkeit, Momentangeschwindigkeit, Beschleunigung, Zentripetalbeschleunigung, Winkelgeschwindigkeit, Periodendauer, Frequenz, Kreisfrequenz), • nennen und wenden die Formeln für die Koordinaten der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren im Frenet-System bei Kreisbewegungen an, • erstellen und/oder werten eine Videoaufnahme oder eine Chronofotografie aus, um die Koordinaten des Ortsvektors in Abhängigkeit von der Zeit zu bestimmen und daraus die angenäherten Koordinaten oder die Darstellung der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren abzuleiten [CE],

Grundgesetz der Dynamik (Zweites newtonsches Gesetz)	• formulieren und nutzen das Grundgesetz der Dynamik, um - die Beschleunigung eines Massepunkts zu bestimmen, wenn die wirkenden Kräfte bekannt sind; - die Summe der auf das System wirkenden Kräfte zu bestimmen, wenn die Beschleunigung des ihn modellierenden Massepunktes bekannt ist, • diskutieren die Bewegung eines Massepunktes unter Krafteinwirkung qualitativ durch iteratives Schließen, • setzen ein Versuchsprotokoll um, das die Untersuchung eines Kraftgesetzes ermöglicht [CE],
Impuls	• nennen und wenden die Formel für den Impuls eines Systems an, welches durch einen oder mehrere Massenpunkte modelliert wird,
Erhaltung des Impulses für ein abgeschlossenes oder quasi-isoliertes System. Anwendung auf Stöße	• identifizieren Situationen, in denen der Impuls erhalten bleibt oder nicht, und begründen dies. • wenden den Impulserhaltungssatz des Impulses für ein abgeschlossenes oder quasi-isoliertes System in eindimensionalen Fällen (z. B. Stoß) an,
Energiebilanz eines mechanischen Phänomens; Arbeit einer Kraft; „Théorèmes de l'énergie cinétique et de l'énergie mécanique.“	• nennen und wenden die Formel für die Arbeit einer konstanten Kraft an, • formulieren und wenden die „Théorèmes de l'énergie cinétique et de l'énergie mécanique“ an (die Änderung der kinetischen Energie eines Körpers entspricht der Summe der durch äußere Kräfte verrichteten Arbeit).

2.4. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung – Gravitation: Gravitationsfeld

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Gravitationskraft; Gravitationsfeld Modell des homogenen Gravitationsfelds in der Nähe der Oberfläche eines Planeten; Bewegung in einem homogenen Gravitationsfeld	Die Schülerinnen und Schüler • nennen und wenden die vektoriellen Ausdrücke für die Gravitationskraft und für das Gravitationsfeld an, • nähern das Gravitationsfeld in der Nähe der Planetenoberfläche durch ein homogenes Feld an, • zeigen, dass die Bewegung in einem homogenen Feld planar ist. • untersuchen die Bewegung eines Systems, das durch einen Massenpunkt modelliert ist, in einem homogenen Gravitationsfeld (dynamischer und energetischer Zugang zum freien Fall), • bestimmen den Wert der Fallbeschleunigung an einem Ort [CE],

Bewegung in einem Gravitationsfeld; Himmelskörper, Satelliten; Umlaufbahn; Keplersche Gesetze	• beschreiben die möglichen Bewegungen des Schwerpunkts eines Systems in einem Gravitationsfeld, • ermitteln die Eigenschaften der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren des Schwerpunkts eines Systems in Kreisbewegung in einem Gravitationsfeld, • leiten das dritte Keplersche Gesetz für den Fall einer Kreisbewegung her und wenden es an, • diskutieren anhand von Dokumenten die Kontroverse vom Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild im Sonnensystem.
---	--

2.5. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: elektrisches Feld

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Elektrische Ladung; Coulomb-Gesetz	Die Schülerinnen und Schüler • nennen das Coulombsche Gesetz und wenden es an, • vergleichen das Coulombsche Gesetz und das Newtonsche Gravitationsgesetz, • realisieren einen Versuchsaufbau, der die elektrostatische Wechselwirkung verdeutlicht [CE],
Elektrische Kraft; Elektrisches Feld; Superpositionsprinzip; Feldlinien	• geben den vektoriellen Ausdruck der elektrischen Kraft an und verwenden ihn, • interpretieren Experimente, die das elektrische Feld betreffen, • wenden das Superpositionsprinzip für elektrische Felder an, • zeichnen Feldlinienbilder für radiale und homogene Felder sowie das Feld eines Dipols und beachten dabei Symmetrien, • werten ein Feldlinienbild bei einem elektrostatischen Feld aus,
Elektrostatisches Potenzial; Äquipotenziale (Äquipotenzialfläche/-linie); Spannung	• geben die Feldstärke eines homogenen elektrostatischen Feldes zwischen zwei Äquipotenzialen in Abhängigkeit von deren Abstand und der Spannung an und wenden sie an, • konstruieren Äquipotenziale aus gegebenen Feldlinien – und umgekehrt,
Elektrostatisches Feld in einem idealen Plattenkondensator	• diskutieren den Einfluss von Spannung und Plattenabstand auf das innere Feld eines Plattenkondensators,

Bewegung eines geladenen Teilchens im homogenen elektrostatischen Feld; Elektrostatische potenzielle Energie Anwendungen: Elektronenkanone, linearer Teilchenbeschleuniger; Nichtrelativistische Näherung	• untersuchen die Bewegung eines geladenen Teilchens in einem homogenen elektrischen Feld (nicht-relativistische dynamische und energetische Ansätze), • nutzen die Analogie zwischen der Bewegung eines geladenen Teilchens im homogenen elektrostatischen Feld und der Bewegung eines Massenpunktes im Gravitationsfeld, • geben die Formel für die potenzielle Energie eines geladenen Teilchens im elektrostatischen Feld in Abhängigkeit vom elektrostatischen Potential an und wenden sie an, • ermitteln mithilfe einer Energiebilanz die Änderung des Wertes der Geschwindigkeit eines durch eine Potenzialdifferenz beschleunigten oder abgebremsten Teilchens, • erklären das Funktionsprinzip einer Elektronenkanone und eines linearen Teilchenbeschleunigers, • führen Umrechnungen mit der Einheit Elektronenvolt durch.
---	---

2.6. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: magnetisches Feld

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Magnetisches Feld; Quellen (Permanentmagnet, elektrischer Strom)	Die Schülerinnen und Schüler • nennen Größenordnungen von magnetischen Flussdichten magnetischer Felder (Umgebung von Magneten, MRT-Geräten, Erdmagnetfeld an der Erdoberfläche), • geben die Formel für die magnetische Flussdichte einer langen stromdurchflossenen Spule, gegebenenfalls mit ferromagnetischem Kern, an und wenden sie an, • werten die magnetische Flussdichte anhand vorgegebener Ausdrücke aus, • nennen das Teslameter als Messgerät für die magnetische Flussdichte, • messen die magnetische Flussdichte [CE].

Superposition von Feldern; Feldlinien	• wenden das Superpositionsprinzip für magnetostatische Felder an, • stellen Feldlinien eines magnetostatischen Feldes (homogen, dipolar; Stabmagnet, kreisförmige Leiterschleife, lange Spule) unter Berücksichtigung der Symmetrieeigenschaften dar, • werten ein Feldlinienbild eines magnetostatischen Feldes aus, • zeichnen ein Feldlinienbild eines magnetostatischen Feldes [CE],
Lorentzkraft; Bewegung eines geladenen Teilchens im homogenen magnetostatischen Feld	• geben den vektoriellen Ausdruck der Lorentzkraft an und wenden diesen an, • interpretieren die Wirkung der Lorentzkraft in Experimenten, • beschreiben die Wirkung eines homogenen magnetostatischen Feldes auf die Bewegung eines geladenen Teilchens (nur für den Fall, dass die Geschwindigkeit orthogonal zum Magnetfeld steht), • bestimmen den Radius und den Umlaufsinn der Kreisbahn eines geladenen Teilchens in einem homogenen magnetostatischen Feld, dessen Geschwindigkeitsvektor zu Beginn der Bewegung senkrecht zum Magnetfeld steht, • erläutern die Schutzwirkung des Erdmagnetfeldes gegen kosmische Strahlung,
Anwendung: Massenspektrometer	• erläutern das Funktionsprinzip des Massenspektrometers,
Laplace-Kraft auf einen geraden Leiter	• nennen und wenden den vektoriellen Ausdruck der Laplace-Kraft auf einen geradlinigen Leiter in einem homogenen magnetostatischen Feld an, • beschreiben die Wirkung eines homogenen magnetostatischen Feldes auf eine einfache, stromdurchflossene Anordnung, die durch einen oder mehrere geradlinige Leiter modelliert wird (Metallstab, rechteckige Leiterschleife etc.),

- erläutern das Funktionsprinzip eines Gleichstrommotors anhand eines einfachen Modells und nennen Anwendungen.

2.7. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: Elektromagnetisches Feld und Induktion

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Lorentzkraft Bewegung eines geladenen Teilchens in orthogonalen, homogenen elektro- und magnetostatischen Feldern; Wienscher Geschwindigkeitsfilter Elektromagnetische Induktion; Induktionsspannung; Induktionsstrom; Lenzsche Regel; Magnetischer Fluss; Induktionsgesetz Wirbelströme	Die Schülerinnen und Schüler • schätzen Größenordnungen elektrischer bzw. magnetischer Kräfte ab und vergleichen sie mit der Gravitationskraft, • begründen, dass ein elektrisches Feld die kinetische Energie eines Teilchens verändern kann, während ein Magnetfeld dessen Bahn krümmt - ohne die kinetische Energie zu verändern, • erklären das Funktionsprinzip des Wienschen Geschwindigkeitsfilters, • beschreiben Experimente zur Veranschaulichung der Lenzschen Regel und des Induktionsgesetzes durch sowie interpretieren diese [CE], • formulieren die Lenzsche Regel und wenden sie an, um ein Induktionsphänomen vorherzusagen und zu interpretieren, • bestimmen den magnetischen Fluss eines homogenen Magnetfelds durch eine orientierte ebene Fläche, • formulieren das Induktionsgesetz und wenden es unter Angabe der Vorzeichenkonventionen an, • stellen elektrische und mechanische Gleichungen für ein einfaches System vom Typ Laplace-Schienen auf und wenden diese an, • nennen und beschreiben Anwendungen der elektromagnetischen Induktion im Alltag und in der Industrie, • weisen Wirbelströme experimentell nach [CE],

- nennen und beschreiben Anwendungen, die Wirbelströme nutzen (Bremsysteme, Heizungssysteme, usw.),

2.8. Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Thermodynamik

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Thermodynamisches System; Thermodynamischer Gleichgewichtszustand; Zustandsgrößen eines reinen Stoffes: Druck, Temperatur, Volumen; Zustandsgleichung; Beispiele zu idealem Gas und nicht ausdehnbaren, inkompressiblen Flüssigkeiten und Festkörpern	Die Schülerinnen und Schüler • definieren ein geschlossenes System und charakterisieren seinen thermodynamischen Zustand mit geeigneten Zustandsgrößen, • bestimmen eine Temperatur aus einer Bedingung des thermischen Gleichgewichts, • bestimmen einen Druck aus einer Bedingung des mechanischen Gleichgewichts, • verknüpfen die gemessenen Werte makroskopischer Größen qualitativ mit den mikroskopischen Eigenschaften des Systems, • nennen die Zustandsgleichung des idealen Gases und wenden diese an, um das Verhalten eines Gases zu beschreiben, • geben den Zusammenhang zwischen der von einem Fluid auf eine ebene Fläche ausgeübten Druckkraft, dem Druck und der Fläche an und wenden ihn an, • messen den Druck und die Temperatur in einem System [CE],
Innere Energie eines Systems; Mikroskopische Aspekte; Wärmekapazität des idealen Gases bei konstantem Volumen; Wärmekapazität von nicht-ausdehnbaren, inkompressiblen Flüssigkeiten und Festkörpern	• erklären den Begriff der inneren Energie eines Systems und nennen die verschiedenen mikroskopischen Beiträge zu dieser Größe, • geben den Ausdruck für die temperaturabhängige Änderung der inneren Energie eines idealen Gases bzw. einer nicht-ausdehnbaren, inkompressiblen Flüssigkeit/Festkörper an und wenden diesen an,

Erster Hauptsatz der Thermodynamik; Wärmetransfer, Arbeit	• formulieren und wenden den ersten Hauptsatz der Thermodynamik an, um bei einem System, das als ideales Gas oder als nicht ausdehnbare, inkompressible Flüssigkeit/Festkörper modelliert wird, Arbeit, Wärmetransfer oder Änderung der inneren Energie zu bestimmen, wenn zwei dieser Größen bekannt sind, • ermitteln die Richtung eines Wärmestroms, • bestimmen die von den Druckkräften an einem System mit variablem Volumen geleistete Arbeit im Falle eines konstanten Außendrucks, • messen die Wärmekapazität eines Materials mithilfe eines Kalorimeters [CE],
Arten des Wärmetransfers; Wärmestrom. Thermischer Widerstand	• charakterisieren die drei Arten des Wärmetransfers qualitativ: Wärmeleitung, Konvektion, Wärmestrahlung. • geben die Beziehung zwischen Wärmestrom, thermischem Widerstand und Temperaturdifferenz an und wenden diese an,
Energiebilanz des Erde-Atmosphäre-Systems; Treibhauseffekt	• bestimmen die mittlere Erdtemperatur mithilfe einer Energiebilanz, wobei das Stefan-Boltzmann-Gesetz vorgegeben ist, • diskutieren den Einfluss der Albedo und des Treibhauseffekts auf die mittlere Erdtemperatur qualitativ.

2.9. Signale, Schwingungen, Wellen - Elektrische Signale in quasistationären Feldern (ARQS)

Begriffe und Inhalte	Erforderliche Fähigkeiten
Elektrische Schaltungen und Signale; Näherung quasistationärer Zustände (ARQS); Modelle von Zweipolen: Widerstand, Kondensator, Spule, lineare Spannungsquelle	Die Schülerinnen und Schüler • geben die Formel für die Stromstärke als elektrischer Ladungsfluss an und wenden diese an, • nennen und begründen die Bedingung für die Anwendung der ARQS-Näherung in Abhängigkeit von der Größe des Stromkreises und der Frequenz, • verknüpfen die Kirchhoffsche Regel mit dem Gesetz der Ladungserhaltung,

RC- und RL-Schaltkreise; Ein- und Ausschaltvorgänge

- modellieren eine reale Spannungsquelle als lineare Spannungsquelle (Reihenschaltung aus einer idealen Spannungsquelle und einem Widerstand),
- geben die Beziehungen zwischen Stromstärke und Spannung für die Zweipole Widerstand, Kondensator, Spule und lineare Spannungsquelle an und wenden diese an,
- bestimmen die Kennlinie einer realen Spannungsquelle und nutzen diese für die Modellierung als lineare Spannungsquelle [CE],
- definieren die Kapazität eines Kondensators,
- nennen die Formel für die Kapazität eines Plattenkondensators, gegebenenfalls mit Dielektrikum gefüllt, und wenden diese an,
- nennen technische Anwendungen von Kondensatoren und Spulen,
- erklären das Funktionsprinzip einiger Sensoren: kapazitive und induktive Sensoren,
- untersuchen das kapazitive oder induktive Verhalten eines Zweipols [CE],
- nutzen die gängigen Funktionen eines Oszilloskops [CE],
- unterscheiden bei Messungen an RC- bzw. RL-Schaltkreisen im zeitlichen Verlauf eines Ein- oder Ausschaltvorgangs zwischen dem Einschwingvorgang (transienter Zustand) und dem stationären Zustand (Dauerzustand),
- nutzen die Stetigkeit der Spannung am Kondensator und des Stroms durch die Spule,
- stellen die Differenzialgleichung erster Ordnung für eine elektrische Größe in einem einmaschigen Schaltkreis mit nur einem Kondensator oder nur einer Spule auf,
- lösen eine lineare Differenzialgleichung erster Ordnung mit konstanten Koeffizienten und einer Konstanten als Inhomogenität im Rahmen der Auswertung eines physikalischen Modells,

Energiespeicherung und -dissipation	• bestimmen den zeitlichen Verlauf von Stromstärke und Spannung einer Spule bzw. eines Kondensators beim Einschalt- und Ausschaltvorgang, • stellen den zeitlichen Verlauf von Stromstärke oder Spannung bei einem Ein- oder Ausschaltvorgang grafisch dar und werten diesen aus, • diskutieren die Rolle der verschiedenen Parameter beim Laden und Entladen eines Kondensators sowie beim Ein- und Ausschalten des Stromflusses in einer Spule, • führen die Erfassung eines Einschwingvorgangs durch und werten diese aus [CE], • wenden das Euler-Verfahren mithilfe einer Programmiersprache an, um eine Differenzialgleichung erster Ordnung im Rahmen der Untersuchung des Ladens und Entladens eines Kondensators zu lösen [CN], • nennen die Formel für die elektrische Energie eines Kondensators unter Verwendung seiner Kapazität sowie die Formel für die magnetische Energie einer Spule unter Verwendung ihrer Induktivität und wenden diese an, • stellen eine Energiebilanz in einem Schaltkreis auf und interpretieren diese.
-------------------------------------	---

2.10. Signale, Schwingungen, Wellen - Freie und erzwungene Oszillatoren

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Harmonischer Oszillator; Beispiele: LC-Schwingkreis und mechanischer Oszillator bei Eigenschwingungen	Die Schülerinnen und Schüler • stellen die Differenzialgleichung für einen harmonischen Oszillator auf und erkennen diese (LC-Schwingkreis, horizontaler Federschwinger, Pendel bei kleinen Auslenkungen), • charakterisieren Schwingungen mittels Amplitude, Phase, Periodendauer, Frequenz und Kreisfrequenz, • modellieren eine harmonische Schwingung mathematisch und werten ihre grafische Darstellung aus,

Gedämpfter Oszillator: RLC-Serienschaltung und mechanischer Oszillator mit viskoser Reibung	• nennen die Formel für die Frequenz oder die Periodendauer der Schwingungen für den LC-Schwingkreis, den Federschwinger und das Pendel (bei kleinen Auslenkungen) und wenden diese an, • erstellen und interpretieren die Energiebilanz für einen harmonischen Oszillator (LC-Schwingkreis, horizontaler Federschwinger), • geben die Analogien zwischen elektrischen und mechanischen Oszillatoren an, • führen die Erfassung der Eigenschwingung eines Oszillators durch und werten diesen aus [CE], • beschreiben den zeitlichen Verlauf der Energie eines gedämpften Oszillators und interpretieren diese qualitativ, • erkennen den Schwingfall und den Kriechfall, • geben Analogien zwischen RLC-Schaltung und mechanischem Oszillator mit viskoser Dämpfung explizit an, • untersuchen den Einfluss der Parameter auf die zeitliche Entwicklung eines gedämpften Oszillators, simuliert mithilfe einer Programmiersprache [CN],
Erzwungener Oszillator: sinusförmige Anregung; Resonanz; Eigenfrequenz und Resonanzfrequenz	• beschreiben das Prinzip der Anregung eines Oszillators und das Phänomen der Resonanz, • nennen Situationen, in denen das Resonanzphänomen erwünscht ist, und andere, in denen es vermieden werden muss, • setzen einen Versuchsaufbau um, um die Antwort eines Systems in Amplitude und Phase auf eine sinusförmige Anregung zu charakterisieren und das Resonanzphänomen nachzuweisen [CE].

2.11. Signale, Schwingungen, Wellen - Einführung in mechanische Wellen

Begriffe und Inhalte	Erforderliche Fähigkeiten
	Die Schülerinnen und Schüler

Mechanische Welle;
Transversalwelle, Longitudinalwelle;
Fortschreitende Welle; zugehörige
physikalische Größen;
Ausbreitungsgeschwindigkeit;
Wellenfront; Polarisierung

- beschreiben die Ausbreitung einer mechanischen Welle räumlich und zeitlich anhand der Kopplung lokaler Oszillatoren und eines globalen Energietransports, für verschiedene Fälle: Welle entlang einer Feder (1D), Wellen auf einer Wasseroberfläche (2D), Schallwellen und seismische Wellen (3D) usw.
- unterscheiden Transversal- und Longitudinalwellen; unterscheiden ebene und Kugelwellen,
- erzeugen eine Störung und visualisieren ihre Ausbreitung in verschiedenen Situationen (Welle entlang eines Seils oder einer Feder, Welle auf einer Wasseroberfläche usw.) [CE],
- nennen und wenden die Beziehung zwischen Ausbreitungsdauer, zurückgelegter Strecke einer Störung und Ausbreitungsgeschwindigkeit an, insbesondere zur Lokalisierung einer Wellenquelle,
- bestimmen die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer mechanischen Welle oder die Länge einer Strecke, die eine solche Welle zurückgelegt hat, und veranschaulichen den Einfluss des Mediums auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer mechanischen Welle [CE],
- erklären den Begriff der Polarisierung einer mechanischen Transversalwelle, z. B. im Fall einer Welle entlang eines Seils,
- beschreiben den Zustand der linearen Polarisierung einer Transversalwelle,
- unterscheiden räumliche und zeitliche Periodizität,
- nennen, interpretieren und wenden die Wellengleichung, die eine eindimensionale, sinusförmig fortschreitende Welle beschreibt, an,
- begründen und wenden die Beziehung zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit, Periodendauer und Wellenlänge an,
- bestimmen die Kenngrößen einer periodischen mechanischen Welle aus den zugehörigen räumlichen oder zeitlichen Darstellungen,

Sinusförmige fortschreitende
mechanische Welle; zugehörige
physikalische Größen;
Periodendauer; Wellenlänge; Phase

	• setzen die Phasenverschiebung zwischen den an zwei verschiedenen Punkten empfangenen Signalen mit der durch die Ausbreitung bedingten Zeitverzögerung (Laufzeit) in Beziehung, • charakterisieren die Ausbreitung einer Welle (Periodendauer, Wellenlänge, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Phasenverschiebung) [CE], • simulieren mithilfe einer Programmiersprache die Ausbreitung einer periodischen Welle und diskutieren den Einfluss ihrer Kenngrößen (Amplitude, Periodendauer) auf die erstellen Darstellungen [CN].
--	--

2.12. Signale, Schwingungen, Wellen - Mechanische Wellenphänomene

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Interferenz zweier mechanischer Wellen; Voraussetzungen für Interferenz; Gangunterschied; Konstruktive und destruktive Interferenz	Die Schülerinnen und Schüler • erklären und charakterisieren das Phänomen der Interferenz zweier mechanischer Wellen, • nennen die Voraussetzungen für die Entstehung von Interferenzerscheinungen, • setzen die Phasenverschiebung an einem Punkt zwischen zwei sinusförmigen Wellen mit dem Gangunterschied in Beziehung, • nennen, und begründen die Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz von zwei sinusförmigen Wellen hinsichtlich der Phasenverschiebung oder des Gangunterschieds und wenden sie an, • leiten die Formel für den Gangunterschied zwischen zwei sinusförmigen Wellen an einem Punkt in einfachen Fällen her und wenden diesen an, • beschreiben technische Anwendungen des Interferenzphänomens bei mechanischen Wellen, • führen eine Messung, zum Beispiel der Wellenlänge, ausgehend von einer Interferenzsituation durch [CE],

Stehende Wellen; Eigenschwingung	• stellen mithilfe einer Programmiersprache die Summe zweier sinusförmiger Wellen dar und untersuchen den Kurvenverlauf in Abhängigkeit von deren Kenngrößen (Periodendauer, Amplitude, Phase) [CN], • charakterisieren eine stehende Welle durch das Vorhandensein von Knoten und Bäuchen, • geben den Abstand zwischen zwei benachbarten Knoten, zwischen zwei benachbarten Bäuchen oder zwischen einem benachbarten Knoten und Bauch bei einer stehenden Welle an und wenden diesen an, • bestimmen die einer stehenden Welle zugehörige Wellenlänge [CE], • interpretieren eine stehende Welle als Interferenz zweier sinusförmiger fortschreitender Wellen, • leiten die Formel für die Frequenzen der Eigenschwingungen einer Saite her und wenden diesen an, wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle und die Länge der Saite bekannt sind, • untersuchen eine stehende Welle auf einer schwingenden Saite mithilfe der Stroboskopie [CE], • ermitteln die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer monochromatischen fortschreitenden Welle durch Auswertung einer Messung an einer stehenden Welle [CE], • stellen mithilfe einer Programmiersprache einer stehende Welle für verschiedene Eigenschwingungen dar [CN].
----------------------------------	--

2.13. Signale, Schwingungen, Wellen - Einführung in die elektromagnetischen Wellen

Begriffe und Inhalte	Erforderliche Fähigkeiten
Elektromagnetische Wellen; Intensität; Nachweis; Spektrum	Die Schülerinnen und Schüler • beschreiben eine elektromagnetische Welle ausgehend von der Kopplung lokaler Änderungen des elektrischen und magnetischen Feldes, • geben einen angenäherten Wert für die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum an,

Polarisation elektromagnetischer Wellen; lineare Polarisation	• ordnen einer elektromagnetischen Welle eine Intensität zu, die ihre mittlere Flächenleistung charakterisiert, • nennen Empfänger elektromagnetischer Wellen und vergleichen ihre Ansprechzeiten mit den charakteristischen Zeiten dieser Wellen, • nutzen eine Frequenz- oder Wellenlängenskala, um einen elektromagnetischen Spektralbereich zu identifizieren, • nennen Größenordnungen der Frequenzen oder Wellenlängen elektromagnetischer Wellen, die in verschiedenen Anwendungen verwendet werden (medizinische Bildgebung, sichtbares Licht, WLAN-Signale, Mikrowellen usw.), • setzen die Wellenlänge im Vakuum mit der Farbe in Beziehung, • erklären den Begriff der Polarisation einer transversalen elektromagnetischen Welle, • nennen technische Anwendungen und natürliche Phänomene, bei denen die Polarisation des Lichts eine Rolle spielt, • erkennen einen Zustand linearer Polarisation [CE].
---	--

2.14. Signale, Schwingungen, Wellen - Geometrische Optik

Begriffe und Inhalte	Erforderliche Fähigkeiten
Modell der geometrischen Optik; Lichtstrahl; Brechungsindex; Reflexion, Brechung	Die Schülerinnen und Schüler • definieren das Modell der geometrischen Optik und geben seine Grenzen an, • formulieren das Reflexionsgesetz und Brechungsgesetz und wenden sie an, • leiten die Bedingung für die Totalreflexion her und wenden diese an, • bestimmen den Brechungsindex eines Mediums [CE],

Glasfaser	• beschreiben das Prinzip der Lichtleitung in einer Glasfaser anhand der Gesetze der geometrischen Optik, • simulieren mithilfe einer Programmiersprache die Ausbreitung eines Lichtstrahls in einer Gradientenfaser [CN],
Dünne Linsen; reelles Bild, virtuelles Bild; aufrechtes Bild, umgekehrtes Bild; Gaußsche Näherung; Linsengleichung; Abbildungsmaßstab	• nennen die Bedingungen der Gaußschen Näherung und beschreiben ihre Konsequenzen, • beschreiben die Eigenschaften des optischen Mittelpunkts, der Brennpunkte und "foyers secondaires" (Bildpunkt bei schräg zur optischen Achse einfallendem parallelem Licht, befindet sich zusammen mit dem Brennpunkt in der Brennebene), der Brennweite und der Brechkraft einer dünnen Sammellinse, • konstruieren das Bild eines realen Objekts, das sich in endlicher oder „unendlicher“ Entfernung befindet, durch eine dünne Sammellinse und identifizieren seine Natur (reell oder virtuell), • bestimmen mithilfe der vorgegebenen Linsengleichung und der Gleichung für den Abbildungsmaßstab die Position und Größe des Bildes eines realen ebenen Objekts, • leiten die Bedingung für die Entstehung eines reellen Bildes eines realen Objekts durch eine dünne Sammellinse her und wenden diese an, • bestimmen die Eigenschaften des Bildes eines realen ebenen Objekts, das durch eine dünne Sammellinse erzeugt wird, • bestimmen die Brennweite einer dünnen Sammellinse [CE], • führen eine optische Messung unter Anwendung der Linsengleichung einer dünnen Sammellinse durch [CE], • erzeugen ein reelles Bild mithilfe einer Sammellinse [CE],
Vergrößerung (des Sehwinkels); Astronomisches Fernrohr	• unterscheiden zwischen Abbildungsmaßstab und Vergrößerung (des Sehwinkels),

	• skizzieren den Aufbau eines afokalen Fernrohrs, das durch zwei dünne Sammellinsen modelliert wird, und identifizieren dabei das Objektiv und das Okular, • zeichnen das austretende Strahlenbündel eines Objektpunktes, der sich „im Unendlichen“ befindet, und ein afokales Fernrohr durchläuft, • leiten die Formel für die Vergrößerung (des Seh winkels) eines afokalen Fernrohrs her, • werten die Kenndaten eines handelsüblichen Fernrohrs aus, • bauen ein Modell eines astronomischen Fernrohrs, bestimmen seine Vergrößerung und überprüfen die Position des Zwischenbildes durch Visualisierung [CE].
--	--

2.15. Signale, Schwingungen, Wellen - Elektromagnetische Wellenphänomene und physikalische Optik

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
skalares Modell von Lichtwellen; optische Weglänge; Phasenverschiebung aufgrund der Ausbreitung; Wellenfronten; Huygenssches Prinzip; Malussches Gesetz; Lichtintensität	Die Schülerinnen und Schüler • beschreiben Licht analog zu mechanischen Wellen durch das skalare Modell der Lichtwellen, • stellen die zu den Wellenfronten einer Welle gehörenden Strahlen dar und umgekehrt, • leiten die Formel für die Phasenverschiebung an einem Punkt in Abhängigkeit von der Ausbreitungsdauer oder der optischen Weglänge für eine monochromatische skalare Welle her, • skizzieren die Veränderung der Wellenfronten einer Lichtwelle nach dem Durchgang durch eine dünne Sammellinse, • verknüpfen die Intensität einer elektromagnetischen Welle mit dem Signal des skalaren Wellenmodells (Proportionalität zum Mittelwert des Quadrats des Signals),
Beugung elektromagnetischer Wellen; charakteristischer Beugungswinkel	• erklären das Phänomen der Beugung einer elektromagnetischen Welle mithilfe des skalaren Wellenmodells und des Huygensschen Prinzips,

Interferenz zweier elektromagnetischer Wellen; Voraussetzungen für Interferenz; Gangunterschied; konstruktive und destruktive Interferenz; Fresnel-Formel

- nennen die Formel für den charakteristischen Beugungswinkel einer monochromatischen elektromagnetischen Welle an einer Öffnung in Abhängigkeit von der Wellenlänge und der Öffnungsgröße und wenden sie an,
- stellen das Aussehen des Beugungsbildes bei einem rechteckigen Spalt oder einer kreisförmigen Öffnung für eine monochromatische Lichtwelle dar und erklären es qualitativ,
- erklären die Dispersion(Aufspaltung der Spektralkomponenten) des Lichts bei der Beugung an einem Spalt,
- beschreiben technische Anwendungen und Situationen in der Natur, in denen das Phänomen der Beugung elektromagnetischer Wellen auftritt,
- veranschaulichen und charakterisieren das Beugungsphänomen einer Lichtwelle [CE],
- erklären und charakterisieren das Phänomen der Interferenz zweier elektromagnetischer Wellen mithilfe des skalaren Wellenmodells,
- erläutern die Kohärenzbedingungen für die Beobachtung eines Interferenzphänomens zwischen zwei elektromagnetischen Wellen,
- leiten die Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz zweier skalarer Wellen, die von zwei phasengleichen punktförmigen Quellen ausgehen, für ein homogenes Ausbreitungsmedium her und wenden diese an,
- sagen die Orte konstruktiver und destruktiver Interferenz im Fall der Youngschen Anordnung vorher, wobei der linearisierte Ausdruck für den Gangunterschied gegeben ist,
- setzen die Phasenverschiebung an einem Punkt zwischen zwei monochromatischen kohärenten Wellen mit dem Gangunterschied in Beziehung,

	• leiten die Formel für den Gangunterschied zwischen zwei monochromatischen kohärenten Wellen an einem Punkt in einfachen Fällen her und wenden diesen an, • leiten die Formel für den Abstand der Interferenzstreifen aus der Formel für den Gangunterschied her und wenden diese an, • erklären mithilfe der vorgegebene Fresnel-Formel die Intensitätsverteilung bei einem Interferenzphänomen zweier Lichtwellen gleicher Intensität, • beschreiben Struktur und Prinzip der Interferenzanordnungen nach Young (Löcher und Spalte), • beschreiben technische Anwendungen und Situationen in der Natur, in denen Interferenz von elektromagnetischen Wellen auftritt, • veranschaulichen und charakterisieren das Interferenzphänomen von Lichtwellen [CE], • führen eine Messung ausgehend von einer Interferenzsituation durch [CE], • stellen mithilfe einer Programmiersprache das Intensitätsprofil dar, das aus der Überlagerung zweier synchroner periodischer sinusförmiger Signale resultiert, und untersuchen den Kurvenverlauf in Abhängigkeit von deren Kenngrößen (Amplituden, Phasen) [CN].
--	---

2.16. Quantenphysik - Quantenobjekte

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Teilchenmodell des Lichts; Einsteins Quantenhypothese; photoelektrischer Effekt; Koinzidenzanalyse von Photodetektionen; Planck-Einstein-Beziehungen für Energie und Impuls des Photons	Die Schülerinnen und Schüler • beschreiben den photoelektrischen Effekt und interpretieren das Hallwachs-Experiment (Widerspruch zum Wellenmodell, Gegenfeldmethode, Austrittsarbeit, Grenzfrequenz, Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums), • interpretieren experimentelle Beobachtungen mithilfe der Quantenhypothese,

Wellenmodell der Materie; De-Broglie-Beziehung; Nachweis von Materiewellen; Beugung und Interferenz von Materiewellen Welle-Teilchen-Dualismus; Komplementaritätsprinzip; Quantenobjekt; Wahrscheinlichkeitsinterpretation	• beschreiben ein Experiment, das die Koinzidenzanalyse von Photodetektionen nutzt, um das Teilchenmodell des Lichts zu prüfen, • nennen und wenden die Planck-Einstein-Beziehungen an, • nennen Anwendungen des photoelektrischen Effekts und des inversen Photoeffekts, • überprüfen die Gültigkeit der Quantenthypothese mithilfe eines Experiments zum Photoeffekt oder zum inversen Photoeffekt [CE], • beschreiben und interpretieren ein Beugungs- oder Interferenzexperiment, das die Welleneigenschaften von Materie nachweist • nennen die De-Broglie-Beziehung und wenden sie an, • diskutieren basierend auf der Berechnung der De-Broglie-Wellenlänge, ob die Verwendung des Wellenmodells der Materie zur Untersuchung eines gegebenen Phänomens angemessen ist, • nennen Anwendungen, deren Prinzip auf dem Modell der Materiewellen basiert, • erklären das Konzept des Welle-Teilchen-Dualismus für Licht und Materie, • unterscheiden für Licht und Materie in Bezug auf das Komplementaritätsprinzip zwischen dem Wellenmodell, dem Teilchenmodell und dem Quantenmodell, • beschreiben Experimente, die mit Quellen einzelner Quantenobjekte (Photonen, Elektronen usw.) an einem Interferometer (vom Typ Young) durchgeführt wurden, und deuten die Beobachtungen unter Berücksichtigung des Komplementaritätsprinzips und der Bornschen Wahrscheinlichkeitsinterpretation.
--	--

2.17. Quantenphysik – Quantisierung der Energieniveaus

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
	Die Schülerinnen und Schüler

Atomspektren; Energieniveaus, Absorption, Emission	- stellen ein Energieniveauschema unter Verwendung der passenden Fachbegriffe (Grundzustand, angeregter Zustand, Übergang usw.) dar und werten dieses aus, - beschreiben die Prozesse der Absorption und Emission eines Photons anhand eines Energieniveauschemas, - erklären, wie Spektren genutzt werden können, um Informationen über die chemische Zusammensetzung zu gewinnen, - nehmen das Spektrum einer Spektralquelle auf und interpretieren es mithilfe des Energieniveauschemas der beteiligten Teilchen [CE],
Atommodelle von Rutherford und Bohr; Grenzen	- begründen die Bohrsche Quantisierungshypothese ausgehend von einem Modell der Materiewellen für stabile kreisförmige Elektronenbahnen, - leiten mithilfe der vorgegebenen Bohrschen Quantisierungshypothese den Ausdruck für die möglichen Energien des Elektrons im Wasserstoffatom her, - nennen die Formel zur Bestimmung des Energiewerts (in Elektronenvolt) des n-ten Energieniveaus des Elektrons im Wasserstoffatom und wenden sie an, - diskutieren die Stärken und Grenzen der Atommodelle von Rutherford und Bohr.

2.18. Quantenphysik – Ergänzungen

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Wellenfunktion; Superposition von Zuständen; Heisenbergsche Unschärferelation (für Ort und Impuls); Messung	Die Schülerinnen und Schüler - geben eine probabilistische Interpretation basierend auf Informationen über die Wellenfunktion (Ausdruck, grafische Darstellung usw.) an, - nutzen eine Analogie zu einer klassischen Wellensituation, um eine Interpretation für ein Quantenphänomen zu konstruieren,

Modell des eindimensionalen rechteckigen Potenzialtopfs mit unendlich hohen Wänden; Energiequantisierung durch Einschluss

Quantenmechanisches Atommodell; Orbitale; Quantenzahlen; Pauli-Prinzip

- erklären ein Quanteninterferenzphänomen ausgehend von der Superposition zweier Wellenfunktionen,
- erklären den Begriff der Unbestimmtheit qualitativ und grenzen ihn von der experimentellen Messunsicherheit ab,
- formulieren die räumliche Heisenbergsche Unschärferelation für Ort und Impuls und wenden sie an,
- diskutieren grundlegende Aspekte der Quantenphysik (Realismus, Lokalität, Kausalität, Determinismus) anhand einer bereitgestellten Quelle (Aspect-Experimente, Simulationen usw.),
- veranschaulichen mithilfe eines Optikexperiments mit Polarisatoren die Begriffe Zustand, Superposition von Zuständen und Messung in der Quantenphysik [CE],
- nutzen die räumliche Heisenbergsche Unschärferelation, um die Existenz einer minimalen Nullpunktsenergie aufzuzeigen,
- bestimmen für das Modell des eindimensionalen rechteckigen Potenzialtopfs mit unendlich hohen Wänden die Energien und Profile der stationären Zustände, indem die Analogie zu den Eigenschwingungen einer schwingenden Saite zugelassen wird,
- stellen den qualitativen Zusammenhang zwischen räumlichem Einschluss und Quantisierung her,
- vergleichen die Ergebnisse des Modells des unendlichen Potenzialtopfs mit anderen Ergebnissen aus Experimenten oder anderen Modellen (klassisch oder quantenmechanisch),
- interpretieren bereitgestellte Darstellungen von Atomorbitalen,
- erklären die physikalische Bedeutung der Quantenzahlen n , l , m_l , m_s qualitativ,

- | | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none">• formulieren das Pauli-Prinzip und nutzen dies, um polyelektronische Systeme zu untersuchen. |
|--|---|

2.19. Kernphysik - Kernumwandlungen

Begriffe und Inhalte	Erforderliche Fähigkeiten
Atomkern; Isotope; Symbol A_ZX Stabilität und Instabilität von Kernen. α-, β- und γ-Zerfälle; Kernumwandlung. Gleichung einer Kernreaktion; Kernspaltung, Kernfusion Nachweis von Radioaktivität; Zerfallsgesetz; Halbwertszeit; Aktivität	Die Schülerinnen und Schüler • charakterisieren den Atomkern (Zusammensetzung, Dimension, Masse), • wenden die atomare Masseneinheit an, • erklären und wenden die symbolische Schreibweise A_ZX an, • bestimmen aus einer Nuklidkarte die radioaktive Isotope eines Elements, • erklären die Stabilität eines Kerns aus dem Zusammenspiel von elektromagnetischer Wechselwirkung und starker Wechselwirkung, • stellen die Gleichung einer Kernreaktion in symbolischer Schreibweise auf, • erläutern qualitativ den Ursprung der Einführung des Neutrinos in Reaktionsgleichungen, • beschreiben radioaktive Zerfälle sowie die damit verbundene Strahlung und geben ihren spontanen und zufälligen Charakter an, • geben die Art eines radioaktiven Zerfalls an, • erläutern eine vorgegebene Zerfallsreihe mithilfe einer Nuklidkarte, • beschreiben die Prozesse der Kernspaltung und Kernfusion, • nennen Situationen, in denen Kernspaltung oder Kernfusion auftreten, • erklären das Prinzip des Nachweises und der Messung von Radioaktivität und nennen Detektoren, • leiten das Zerfallsgesetz her, d. h. die Formel für den zeitlichen Verlauf der Anzahl radioaktiver Kerne, • erklären die Begriffe Halbwertszeit, Zählrate und Aktivität,

Anwendungen der Radioaktivität; Schutz vor ionisierender Strahlung	• wenden das Zerfallsgesetz oder eine Zerfallskurve an, • erklären das Prinzip der Datierung mit radioaktiven Nukliden und datieren ein Ereignis, • nennen medizinische Anwendungen der Radioaktivität, • nennen Methoden zum Schutz vor ionisierender Strahlung je nach Strahlungsart sowie Faktoren, die die Wirksamkeit dieses Schutzes beeinflussen, • diskutieren die Problematik der Lagerung radioaktiver Materialien (Abschirmung, Lagerdauer), • beschreiben biologische Wirkungen und gesundheitliche Folgen ionisierender Strahlung,
Äquivalenz von Masse und Energie; freigesetzte Energie bei einer Kernumwandlung	• nennen die Formel zur Masse-Energie-Äquivalenz und wenden sie an, • bestimmen die Energie, die bei einer Kernumwandlung durch den Verlust von Masse freigesetzt wird, • verwenden die Masseneinheit MeV/c².

3. Operatoren

Définition	Opérateur/ Verbe consigne	Operator	Definition
Tirer un résultat ou une conclusion appropriés à partir de résultats ou de données obtenues auparavant.	(en) déduire, conclure AFB II-III	ableiten, schließen auf AFB II-III	auf der Grundlage von Erkenntnissen (Vorwissen bzw. zuvor ermittelte Ergebnissen) sachgerechte Schlüsse ziehen
Affecter une valeur approchée ou un ordre de grandeur à l'aide de considérations raisonnées.	estimer AFB I-II	schätzen, abschätzen AFB I-II	durch begründete Überlegungen Größenordnungen angeben
Décrire et mettre en lien différentes ressources pour en déduire quelque chose de nouveau, en faire une synthèse ou encore élaborer une démarche expérimentale.	analyser AFB II	analysieren AFB II	wichtige Bestandteile, Eigenschaften oder Zusammenhänge auf eine bestimmte Fragestellung hin herausarbeiten; In Chemie zusätzlich: einen Sachverhalt experimentell prüfen
Utiliser des formules, des équations, des lois, des conditions, des résultats expérimentaux, etc., pour prouver, déduire ou expliquer d'autres phénomènes.	exploiter AFB II-III	anwenden AFB II-III	Formeln, Gleichungen, Gesetze, Bedingungen, Versuchsergebnisse etc. zum Nachweis, zur Herleitung, zur Erklärung anderer Phänomene verwenden
Suggérer une information, un raisonnement (une équation, une équation de réaction, une démarche, etc.).	proposer AFB II	aufstellen AFB II	Formeln, Gleichungen, Reaktionsgleichungen entwickeln
Emettre une supposition justifiée.	formuler une hypothèse AFB III	eine Hypothese aufstellen AFB III	eine begründete Vermutung formulieren
Associer une signification aux observations, aux données, aux résultats et/ou à des informations et en tirer des conclusions.	interpréter AFB II-III	auswerten AFB II-III	Beobachtungen, Daten, Einzelergebnisse oder andere Aspekte in einen Zusammenhang stellen, um daraus Schlussfolgerungen zu ziehen
Fonder une démarche ou faire comprendre une situation en se basant sur des éléments objectifs.	justifier AFB II-III	begründen AFB II-III	Gründe oder Argumente für eine Vorgehensweise oder einen Sachverhalt nachvollziehbar darstellen

Mobiliser des connaissances pour reconnaître et nommer précisément des observations, des éléments, des faits, des concepts, des données à partir d'un document.	identifier AFB I-II	identifizieren AFB I-II	Beobachtungen, Elemente, Sachverhalte, Begriffe, Daten, Fakten, Strukturen erkennen und benennen
Obtenir une valeur numérique d'une grandeur avec un calcul.	calculer AFB I-III	berechnen AFB I-III	Ergebnisse (von einem Ansatz oder einer Formel) ausgehend durch Rechenoperationen gewinnen
Rendre compte d'observations, des schémas, des faits, des méthodes, des procédures ou des relations de manière structurée en utilisant un langage adapté.	décrire AFB I-II	beschreiben AFB I-II	Beobachtungen, Strukturen, Sachverhalte, Methoden, Verfahren oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren
Formuler un avis factuel à l'aide de critères scientifiques ou techniques.	critiquer AFB III	beurteilen AFB III	Das zu fällende Sachurteil ist mithilfe fachlicher Kriterien zu begründen.
Formuler une appréciation en tenant compte des valeurs et des normes sociales.	évaluer AFB III	bewerten AFB III	Das zu fällende Werturteil ist unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Werte und Normen zu begründen.
Rendre compte de faits, de relations de causalité, de relations de corrélations en utilisant un langage approprié ou des représentations graphiques (p. ex. dessins, croquis, tableaux)	représenter AFB II	darstellen AFB II	Strukturen, Sachverhalte oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren, auch mithilfe graphischer Darstellungen (z.B. Zeichnungen oder Skizzen und Tabellen)
Procéder à une analyse critique en comparant et en examinant des arguments scientifiques.	discuter de AFB II-III	diskutieren AFB II-III	Argumente zu einer Aussage oder These einander gegenüberstellen und abwägen
Mobiliser des concepts en lien avec le problème et les relier pour le rendre compréhensible.	expliquer AFB II	erklären AFB II	Strukturen, Prozesse oder Zusammenhänge des Sachverhalts erfassen und auf allgemeine Aussagen oder Gesetze zurückführen
Mobiliser des concepts en lien avec le problème et les relier pour le rendre compréhensible avec l'aide éventuelle d'autres informations ou des exemples.	expliciter AFB II-III	erläutern AFB II-III	Strukturen, Prozesse oder Zusammenhänge des Sachverhalts erfassen und auf allgemeine Aussagen oder Gesetze zurückführen und durch zusätzliche Informationen oder Beispiele verständlich machen
Tirer un résultat ou une relation par un calcul ou par l'exploitation ou par la réalisation d'un graphique ou d'une expérience.	déterminer AFB II	ermitteln AFB II	ein Ergebnis oder einen Zusammenhang rechnerisch, grafisch oder experimentell bestimmen

Déterminer un résultat en explicitant le raisonnement qui y conduit.	établir AFB II-III	herleiten AFB II-III	mithilfe bekannter Gesetzmäßigkeiten einen Zusammenhang zwischen chemischen bzw. physikalischen Größen herstellen
Mettre en relation des observations ou des résultats pour les rendre davantage explicite dans le contexte d'une question ou d'une hypothèse.	commenter AFB III	interprétieren, deuten AFB III	naturwissenschaftliche Ergebnisse, Beschreibungen und Annahmen vor dem Hintergrund einer Fragestellung oder Hypothese in einen nachvollziehbaren Zusammenhang bringen
Répertoire ou reproduire des formules, des règles, des faits, des termes ou des données sans explication.	nommer, donner AFB I	(be)nennen, angeben AFB I	Formeln, Regeln, Sachverhalte, Begriffe oder Daten ohne Erläuterung aufzählen bzw. wiedergeben
Organiser des concepts ou des objets en fonction de caractéristiques.	classer AFB I-II	ordnen AFB I-II	Begriffe oder Gegenstände auf der Grundlage bestimmter Merkmale systematisch einteilen
Suggérer une démarche éventuellement expérimentale ou une de ses étapes à un problème.	proposer AFB II-III	planen AFB II-III	zu einem vorgegebenen Problem (auch experimentelle) Lösungswege (oder Teilschritte) entwickeln und dokumentieren
Illustrer de manière claire et simplifiée des faits, des organisations, des processus, des expérimentations, ou des résultats.	schématiser AFB I-II	skizzieren AFB I-II	Sachverhalte, Prozesse, Strukturen oder Versuche/Ergebnisse übersichtlich grafisch darstellen
Développer des faits ou des phénomènes en utilisant des méthodes de travail spécifiques.	étudier AFB II	untersuchen AFB II	Sachverhalte oder Phänomene mithilfe fachspezifischer Arbeitsweisen erschließen
Inventorier les similitudes et les différences.	comparer AFB II	vergleichen AFB II	Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausarbeiten
Créer une représentation graphique, claire et précise.	représenter AFB I-II	zeichnen AFB I-II	eine anschauliche und hinreichend exakte grafische Darstellung anfertigen
Associer des caractéristiques ou des résultats entre eux.	attribuer AFB I-II	zuordnen AFB I-II	charakteristische Merkmale oder Ergebnisse aufeinander beziehen