**Schulinterner Lehrplan**
**zum Kernlehrplan für die Sekundarstufe II**

# Physik

**Alexander-von-Humboldt-Gymnasium**
**Neuss**

## Inhalt

**1 Die Fachgruppe Physik am Alexander-von-Humboldt-Gymnasium.....3**

**2 Entscheidungen zum Unterricht.....4**

2.1 Unterrichtsvorhaben.....4

*2.1.1 Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben.....6*
*2.1.2 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben.....13*

2.2 Grundsätze der fachmethodischen und fachdidaktischen Arbeit im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe.....74

2.3 Grundsätze der Leistungsbewertung und Leistungsrückmeldung.....76

2.4 Lehr- und Lernmittel.....80

**3 Entscheidungen zu fach- und unterrichtsübergreifenden Fragen.....80**

**4 Qualitätssicherung und Evaluation.....82**

# 1 Die Fachgruppe Physik am Alexander-von-Humboldt-Gymnasium

Das Alexander-von-Humoldt-Gymnasium liegt im Schulzentrum in Neuss und kooperiert mit dem nahe gelegenen Nelly-Sachs-Gymnasium, so dass regelmäßig Physik-Leistungskurse angeboten werden können. Die Schule nimmt jährlich Realschüler in die Oberstufe auf, so dass zwei bis drei Physikkurse in der Einführungsphase angeboten werden. Aus diesen Kursen resultieren im Schnitt in der Qualifikationsphase zwei Grundkurse und ein Leistungskurs (Kooperationskurs).

Zentrales Element des Physikunterrichts ist das Experiment: Neben Demonstrationsexperimenten werden wenn möglich Schülerübungsversuche durchgeführt. Neben der experimentellen Arbeit greift der Physikunterricht auch auf moderne Auswertungsmethoden wie den grafikfähigen Taschenrechner zurück. Auf dieses Art und Weise lernen die Schülerinnen und Schüler einen vertieften Einblick in die elementaren Zusammenhänge naturwissenschaftlicher Alltagsphänomene kennen.

Ausstattung zur digitalen Messwerterfassung ist noch nicht vorhanden. Die Schule leiht deswegen aber regelmäßig Experimente des Neusser SchulPOOLs aus.

Das Gymnasium ist eine MINT-Schule: In der Sekundarstufe I wird jedes Jahr eine MathNat-Klasse eingeführt, die jedes Jahr eine Stunde naturwissenschaftlichen Unterricht durchführt. In der Oberstufe werden als Fortsetzung des Konzeptes Projekte, z.B. in Zusammenarbeit mit dem zdi, RWE oder den Stadtwerken und der Bayer-Stiftung angeboten. Ergänzt werden diese Angebote durch ein breit gefächertes Spektrum an Wettbewerbsangeboten.

Nach dem Umbau der Schule stehen der Physik zwei neu ausgestattete Fachräume zur Verfügung. Die Physiksammlung mit einer Vielzahl von Schüler- und Demonstrationsexperimenten gut ausgestattet.

Der Verpflichtung, Verkehrserziehung im Fachunterricht zu betreiben kommt die Physik nach, indem sie Situationen aus dem Straßenverkehr (Bremswege, Überholvorgänge, Crash) aus fachlicher Sicht beschreibt und analysiert.

# 2 Entscheidungen zum Unterricht

**Hinweis:** Die nachfolgend dargestellte Umsetzung der verbindlichen Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans findet auf zwei Ebenen statt. Das **Übersichtsraster** gibt den Lehrkräften einen raschen Überblick über die laut Fachkonferenz verbindlichen Unterrichtsvorhaben pro Schuljahr. In dem Raster sind, außer dem Thema des jeweiligen Vorhabens, das schwerpunktmäßig damit verknüpfte Inhaltsfeld bzw. die Inhaltsfelder, inhaltliche Schwerpunkte des Vorhabens sowie Schwerpunktkompetenzen ausgewiesen. Die **Konkretisierung von Unterrichtsvorhaben** führt weitere Kompetenzerwartungen auf und verdeutlicht vorhabenbezogene Absprachen, z.B. zur Festlegung auf einen Aufgabentyp bei der Lernerfolgsüberprüfung durch eine Klausur.

## 2.1 Unterrichtsvorhaben

Die Darstellung der Unterrichtsvorhaben im schulinternen Lehrplan besitzt den Anspruch, sämtliche im Kernlehrplan angeführten Kompetenzen zu berücksichtigen. Dies entspricht der Verpflichtung jeder Lehrkraft, Lerngelegenheiten für ihre Lerngruppe so anzulegen, dass alle Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans von den Schülerinnen und Schülern erworben werden können.

Die entsprechende Umsetzung erfolgt auf zwei Ebenen: der Übersichts- und der Konkretisierungsebene.

Im „Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben“ (Kapitel 2.1.1) wird die für alle Lehrerinnen und Lehrer gemäß Fachkonferenzbeschluss verbindliche Verteilung der Unterrichtsvorhaben dargestellt. Das Übersichtsraster dient dazu, den Kolleginnen und Kollegen einen schnellen Überblick über die Zuordnung der Unterrichtsvorhaben zu den einzelnen Jahrgangsstufen sowie den im Kernlehrplan genannten Kompetenzen, Inhaltsfeldern und inhaltlichen Schwerpunkten sowie in der Fachkonferenz verabredeten verbindlichen Kontexten zu verschaffen. Um Klarheit für die Lehrkräfte herzustellen und die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, werden in der Kategorie „Kompetenzen“ an dieser Stelle nur die übergeordneten Kompetenzerwartungen ausgewiesen, während die konkretisierten Kompetenzerwartungen erst auf der Ebene konkretisierter Unterrichtsvorhaben Berücksichtigung finden. Der ausgewiesene Zeitbedarf versteht sich als grobe Orientierungsgröße, die nach Bedarf über- oder unterschritten werden kann. Um Spielraum für Vertiefungen, besondere Schülerinteressen, aktuelle Themen bzw. die Erfordernisse anderer besonderer Ereignisse (z.B. Praktika, Kursfahrten o.ä.) zu erhalten, wurden im Rahmen dieses schulinternen Lehrplans ca. 75 Prozent der Bruttounterrichtszeit verplant.

Während der Fachkonferenzbeschluss zum „Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben“ zur Gewährleistung vergleichbarer Standards sowie zur Absicherung von Lerngruppenüber-

tritten und Lehrkraftwechseln für alle Mitglieder der Fachkonferenz Bindekraft entfalten soll, besitzt die exemplarische Ausweisung „konkretisierter Unterrichtsvorhaben“ (Kapitel 2.1.2) empfehlenden Charakter, es sei denn, die Verbindlichkeit bestimmter Aspekte ist dort explizit formuliert Auch hier besitzen Zeitangaben und Angaben in den Zeilen Experimente/Medien und Kommentare empfehlenden Charakter, einzelne verbindliche Aspekte sind hier in Fettdruck markiert. Referendarinnen und Referendaren sowie neuen Kolleginnen und Kollegen dienen diese vor allem zur standardbezogenen Orientierung in der neuen Schule, aber auch zur Verdeutlichung von unterrichtsbezogenen fachgruppeninternen Absprachen zu didaktisch-methodischen Zugängen, fächerübergreifenden Kooperationen, Lernmitteln und -orten sowie vorgesehenen Leistungsüberprüfungen, die im Einzelnen auch den Kapiteln 2.2 bis 2.4 zu entnehmen sind. Abweichungen von den empfohlenen Vorgehensweisen bezüglich der konkretisierten Unterrichtsvorhaben sind im Rahmen der pädagogischen Freiheit der Lehrkräfte jederzeit möglich. Sicherzustellen bleibt allerdings auch hier, dass im Rahmen der Umsetzung der Unterrichtsvorhaben insgesamt alle Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans Berücksichtigung finden.

## 2.1.1 Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben

| **Einführungsphase** | | |
|---|---|---|
| Inhaltsfeld ***Mechanik*** | | |
| Kontext und Leitfrage | Inhaltliche Schwerpunkte | Kompetenzschwerpunkte |
| ***Physik und Sport* oder: *Physik im Straßenverkehr***<br><br>Wie lassen sich Bewegungen vermessen und analysieren? | Kräfte und Bewegungen<br>Energie und Impuls | E7 Arbeits- und Denkweisen<br>K4 Argumentation<br>E5 Auswertung<br>E6 Modelle<br>UF2 Auswahl |
| ***Auf dem Weg in den Weltraum***<br><br>Wie kommt man zu physikalischen Erkenntnissen über unser Sonnensystem? | Gravitation<br>Kräfte und Bewegungen<br>Energie und Impuls | UF4 Vernetzung<br>E3 Hypothesen<br>E6 Modelle<br>E7 Arbeits- und Denkweisen<br>K1 Dokumentation<br>K2 Recherche<br>K3 Präsentation |
| ***Schall***<br><br>Wie lässt sich Schall physikalisch untersuchen? | Schwingungen und Wellen<br>Kräfte und Bewegungen<br>Energie und Impuls | E2 Wahrnehmung und Messung<br>UF1 Wiedergabe<br>K1 Dokumentation |

| **Qualifikationsphase (Q1) – GRUNDKURS** | | |
|---|---|---|
| Inhaltsfeld ***Quantenobjekte*** | | |
| Kontext und Leitfrage | Inhaltliche Schwerpunkte | Kompetenzschwerpunkte |
| ***Erforschung des Photons***<br>Wie kann das Verhalten von Licht beschrieben und erklärt werden?<br><br>Zeitbedarf: 14 Ustd. | Photon (Wellenaspekt) | E2<br>E5<br>K3 |
| ***Erforschung des Elektrons***<br>Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden?<br><br>Zeitbedarf: 15 Ustd. | Elektron (Teilchenaspekt) | UF1<br>UF3<br>E5<br>E6 |
| ***Photonen und Elektronen als Quantenobjekte***<br>Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?<br><br>Zeitbedarf: 5 Ustd. | Elektron und Photon (Teilchenaspekt, Welleaspekt)<br>Quantenobjekte und ihre Eigenschaften | E6<br>E7<br>K4<br>B4 |
| Inhaltsfeld ***Elektrodynamik*** | | |
| Kontext und Leitfrage | Inhaltliche Schwerpunkte | Kompetenzschwerpunkte |
| ***Energieversorgung und Transport mit Generatoren und Transformatoren***<br>Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden?<br><br>Zeitbedarf: 18 Ustd. | Spannung und elektrische Energie<br>Induktion<br>Spannungswandlung | UF2<br>UF4<br>E2<br>E5<br>E6<br>K3<br>B1 |
| ***Wirbelströme im Alltag***<br>Wie kann man Wirbelströme technisch nutzen?<br><br>Zeitbedarf: 4 Ustd. | Induktion | UF4<br>E5<br>B1 |
| Summe Qualifikationsphase (Q1) – GRUNDKURS: 56 von 90 Stunden | | |

| **Qualifikationsphase (Q2) – GRUNDKURS** | | |
|---|---|---|
| Inhaltsfeld ***Strahlung und Materie*** | | |
| Kontext und Leitfrage | Inhaltliche Schwerpunkte | Kompetenzschwerpunkte |
| ***Erforschung des Mikro- und Makrokosmos***<br>Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie?<br><br>Zeitbedarf: 13 Ustd. | Energiequantelung der Atomhülle<br>Spektrum der elektromagnetischen Strahlung | UF1 Wiedergabe<br>E5 Auswertung<br>E2 Wahrnehmung und Messung |
| ***Mensch und Strahlung***<br>Wie wirkt Strahlung auf den Menschen?<br><br>Zeitbedarf: 9 Ustd. | Kernumwandlungen<br>Ionisierende Strahlung<br>Spektrum der elektromagnetischen Strahlung | UF1 Wiedergabe<br>B3 Werte und Normen<br>B4 Möglichkeiten und Grenzen |
| ***Forschung am CERN und DESY***<br>Was sind die kleinsten Bausteine der Materie?<br><br>Zeitbedarf: 6 Ustd. | Standardmodell der Elementarteilchen | UF3 Systematisierung<br>E6 Modelle |
| Inhaltsfeld ***Relativität von Raum und Zeit*** | | |
| Kontext und Leitfrage | Inhaltliche Schwerpunkte | Kompetenzschwerpunkte |
| ***Navigationssysteme***<br>Welchen Einfluss hat Bewegung auf den Ablauf der Zeit?<br><br>Zeitbedarf: 5 Ustd. | Konstanz der Lichtgeschwindigkeit<br>Zeitdilatation | UF1 Wiedergabe<br>E6 Modelle |
| ***Teilchenbeschleuniger***<br>Ist die Masse bewegter Teilchen konstant?<br><br>Zeitbedarf: 6 Ustd. | Veränderlichkeit der Masse<br>Energie-Masse Äquivalenz | UF4 Vernetzung<br>B1 Kriterien |
| ***Das heutige Weltbild***<br>Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt?<br><br>Zeitbedarf: 2 Ustd. | Konstanz der Lichtgeschwindigkeit<br>Zeitdilatation<br>Veränderlichkeit der Masse<br>Energie-Masse Äquivalenz | E7 Arbeits- und Denkweisen<br>K3 Präsentation |
| Summe Qualifikationsphase (Q2) – GRUNDKURS: 41 von 60 Stunden | | |

| **Qualifikationsphase (Q1) – LEISTUNGSKURS** | | |
|---|---|---|
| Inhaltsfeld ***Relativitätstheorie*** | | |
| Kontext und Leitfrage | Inhaltliche Schwerpunkte | Kompetenzschwerpunkte |
| ***Satellitennavigation – Zeitmessung ist nicht absolut***<br>Welchen Einfluss hat Bewegung auf den Ablauf der Zeit?<br><br>Zeitbedarf: 4 Ustd. | Konstanz der Lichtgeschwindigkeit<br>Problem der Gleichzeitigkeit | UF2 Auswahl<br>E6 Modelle |
| ***Höhenstrahlung***<br>Warum erreichen Myonen aus der oberen Atmosphäre die Erdoberfläche?<br><br>Zeitbedarf: 4 Ustd. | Zeitdilatation und Längenkontraktion | E5 Auswertung<br>K3 Präsentation |
| ***Teilchenbeschleuniger - Warum Teilchen aus dem Takt geraten***<br>Ist die Masse bewegter Teilchen konstant?<br><br>Zeitbedarf: 8 Ustd. | Relativistische Massenzunahme<br>Energie-Masse-Beziehung | UF4 Vernetzung<br>B1 Kriterien |
| ***Satellitennavigation – Zeitmessung unter dem Einfluss von Geschwindigkeit und Gravitation***<br>Beeinflusst Gravitation den Ablauf der Zeit?<br><br>Zeitbedarf: 4 Ustd. | Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung | K3 Präsentation |
| ***Das heutige Weltbild***<br>Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt?<br><br>Zeitbedarf: 4 Ustd. | Konstanz der Lichtgeschwindigkeit<br>Problem der Gleichzeitigkeit<br>Zeitdilatation und Längenkontraktion<br>Relativistische Massenzunahme<br>Energie-Masse-Beziehung<br>Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung | B4 Möglichkeiten und Grenzen |

| Inhaltsfeld ***Elektrik*** | | |
|---|---|---|
| Kontext und Leitfrage | Inhaltliche Schwerpunkte | Kompetenzschwerpunkte |
| ***Untersuchung von Elektronen***<br>Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden?<br><br>Zeitbedarf: 24 Ustd. | Eigenschaften elektrischer Ladungen und ihrer Felder<br>Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern | UF1<br>UF2<br>E6<br>K3<br>B1<br>B4 |
| ***Aufbau und Funktionsweise wichtiger Versuchs- und Messapparaturen***<br>Wie und warum werden physikalische Größen meistens elektrisch erfasst und wie werden sie verarbeitet?<br><br>Zeitbedarf: 22 Ustd. | Eigenschaften elektrischer Ladungen und ihrer Felder<br>Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern | UF2<br>UF4<br>E1<br>E5<br>E6<br>K3<br>B1<br>B4 |
| ***Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie***<br>Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden?<br><br>Zeitbedarf: 22 Ustd. | Elektromagnetische Induktion | UF2<br>E6<br>B4 |
| ***Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübermittlung***<br>Wie können Nachrichten ohne Materietransport übermittelt werden?<br><br>Zeitbedarf: 28 Ustd. | Elektromagnetische Schwingungen und Wellen | UF1<br>UF2<br>E4<br>E5<br>E6<br>K3<br>B1<br>B4 |
| Summe Qualifikationsphase (Q1) – LEISTUNGSKURS: 120 von 150 Stunden | | |

| **Qualifikationsphase (Q2) – LEISTUNGSKURS** | | |
|---|---|---|
| Inhaltsfeld ***Quantenphysik*** | | |
| Kontext und Leitfrage | Inhaltliche Schwerpunkte | Kompetenzschwerpunkte |
| ***Erforschung des Photons***<br>Besteht Licht doch aus Teilchen?<br><br>Zeitbedarf: 10 Ustd. | Licht und Elektronen als Quantenobjekte<br>Welle-Teilchen-Dualismus<br>Quantenphysik und klassische Physik | UF2 Auswahl<br>E6 Modelle<br>E7 Arbeits- und Denkweisen |
| ***Röntgenstrahlung, Erforschung des Photons***<br>Was ist Röntgenstrahlung?<br><br>Zeitbedarf: 9 Ustd. | Licht und Elektronen als Quantenobjekte | UF1 Wiedergabe<br>E6 Modelle |
| ***Erforschung des Elektrons***<br>Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?<br><br>Zeitbedarf: 6 Ustd. | Welle-Teilchen-Dualismus | UF1 Wiedergabe<br>K3 Präsentation |
| ***Die Welt kleinster Dimensionen – Mikroobjekte und Quantentheorie***<br>Was ist anders im Mikrokosmos?<br><br>Zeitbedarf: 10 Ustd. | Welle-Teilchen-Dualismus und Wahrscheinlichkeitsinterpretation<br>Quantenphysik und klassische Physik | UF1 Wiedergabe<br>E7 Arbeits- und Denkweisen |

| Inhaltsfeld ***Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik*** | | |
|---|---|---|
| Kontext und Leitfrage | Inhaltliche Schwerpunkte | Kompetenzschwerpunkte |
| ***Geschichte der Atommodelle, Lichtquellen und ihr Licht***<br>Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie?<br><br>Zeitbedarf: 10 Ustd. | Atomaubau | UF1 Wiedergabe<br>E5 Auswertung<br>E7 Arbeits- und Denkweisen |
| ***Physik in der Medizin (Bildgebende Verfahren, Radiologie)***<br>Wie nutzt man Strahlung in der Medizin?<br><br>Zeitbedarf: 14 Ustd. | Ionisierende Strahlung<br>Radioaktiver Zerfall | UF3 Systematisierung<br>E6 Modelle<br>UF4 Vernetzung |
| ***(Erdgeschichtliche) Altersbestimmungen***<br>Wie funktioniert die $^{14}$C-Methode?<br><br>Zeitbedarf: 10 Ustd. | Radioaktiver Zerfall | UF2 Auswahl<br>E5 Auswertung |
| ***Energiegewinnung durch nukleare Prozesse***<br>Wie funktioniert ein Kernkraftwerk?<br><br>Zeitbedarf: 9 Ustd. | Kernspaltung und Kernfusion<br>Ionisierende Strahlung | B1 Kriterien<br>UF4 Vernetzung |
| ***Forschung am CERN und DESY – Elementarteilchen und ihre fundamentalen Wechselwirkungen***<br>Was sind die kleinsten Bausteine der Materie?<br><br>Zeitbedarf: 11 Ustd. | Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen | UF3 Systematisierung<br>K2 Recherche |
| Summe Qualifikationsphase (Q2) – LEISTUNGSKURS: 89 von 100 Stunden | | |

## 2.1.2 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben

### 2.1.2.1 Einführungsphase

### Inhaltsfeld: *Mechanik*

**Kontext: *Physik und Sport*** oder: ***Physik im Straßenverkehr***

*Leitfrage**:** Wie lassen sich Bewegungen vermessen, analysieren und optimieren?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Kräfte und Bewegungen, Energie und Impuls

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können …

(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen
(K4) physikalische Aussagen und Behauptungen mit sachlich fundierten und überzeugenden Argumenten begründen bzw. kritisieren.
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Beschreibung von Bewegungen im Alltag, im Sport oder Straßenverkehr.<br><br>Aristoteles vs. Galilei | stellen Änderungen in den Vorstellungen zu Bewegungen und zum Sonnensystem beim Übergang vom Mittelalter zur Neuzeit dar (UF3, E7),<br>entnehmen Kernaussagen zu naturwissenschaftlichen Positionen zu Beginn der Neuzeit aus einfachen historischen Texten (K2, K4). | **Textauszüge aus Galileis *Discorsi* zur Mechanik und zu den Fallgesetzen (s. Arbeitsblatt)**<br>Handexperimente zur qualitativen Beobachtung von Fallbewegungen (Gegenstände mit sehr kleinen und großen Massen bzw. Dichten; u. a. Vergleich Fall Stahlkugel und Blatt Papier (glatt vs. zur Kugel zusammengedrückt) | Einstieg über faire Beurteilung sportlicher Leistungen (Weitsprung in West bzw. Ostrichtung, Speerwurf usw., Konsequenzen aus der Ansicht einer ruhenden oder einer bewegten Erde)<br><br>Vorstellungen zur Trägheit und zur Fallbewegung, Diskussion von Alltagsvorstellungen und physikalischen Konzepte,<br>Vergleich der Vorstellungen von Aristoteles und Galilei zur Bewegung, insbesondere Trägheit und Impetus, Folgerungen für Vergleichbarkeit von sportlichen Leistungen. |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Beschreibung und Analyse von linearen Bewegungen | unterscheiden gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen und erklären zugrundeliegende Ursachen (UF2),<br>vereinfachen komplexe Bewegungs- und Gleichgewichtszustände durch Komponentenzerlegung bzw. Vektoraddition (E1),<br>planen selbstständig Experimente zur quantitativen und qualitativen Untersuchung einfacher Zusammenhänge (u.a. zur Analyse von Bewegungen), führen sie durch, werten sie aus und bewerten Ergebnisse und Arbeitsprozesse (E2, E5, B1),<br>stellen Daten in Tabellen und sinnvoll skalierten Diagrammen (u. a. *t-s*- und *t-v*-Diagramme, Vektordiagramme) von Hand und mit digitalen Werkzeugen angemessen präzise dar (K1, K3),<br>erschließen und überprüfen mit Messdaten und Diagrammen funktionale Beziehungen zwischen mechanischen Größen (E5),<br>bestimmen mechanische Größen mit mathematischen Verfahren und mithilfe digitaler Werkzeuge (u.a. Tabellenkalkulation, GTR) (E6), | Videoaufnahmen von Bewegungen im Sport (Fahrradfahrt o. anderes Fahrzeug, Sprint, Flug von Bällen) Analyse der Bewegungen mit digitaler **Videoanalyse** (z.B. VIANA, Tracker, Tabellenkalkulation, GTR)<br><br>**Untersuchung prototypischer beschleunigter Bewegungen im Labor, freier Fall, schiefe Ebene**<br><br>Experiment zur Massen(un)abhängigkeit des Falls und der Bewegung auf einer schiefen Ebene<br><br>Basketball, Korbwurf, Abstoß beim Fußball, günstigster Winkel | Einführung in die Verwendung von digitaler Videoanalyse<br>Unterscheidung gleichförmige und (beliebig) beschleunigte Bewegungen (insb. auch die gleichmäßig beschleunigte Bewegung).<br>Darstellung der Messdaten in Tabellen und Diagrammen, Erstellen und Interpretieren von *t-s*- und *t-v*-Diagrammen, Bestimmung von Strecken/Orten, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen aus den Diagrammen.<br>Herleitung der Formeln für gleichförmige und beschleunigte Bewegungen mit Hilfe der Diagramme,<br>Hypothesen entwickeln und testen.<br>Entwicklung von Experimenten durch die Schüler (Fallrohr, Gedankenexperiment), Schlussfolgerungen bezüglich der Massen(un)abhängigkeit des freien Falls<br>Geschwindigkeit (und ggf. Beschleunigung) als vektorielle Größe(n): Vektorielle Addition von Geschwindigkeiten, Superpositionsprinzip (qualitativ, quantitativ nur per Zeichnung) |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Newton'sche Gesetze, Kräfte und Bewegung | berechnen mithilfe des Newton'schen Kraftgesetzes Wirkungen einzelner oder mehrerer Kräfte auf Bewegungszustände und sagen sie unter dem Aspekt der Kausalität vorher (E6),<br>entscheiden begründet, welche Größen bei der Analyse von Bewegungen zu berücksichtigen oder zu vernachlässigen sind (E1, E4),<br>reflektieren Regeln des Experimentierens in der Planung und Auswertung von Versuchen (u. a. Zielorientierung, Sicherheit, Variablenkontrolle, Kontrolle von Störungen und Fehlerquellen) (E2, E4),<br>geben Kriterien (u.a. Objektivität, Reproduzierbarkeit, Widerspruchsfreiheit, Überprüfbarkeit) an, um die Zuverlässigkeit von Messergebnissen und physikalischen Aussagen zu beurteilen, und nutzen diese bei der Bewertung von eigenen und fremden Untersuchungen (B1), | **Newton'sches Bewegungsgesetz, Experimente mit der Fahrbahn**<br><br>**Protokolle: Funktionen und Anforderungen** | Kennzeichen von Laborexperimenten im Vergleich zu natürlichen Vorgängen besprechen, Ausschalten bzw. Kontrolle bzw. Vernachlässigen von Störungen<br>Definition der Kraft als Erweiterung des Kraftbegriffs aus der Sekundarstufe I.<br>Berechnung von Kräften und Beschleunigungen beim Kugelstoßen, bei Ballsportarten, Einfluss von Reibungskräften |
| Energie und Leistung<br>Impuls | erläutern die Größen Position, Strecke, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse, Kraft, Arbeit, Energie, Impuls und ihre Beziehungen zueinander an unterschiedlichen Beispielen (UF2, UF4),<br>analysieren in verschiedenen Kontexten Bewegungen qualitativ und quantitativ sowohl aus einer Wechselwirkungsperspektive als auch aus einer energetischen Sicht (E1, UF1),<br>verwenden Erhaltungssätze (Energie- und Impulsbilanzen), um Bewegungszustände zu erklären sowie Bewegungsgrößen zu berechnen (E3, E6),<br>begründen argumentativ Sachaussagen, Behauptungen und Vermutungen zu mechanischen Vorgängen und ziehen dabei erarbeitetes Wissen sowie Messergebnisse oder andere objektive Daten heran (K4),<br>bewerten begründet die Darstellung bekannter mechanischer und anderer physikalischer Phänomene in verschiedenen Medien (Printmedien, Filme, Internet) bezüglich ihrer Relevanz und Richtigkeit (K2, K4), | Einsatz des GTR zur Bestimmung des Integrals<br>Fadenpendel (Schaukel)<br>Sportvideos<br>Skateboards, Bälle<br><br>**Messreihen zu elastischen und inelastischen Stößen** | Begriff der Arbeit und der Energie<br>Einführung der Definition der Energiearten<br>Energieerhaltung<br>Energetische Analysen z.B. Hochsprung, Turmspringen, Turnen, Stabhochsprung, Bobfahren, Skisprung, Crashtest, Achterbahn.<br>Begriff des Impulses<br>Impuls als Erhaltungsgröße<br>Elastischer und inelastischer Stoß<br>Impulserhaltung bei z.B. Kopfball beim Fußball, Kampfsport, Crashtest, Auffahrunfall.<br>Hinweis: Erweiterung des Impulsbegriffs am Ende des Kontextes „Auf dem Weg in den Weltraum" |

**Kontext:** ***Auf dem Weg in den Weltraum***
*Leitfrage: Wie kommt man zu physikalischen Erkenntnissen über unser Sonnensystem?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Gravitation, Kräfte und Bewegungen, Energie und Impuls

**Kompetenzschwerpunkte:**

(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen. (Verbindung von Himmelsmechanik und „irdischen“ Erfahrungen)
(E3) mit Bezug auf Theorien, Modelle und Gesetzmäßigkeiten auf deduktive Weise Hypothesen generieren sowie Verfahren zu ihrer Überprüfung ableiten, (Experimentell erkundendes und deduktives Vorgehen)
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen, (Modellbegriff, Vergleich der Vorstellungen von Aristoteles und Kopernikus)
(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen. (Entstehung der Physik der Neuzeit)
(K1) Fragestellungen, Untersuchungen, Experimente und Daten nach gegebenen Strukturen dokumentieren und stimmig rekonstruieren auch mit Unterstützung Digitaler Werkzeuge, (Referate zu den Weltbildern)
(K2) In vorgegebenen Zusammenhängen selbstständig physikalisch-technische Fragestellungen mit Hilfe von Fachbüchern und anderen Quellen, auch einfachen historischen Texten, bearbeiten,
(K3) Physikalische Sachverhalte, Arbeitsergebnisse und Erkenntnisse adressatengerecht sowie formal, sprachlich und fachlich korrekt in Kurzvorträgen oder kurzen Fachtexten darstellen,

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Aristotelisches Weltbild, Kopernikanische Wende | stellen Änderungen in den Vorstellungen zu Bewegungen und zum Sonnensystem beim Übergang vom Mittelalter zur Neuzeit dar (UF3, E7),<br>beschreiben an Beispielen Veränderungen im Weltbild und in der Arbeitsweise der Naturwissenschaften, die durch die Arbeiten von Kopernikus, Kepler, Galilei und Newton initiiert wurden (E7, B3). | **Geozentrisches und heliozentrisches Planetenmodell (Arbeit mit dem Lehrbuch oder astronomischer Fachliteratur)** | **Als Projekt in Heimarbeit zu erarbeiten.**<br>Einstieg über Film zur Entwicklung des Raketenbaus und der Weltraumfahrt<br>Evtl. Besuch in einer Sternwarte, Planetarium Bochum<br>Beobachtungen am Himmel Historie: Verschiedene Möglichkeiten der Interpretation der Beobachtungen<br>Orientierung am Himmel<br>Beobachtungsaufgabe: Finden von Planeten am Nachthimmel<br>Tycho Brahes Messungen, Keplers Schlussfolgerungen<br>Benutzung geeigneter Apps z.B. Stellarium |
| Planetenbewegungen und Kepler’sche Gesetze | ermitteln mithilfe der Kepler´schen Gesetze und des Gravitationsgesetzes astronomische Größen (E6), | Animationen zur Darstellung der Planetenbewegungen | |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Newton'sches Gravitationsgesetz, Gravitationsfeld | beschreiben Wechselwirkungen im Gravitationsfeld und verdeutlichen den Unterschied zwischen Feldkonzept und Kraftkonzept (UF2, E6), | Arbeit mit dem Lehrbuch, Recherche im Internet (vgl. z.B. http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/gravitationsgesetz-und-feld) | Newton'sches Gravitationsgesetz als Zusammenfassung bzw. Äquivalent der Kepler'schen Gesetze<br>Newton'sche „Mondrechnung"<br>Anwendung des Newton'schen Gravitationsgesetzes und der Kepler'schen Gesetze zur Berechnung von Satellitenbahnen<br>Feldbegriff diskutieren, Definition der Feldstärke über Messvorschrift „Kraft auf Probekörper"<br>Bahnen von Satelliten und Planeten |
| Kreisbewegungen | analysieren und berechnen auftretende Kräfte bei Kreisbewegungen (E6), | **Messung der Zentralkraft**<br>**An dieser Stelle sollen das experimentell-erkundende und das deduktive Verfahren zur Erkenntnisgewinnung am Beispiel der Herleitung der Gleichung für die Zentralkraft bearbeitet werden.** | Beschreibung von gleichförmigen Kreisbewegungen, Winkelgeschwindigkeit, Periode<br>Zentralkraft und Zentripetalbeschleunigung: An dieser Stelle sollen das experimentell-erkundende Verfahren zur Erkenntnisgewinnung und das deduktive Verfahren am Beispiel der Herleitung der Gleichung für die Zentralkraft als die beiden wesentlichen Erkenntnismethoden der Physik bearbeitet werden.<br>Herausstellen der Notwendigkeit der Konstanthaltung der restlichen Größen bei der experimentellen Bestimmung einer von mehreren anderen Größen abhängigen physikalischen Größe (hier am Beispiel des vermutlichen Schülerfehlers bei der Bestimmung der Zentralkraft in Abhängigkeit der Masse des rotierenden Körpers)<br>Massenbestimmungen im Planetensystem, Fluchtgeschwindigkeiten |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Impuls und Impulserhaltung, Rückstoß | beschreiben eindimensionale Stoßvorgänge mit Wechselwirkungen und Impulsänderungen (UF1),<br>erläutern unterschiedliche Positionen zum Sinn aktueller Forschungsprogramme (z.B. Raumfahrt, Mobilität) und beziehen Stellung dazu (B2, B3). | Skateboards und Medizinball<br>Wasserrakete<br>Raketentriebwerke für Modellraketen<br>Recherchen zu aktuellen Projekten von ESA und DLR, auch zur Finanzierung | Impuls und Rückstoß<br>Bewegung einer Rakete im luftleeren Raum<br>Untersuchungen mit einer Wasserrakete, Simulation des Fluges einer Rakete in einer Excel-Tabelle |

**Kontext:** ***Schall***

*Leitfrage: Wie lässt sich das Hören des Menschen physikalisch beschreiben?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Schwingungen und Wellen, Kräfte und Bewegungen, Energie und Impuls

## Kompetenzschwerpunkte:

(E2) kriteriengeleitet beobachten und messen sowie auch komplexe Apparaturen für Beobachtungen und Messungen erläutern und sachgerecht verwenden, (Grenzen der sinnlichen Wahrnehmung, Messung mit Frequenzmessgerät, Oszilloskop, Computer)
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien/Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern, (Darstellung von Schwingungen und Wellen mit Fachbegriffen)
(K1) Fragestellungen, Untersuchungen, Experimente und Daten nach gegebenen Strukturen dokumentieren und stimmig rekonstruieren, auch mit Unterstützung digitaler Werkzeuge (Digitale Werkzeuge zur Darstellung von Schwingungen)

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Entstehung und Ausbreitung von Schall | erklären qualitativ die Ausbreitung mechanischer Wellen (Transversal- oder Longitudinalwelle) mit den Eigenschaften des Ausbreitungsmediums (E6), | Stimmgabeln, Lautsprecher, Frequenzgenerator, Frequenzmessgerät, Schallpegelmesser, rußgeschwärzte Glasplatte, Schreibstimmgabel und Schulpoolexperimente | **Stationenlernen**<br>Erarbeitung der Grundgrößen zur Beschreibung von Schwingungen und Wellen:<br>Frequenz (Periode) und Amplitude mittels der Höreindrücke des Menschen |
| Modelle der Wellenausbreitung | beschreiben Schwingungen und Wellen als Störungen eines Gleichgewichts und identifizieren die dabei auftretenden Kräfte (UF1, UF4), | Klingel und Vakuumglocke<br>**Lange Schraubenfeder**, **Wellenwanne** | Entstehung von Wellen<br>Ausbreitungsmedium, Möglichkeit der Ausbreitung Schallwellen in Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern<br>Entstehung des Dopplereffekts, „Schallmauer“ |
| Erzwungene Schwingungen und Resonanz | erläutern das Auftreten von Resonanz mithilfe von Wechselwirkung und Energie (UF1). | Stimmgabeln | Resonanz (auch Tacoma-Bridge, Millennium-Bridge)<br>Musikinstrumente<br>Das menschliche Hören (Trommelfell, Gehörknöchelchen, Gehörschnecke) |

### 2.1.2.2 Qualifikationsphase: Grundkurs

### Inhaltsfeld: *Quantenobjekte (GK)*

### Kontext: *Erforschung des Photons*

*Leitfrage: Wie kann das Verhalten von Licht beschrieben und erklärt werden?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Photon (Wellenaspekt)

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(E2) kriteriengeleitet beobachten und messen sowie auch komplexe Apparaturen für Beobachtungen und Messungen erläutern und sachgerecht verwenden,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Beugung und Interferenz Lichtwellenlänge, Lichtfrequenz, Kreiswellen, ebene Wellen, Beugung, Brechung (7 Ustd.) | veranschaulichen mithilfe der *Wellenwanne* qualitativ unter Verwendung von Fachbegriffen auf der Grundlage des Huygens'schen Prinzips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Beugung, Interferenz, Reflexion und Brechung (K3),<br>bestimmen Wellenlängen und Frequenzen von Licht mit *Doppelspalt* und *Gitter* (E5), | **Doppelspalt** und **Gitter**, **Wellenwanne**<br>Sehr schön sichtbare Beugungsphänomene finden sich vielfach bei Meereswellen (s. Google-Earth) | Ausgangspunkt: Beugung bei Licht<br>Modellbildung mit Hilfe der Wellenwanne (auch als Schülerpräsentation)<br>(als Beispiel verfügbar) |
| Quantelung der Energie von Licht, Austrittsarbeit (7 Ustd.) | demonstrieren anhand eines *Experiments zum Photoeffekt* den Quantencharakter von Licht und bestimmen den Zusammenhang von Energie, Wellenlänge und Frequenz von Photonen sowie die Austrittsarbeit der Elektronen (E5, E2), | **Photoeffekt**<br>Hallwachsversuch<br>Photozelle | Feld- und Spannungsbegriff sowie Energie des Lichts formalisieren, intuitiv erfahren und plausibel machen<br>(als Beispiel verfügbar) |
| **14 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Erforschung des Elektrons*

*Leitfrage: Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Elektron (Teilchenaspekt)

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(UF3) physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse nach fachlichen Kriterien ordnen und strukturieren,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Elementarladung<br>(5 Ustd.) | erläutern anhand einer vereinfachten Version des *Millikanversuchs* die grundlegenden Ideen und Ergebnisse zur Bestimmung der Elementarladung (UF1, E5),<br>untersuchen, ergänzend zum Realexperiment, Computersimulationen zum Verhalten von Quantenobjekten (E6). | **Millikanversuch**<br>Schwebemethode (keine Stokes´sche Reibung)<br>Auch als Simulation möglich | Wiederaufgreifen des Feld- und Spannungsbegriffs formalisieren, intuitiv erfahren und plausibel machen. |
| Elektronenmasse<br>(7 Ustd.) | beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern deren Definitionsgleichungen. (UF2, UF1),<br>bestimmen die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer elektrischen Spannung (UF2),<br>modellieren Vorgänge im *Fadenstrahlrohr* (Energie der Elektronen, Lorentzkraft) mathematisch, variieren Parameter und leiten dafür deduktiv Schlussfolgerungen her, die sich experimentell überprüfen lassen, und ermitteln die Elektronenmasse (E6, E3, E5), | ***e/m*-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr**<br>Auch Ablenkung des Strahls mit Permanentmagneten (Lorentzkraft)<br>evtl.: Stromwaage<br>evtl.: Hall-Effekt | Anwendung des Spannungsbegriffs (s. o.) zur Bestimmung der Energie der Elektronen, Lorentzkraft intuitiv erfahren und plausibel |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Streuung von Elektronen an Festkörpern, de Broglie-Wellenlänge<br>(3 Ustd.) | erläutern die Aussage der de Broglie-Hypothese, wenden diese zur Erklärung des Beugungsbildes beim *Elektronenbeugungsexperiment* an und bestimmen die Wellenlänge der Elektronen (UF1, UF2, E4). | **Elektronenbeugungs-experiment** | Bragg´sche Gleichung analog zur Gitterbeugung |
| **15 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: Photonen und Elektronen als Quantenobjekte

*Leitfrage: Kann das Verhalten von Elektronen und Photo-nen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Elektron und Photon (Teilchenaspekt, Wellenaspekt), Quantenobjekte und ihre Eigenschaften

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.
(K4) sich mit anderen über physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse kritisch-konstruktiv austauschen und dabei Behauptungen oder Beurteilungen durch Argumente belegen bzw. widerlegen.
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Licht und Materie<br>(5 Ustd.) | erläutern am Beispiel der Quantenobjekte Elektron und Photon die Bedeutung von Modellen als grundlegende Erkenntniswerkzeuge in der Physik (E6, E7),<br>verdeutlichen die Wahrscheinlichkeitsinterpretation für Quantenobjekte unter Verwendung geeigneter Darstellungen (Graphiken, Simulationsprogramme) (K3).<br>zeigen an Beispielen die Grenzen und Gültigkeitsbereiche von Wellen- und Teilchenmodellen für Licht und Elektronen auf (B4, K4),<br>beschreiben und diskutieren die Kontroverse um die Kopenhagener Deutung und den Welle-Teilchen-Dualismus (B4, K4). | Computerexperiment<br>**Doppelspalt**<br>**Photoeffekt** | Bedeutung der Experimente für die Entwicklung der Quantenphysik<br>Roter Faden: Von Hallwachs bis Elektronenbeugung |
| **5 Ustd.** | **Summe** | | |

## Inhaltsfeld: *Elektrodynamik (GK)*

## Kontext: *Energieversorgung und Transport mit Generatoren und Transformatoren*

*Leitfrage: Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Spannung und elektrische Energie, Induktion, Spannungswandlung

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.
(E2) kriteriengeleitet beobachten und messen sowie auch komplexe Apparaturen für Beobachtungen und Messungen erläutern und sachgerecht verwenden,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Wandlung von mechanischer in elektrische Energie:**<br>Elektromagnetische Induktion<br>Induktionsspannung<br>(5 Ustd.) | erläutern am Beispiel der *Leiterschaukel* das Auftreten einer Induktionsspannung durch die Wirkung der Lorentzkraft auf bewegte Ladungsträger (UF1, E6),<br>definieren die Spannung als Verhältnis von Energie und Ladung und bestimmen damit Energien bei elektrischen Leitungsvorgängen (UF2),<br>bestimmen die relative Orientierung von Bewegungsrichtung eines Ladungsträgers, Magnetfeldrichtung und resultierender Kraftwirkung mithilfe einer Drei-Finger-Regel (UF2, E6),<br>werten Messdaten, die mit einem *Oszilloskop* bzw. mit einem *Messwerterfassungssystem* gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5). | bewegter Leiter im (homogenen) Magnetfeld - „**Leiterschaukelversuch**“<br>Messung von Spannungen mit diversen Spannungsmessgeräten (nicht nur an der **Leiterschaukel**)<br>Gedankenexperimente zur Überführungsarbeit, die an einer Ladung verrichtet wird.<br>Deduktive Herleitung der Beziehung zwischen *U*, *v* und *B*. | Ausgangspunkt:<br>Ein *Spannungsmesser* registriert eine Spannung,<br>Definition der Spannung,<br>diese wird anhand von Beispielen für Energieumwandlungsprozesse bei Ladungstransporten „plausibel gemacht“, Anwendungsbeispiele.<br>Das Auftreten einer Induktionsspannung bei bewegtem Leiter im Magnetfeld wird mit Hilfe der auf die „mitbewegten Elektronen wirkenden Lorentzkräfte erklärt, eine Beziehung zwischen *U*, *v* und *B* wird (deduktiv) hergeleitet.<br>Die an der Leiterschaukel registrierten (zeitabhängigen) Induktionsspannungen werden mit Hilfe der hergeleiteten Beziehung auf das Zeit-Geschwindigkeit-Gesetz des bewegten Leiters zurückgeführt. |
| **Technisch praktikable Generatoren:**<br>Erzeugung sinusförmiger Wechselspannungen<br>(4 Ustd.) | recherchieren bei vorgegebenen Fragestellungen historische Vorstellungen und Experimente zu Induktionserscheinungen (K2),<br>erläutern adressatenbezogen Zielsetzungen, Aufbauten und Ergebnisse von Experimenten im Bereich der Elektrodynamik jeweils sprachlich angemessen und verständlich (K3), | Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen, Filme und Applets zum Generatorprinzip<br>Experimente mit drehenden Leiterschleifen in (näherungsweise homogenen) Magnetfeldern, Wechselstromgeneratoren | Die Leiterschaukel wird als wenig praxistauglicher Generator erkannt und mit historischen sowie moderneren Generatoren verglichen.<br>SuS erstellen (arbeitsteilig) Präsentationen und unterrichten sich gegenseitig, dabei werden nicht nur bildliche und / oder filmische Medien, sondern auch Realexperimente eingesetzt und ausgewertet. |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| | erläutern das Entstehen sinusförmiger Wechselspannungen in Generatoren (E2, E6),<br>werten Messdaten, die mit einem *Oszilloskop* bzw. mit einem *Messwerterfassungssystem* gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5).<br>führen Induktionserscheinungen an einer *Leiterschleife* auf die beiden grundlegenden Ursachen „zeitlich veränderliches Magnetfeld“ bzw. „zeitlich veränderliche (effektive) Fläche“ zurück (UF3, UF4), | Messung und Registrierung von Induktionsspannungen mit **Oszilloskopen** und **Messwerterfassungssystemen** | Der Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und zeitlicher Veränderung der (effektiv) vom Magnetfeld durchsetzten Fläche wird „deduktiv“ erschlossen. |
| **Nutzbarmachung elektrischer Energie durch „Transformation“**<br>Transformator<br>(5 Ustd.) | erläutern adressatenbezogen Zielsetzungen, Aufbauten und Ergebnisse von Experimenten im Bereich der Elektrodynamik jeweils sprachlich angemessen und verständlich (K3),<br>ermitteln die Übersetzungsverhältnisse von Spannung und Stromstärke beim *Transformator* (UF1, UF2).<br>geben Parameter von Transformatoren zur gezielten Veränderung einer elektrischen Wechselspannung an (E4),<br>werten Messdaten, die mit einem *Oszilloskop* bzw. mit einem *Messwerterfassungssystem* gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5).<br>führen Induktionserscheinungen an einer *Leiterschleife* auf die beiden grundlegenden Ursachen „zeitlich veränderliches Magnetfeld“ bzw. „zeitlich veränderliche (effektive) Fläche“ zurück (UF3, UF4), | diverse „Netzteile“ von Elektro-Kleingeräten (mit klassischem Transformator)<br>Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen<br>Demo-Aufbautransformator mit geeigneten Messgeräten<br>ruhende Induktionsspule in wechselstromdurchflossener Feldspule - mit **Messwerterfassungssystem** zur zeitaufgelösten Registrierung der Induktionsspannung sowie auch des zeitlichen Verlaufs der Stärke des magnetischen Feldes | Der Transformator wird als das wichtigste Gerät zur Anpassung der (Netz-) Spannung an die jeweils erforderliche Betriebsspannung eingeführt (experimentell und medial gestützter Schülervortrag).<br>Spannungsübersetzungsverhältnisse werden experimentell ermittelt (experimentell und medial gestützter Schülervortrag).<br>Der Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und zeitlicher Veränderung der Stärke des magnetischen Feldes wird experimentell / „induktiv“ erschlossen. Das relativ aufwendige Experiment wird vom Lehrer vorgeführt, die registrierten Messdiagramme können von den SuS selbstständig ausgewertet werden. |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Energieerhaltung<br>Ohm´sche „Verluste“<br>(4 Ustd.) | verwenden ein physikalisches *Modellexperiment zu Freileitungen*, um technologische Prinzipien der Bereitstellung und Weiterleitung von elektrischer Energie zu demonstrieren und zu erklären (K3),<br>bewerten die Notwendigkeit eines geeigneten Transformierens der Wechselspannung für die effektive Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B1),<br>zeigen den Einfluss und die Anwendung physikalischer Grundlagen in Lebenswelt und Technik am Beispiel der Bereitstellung und Weiterleitung elektrischer Energie auf (UF4),<br>beurteilen Vor- und Nachteile verschiedener Möglichkeiten zur Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B2, B1, B4). | **Modellexperiment** (z.B. mit Hilfe von Aufbautransformatoren) zur Energieübertragung und zur Bestimmung der „Ohm’schen Verluste“ bei der Übertragung elektrischer Energie bei unterschiedlich hohen Spannungen<br>Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen und Filme | Als arbeitsteiliges Gruppenpuzzle angelegtes Unterrichtsvorhaben unter Verwendung von Modellexperimenten, die von SuS durchgeführt und zur gegenseitigen Information genutzt werden |
| **18 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: Wirbelströme im Alltag

*Leitfrage: Wie kann man Wirbelströme technisch nutzen?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Induktion

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten.

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Lenz´sche Regel<br>(4 Ustd.) | erläutern anhand des *Thomson´schen Ringversuchs* die Lenz´sche Regel (E5, UF4),<br>bewerten bei technischen Prozessen das Auftreten erwünschter bzw. nicht erwünschter Wirbelströme (B1), | Ringversuche bei Relativbewegung von Ring und Magnet<br>**Thomson'scher Ringversuch**<br>diverse technische und spielerische Anwendungen, Dämpfungselement an einer Präzisionswaage, „fallender Magnet im Alu-Rohr usw.)<br>Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen und Filme zu **Wirbelstrom**bremsen in Fahrzeugen | Ausgehend von (kognitiven Konflikten bei) Ringversuchen wird die Lenz´sche Regel erarbeitet<br>und<br>zur Deutung diverser technischer und spielerischer Anwendungen genutzt. (Wirbelstrombremse bei Fahrzeugen oder z.B. an der Kreissäge) |
| **4 Ustd.** | **Summe** | | |

## Inhaltsfeld: *Strahlung und Materie (GK)*

## Kontext: *Erforschung des Mikro- und Makrokosmos*

*Leitfrage: Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Energiequantelung der Atomhülle, Spektrum der elektromagnetischen Strahlung

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E2) kriteriengeleitet beobachten und messen sowie auch komplexe Apparaturen für Beobachtungen und Messungen erläutern und sachgerecht verwenden,

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Kern-Hülle-Modell (2 Ustd.) | erläutern, vergleichen und beurteilen Modelle zur Struktur von Atomen und Materiebausteinen (E6, UF3, B4), | Recherche in Literatur | Diverse Atommodelle (Antike bis Anfang 20. Jhd.) |
| Energieniveaus der Atomhülle (1 Ustd.) | erklären die Energie absorbierter und emittierter Photonen mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (UF1, E6), | Demonstration von **Linienspektren** | Linienspektren deuten auf diskrete Energien hin |
| Quantenhafte Emission und Absorption von Photonen (3 Ustd.) | erläutern die Bedeutung von *Flammenfärbung und Linienspektren bzw. Spektralanalyse*, die Ergebnisse des *Franck-Hertz-Versuches* sowie die *charakteristischen Röntgenspektren* für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7), | Deutung der **Linienspektren** **Franck-Hertz-Versuch** | Es kann das Bohr'sche Atommodell angesprochen werden (ohne Rechnungen) |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Röntgenstrahlung<br>(3 Ustd.) | erläutern die Bedeutung von *Flammenfärbung und Linienspektren bzw. Spektralanalyse*, die Ergebnisse des *Franck-Hertz-Versuches* sowie die *charakteristischen Röntgenspektren* für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7), | Aufnahme von **Röntgenspektren** (kann mit interaktiven Bildschirmexperimenten (IBE) geschehen, falls keine Schulröntgeneinrichtung vorhanden ist) | Im Zuge der „Elemente der Quantenphysik“ kann die Röntgenstrahlung bereits als Umkehrung des Photoeffekts bearbeitet werden<br>Mögliche Ergänzungen: Bremsspektrum mit h-Bestimmung / Bragg-Reflexion |
| Quantelung der Energie<br>(3 Ustd.) | | **Spektralanalyse**<br>**Flammenfärbung** | u. a. Durchstrahlung einer Na-Flamme mit Na- und Hg-Licht (Schattenbildung) |
| Linienspektren<br>(1 Ustd.) | interpretieren Spektraltafeln des *Sonnenspektrums* im Hinblick auf die in der Sonnen- und Erdatmosphäre vorhandenen Stoffe (K3, K1),<br>erklären Sternspektren und Fraunhoferlinien (UF1, E5, K2),<br>stellen dar, wie mit spektroskopischen Methoden Informationen über die Entstehung und den Aufbau des Weltalls gewonnen werden können (E2, K1), | Darstellung des **Sonnenspektrum**s mit seinen **Fraunhoferlinien** | |
| **13 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Kernphysik - Mensch und Strahlung*

*Leitfrage: Wie wirkt Strahlung auf den Menschen?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Kernumwandlungen, Ionisierende Strahlung, Spektrum der elektromagnetischen Strahlung

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(B3) an Beispielen von Konfliktsituationen mit physikalisch-technischen Hintergründen kontroverse Ziele und Interessen sowie die Folgen wissenschaftlicher Forschung aufzeigen und bewerten,
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Strahlungsarten (2 Ustd.) | unterscheiden $\alpha$-, $\beta$-, $\gamma$-Strahlung und Röntgenstrahlung sowie Neutronen- und Schwerionenstrahlung (UF3),<br>erläutern den Nachweis unterschiedlicher Arten ionisierender Strahlung mithilfe von Absorptionsexperimenten (E4, E5),<br>bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik (B1, B3), | Recherche<br>**Absorption von $\alpha$-, $\beta$-, $\gamma$-Strahlung** | |
| Elementumwandlung (1 Ustd.) | erläutern den Begriff Radioaktivität und beschreiben zugehörige Kernumwandlungsprozesse (UF1, K1), | Umgang mit einer Isotopentafel | |
| Detektoren (3 Ustd.) | erläutern den Aufbau und die Funktionsweise von Nachweisgeräten für ionisierende Strahlung (*Geiger-Müller-Zählrohr*) und bestimmen Halbwertszeiten und Zählraten (UF1, E2), | **Geiger-Müller-Zählrohr** | Hinweise auf Halbleiterdetektoren können gegeben werden |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Biologische Wirkung ionisierender Strahlung<br><br>Energieaufnahme im menschlichen Gewebe<br><br>(2 Ustd.) | beschreiben Wirkungen von ionisierender und elektromagnetischer Strahlung auf Materie und lebende Organismen (UF1),<br><br>bereiten Informationen über wesentliche biologisch-medizinische Anwendungen und Wirkungen von ionisierender Strahlung für unterschiedliche Adressaten auf (K2, K3, B3, B4),<br><br>begründen in einfachen Modellen wesentliche biologisch-medizinische Wirkungen von ionisierender Strahlung mit deren typischen physikalischen Eigenschaften (E6, UF4), | Film / Video | Nutzung von Strahlung zur Diagnose und zur Therapie bei Krankheiten des Menschen (von Lebewesen) sowie zur Kontrolle bei technischen Anlagen sind sinnvolle Beispiele für den Unterricht |
| Dosimetrie<br><br>(1 Ustd.) | erläutern das Vorkommen künstlicher und natürlicher Strahlung, ordnen deren Wirkung auf den Menschen mithilfe einfacher dosimetrischer Begriffe ein und bewerten Schutzmaßnahmen im Hinblick auf die Strahlenbelastungen des Menschen im Alltag (B1, K2).<br><br>bewerten Gefahren und Nutzen der Anwendung physikalischer Prozesse, u. a. von ionisierender Strahlung, auf der Basis medizinischer, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Gegebenheiten (B3, B4)<br><br>bewerten Gefahren und Nutzen der Anwendung ionisierender Strahlung unter Abwägung unterschiedlicher Kriterien (B3, B4), | | Einfache dosimetrische Begriffe: Aktivität, Energiedosis, Äquivalentdosis |
| **9 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Elementarteilchenphysik - Forschung am CERN und DESY*

*Leitfrage: Was sind die kleinsten Bausteine der Materie?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Standardmodell der Elementarteilchen

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF3) physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse nach fachlichen Kriterien ordnen und strukturieren,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen.

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Kernbausteine und Elementarteilchen<br>(4 Ustd.) | erläutern mithilfe des aktuellen Standardmodells den Aufbau der Kernbausteine und erklären mit ihm Phänomene der Kernphysik (UF3, E6),<br>erklären an einfachen Beispielen Teilchenumwandlungen im Standardmodell (UF1).<br>recherchieren in Fachzeitschriften, Zeitungsartikeln bzw. Veröffentlichungen von Forschungseinrichtungen zu ausgewählten aktuellen Entwicklungen in der Elementarteilchenphysik (K2). | In diesem Bereich sind i. d. R. keine Realexperimente für Schulen möglich.<br>Es kann auf Internetseiten des CERN und DESY zurückgegriffen werden | Eine Auflistung möglicher Inhalte zur Auswahl(!) für den Unterricht ist bei den Angaben zum Leistungskurs zu finden |
| (Virtuelles) Photon als Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung<br>Konzept der Austauschteilchen vs. Feldkonzept<br>(2 Ustd.) | vergleichen in Grundprinzipien das Modell des Photons als Austauschteilchen für die elektromagnetische Wechselwirkung exemplarisch für fundamentale Wechselwirkungen mit dem Modell des Feldes (E6). | | |
| **6 Ustd.** | **Summe** | | |

## Inhaltsfeld: *Relativität von Raum und Zeit (GK)*

## Kontext: *Navigationssysteme*

*Leitfrage: Welchen Einfluss hat Bewegung auf den Ablauf der Zeit?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Zeitdilatation

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen.

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Relativität der Zeit (5 Ustd.) | interpretieren das *Michelson-Morley-Experiment* als ein Indiz für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit (UF4),<br>erklären anschaulich mit der *Lichtuhr* grundlegende Prinzipien der speziellen Relativitätstheorie und ermitteln quantitativ die Formel für die Zeitdilatation (E6, E7),<br>erläutern qualitativ den *Myonenzerfalls* in der Erdatmosphäre als experimentellen Beleg für die von der Relativitätstheorie vorhergesagte Zeitdilatation (E5, UF1).<br>begründen mit der Lichtgeschwindigkeit als Obergrenze für Geschwindigkeiten von Objekten, dass eine additive Überlagerung von Geschwindigkeiten nur für „kleine“ Geschwindigkeiten gilt (UF2),<br>erläutern die Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie (UF1), | **Experiment von Michelson und Morley (**Computersimulation)<br>**Lichtuhr** (Gedankenexperiment / Computersimulation)<br>**Myonenzerfall** (Experimentepool der Universität) | Ausgangsproblem: Exaktheit der Positionsbestimmung mit Navigationssystemen<br>Wegen der Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für die (spezielle) Relativitätstheorie wird das Experiment von Michelson Morley im Unterricht behandelt.<br>Für die Herleitung der Zeitdilatation ist die „Lichtuhr“ ein geeignetes Gedankenexperiment. Zudem wird hiermit der relativistische Faktor $\gamma$ hergeleitet.<br>Der Myonenzerfall in der Erdatmosphäre dient danach als experimentelle Bestätigung der Zeitdilatation.<br>Längenkontraktion, dynamische Masse und $E=mc^2$ werden als deduktiv herleitbar angegeben. |
| **5 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Teilchenbeschleuniger*

*Leitfrage: Ist die Masse bewegter Teilchen konstant?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Veränderlichkeit der Masse, Energie-Masse Äquivalenz

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten.

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| „Schnelle“ Ladungsträger in E- und B-Feldern (2 Ustd.) | erläutern die Funktionsweise eines *Zyklotrons* und argumentieren zu den Grenzen einer Verwendung zur Beschleunigung von Ladungsträgern bei Berücksichtigung relativistischer Effekte (K4, UF4), | **Zyklotron** (in einer Simulation mit und ohne Massenveränderlichkeit) | Hier braucht keine Rechnung durchgeführt zu werden: Die Massenzunahme soll in der Simulation das „Aus-dem-Takt-Geraten“ eines beschleunigten Teilchens im Zyklotron zeigen. |
| Ruhemasse und dynamische Masse (4 Ustd.) | erläutern die Energie-Masse Äquivalenz (UF1).<br>zeigen die Bedeutung der Beziehung $E=mc^2$ für die Kernspaltung und -fusion auf (B1, B3) | Film / Video | Interpretation des Zusammenhangs zwischen Bindungsenergie pro Nukleon und der Kernspaltungs- bzw. -fusionsenergie bei den entsprechenden Prozessen<br>(Hiroshima, Nagasaki)<br>(Erzeugung und Vernichtung von Teilchen) |
| **6 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Das heutige Weltbild*

*Leitfrage: Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Zeitdilatation, Veränderlichkeit der Masse, Energie-Masse Äquivalenz

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren.

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Gegenseitige Bedingung von Raum und Zeit<br><br>(2 Ustd.) | diskutieren die Bedeutung von Schlüsselexperimenten bei physikalischen Paradigmenwechseln an Beispielen aus der Relativitätstheorie (B4, E7),<br><br>erläutern die relativistische Längenkontraktion über eine Plausibilitätsbetrachtung (K3),<br><br>beschreiben Konsequenzen der relativistischen Einflüsse auf Raum und Zeit anhand anschaulicher und einfacher Abbildungen (K3) | Film / Video<br>(z.B.: http://www.tivi.de/infosund-tipps/wissen/popup/06888/index.html ) | |
| **2 Ustd.** | **Summe** | | |

## 2.1.2.3 Qualifikationsphase: Leistungskurs

### Inhaltsfeld: *Relativitätstheorie (LK)*

### Kontext: *Satellitennavigation – Zeitmessung ist nicht absolut*

*Leitfrage: Welchen Einfluss hat Bewegung auf den Ablauf der Zeit?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Problem der Gleichzeitigkeit

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen.

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br><br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und Problem der Gleichzeitigkeit<br><br>Inertialsysteme<br><br>Relativität der Gleichzeitigkeit<br><br>(4 Ustd.) | begründen mit dem Ausgang des Michelson-Morley-Experiments die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit (UF4, E5, E6),<br><br>erläutern das Problem der relativen Gleichzeitigkeit mit in zwei verschiedenen Inertialsystemen jeweils synchronisierten Uhren (UF2),<br><br>begründen mit der Lichtgeschwindigkeit als Obergrenze für Geschwindigkeiten von Objekten Auswirkungen auf die additive Überlagerung von Geschwindigkeiten (UF2). | Experiment von Michelson und Morley (Computersimulation)<br><br>Relativität der Gleichzeitigkeit<br>(Video / Film) | Ausgangsproblem: Exaktheit der Positionsbestimmung mit Navigationssystemen (z.B. über vorbereitenden Hausaufgabe anhand von Internetinformationen zur Satellitennavigation)<br><br>Wegen der Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für die (spezielle) Relativitätstheorie wird das Experiment von Michelson und Morley (in einer Computersimulation) im Unterricht behandelt.<br><br>Das Additionstheorem für relativistische Geschwindigkeiten braucht nicht hergeleitet zu werden (wie dies etwa anhand der Lorentz-Transformationsgleichungen möglich ist), sondern kann ergänzend angegeben werden. |
| **4 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Höhenstrahlung*

*Leitfrage: Warum erreichen Myonen aus der oberen Atmo-sphäre die Erdoberfläche?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Zeitdilatation und Längenkontraktion

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren.

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Zeitdilatation und relativistischer Faktor<br>(2 Ustd., zusätzlich evtl. Exkursion) | leiten mithilfe der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und des Modells Lichtuhr quantitativ die Formel für die Zeitdilatation her (E5),<br>reflektieren die Nützlichkeit des Modells Lichtuhr hinsichtlich der Herleitung des relativistischen Faktors (E7).<br>erläutern die Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie (UF1) | Lichtuhr (Gedankenexperiment / Computersimulation)<br>Myonenzerfall (evtl. Experimentepool der Universität - Exkursion) | Für die Herleitung der Zeitdilatation ist die „Lichtuhr“ ein sehr geeignetes Gedankenexperiment. Zudem wird hiermit der relativistische Faktor $\gamma$ hergeleitet.<br>Der Myonenzerfall in der Erdatmosphäre dient danach als eine experimentelle Bestätigung der Zeitdilatation. |
| Längenkontraktion<br>(2 Ustd.) | begründen den Ansatz zur Herleitung der Längenkontraktion (E6),<br>erläutern die relativistischen Phänomene Zeitdilatation und Längenkontraktion anhand des Nachweises von in der oberen Erdatmosphäre entstehenden Myonen (UF1),<br>beschreiben Konsequenzen der relativistischen Einflüsse auf Raum und Zeit anhand anschaulicher und einfacher Abbildungen (K3), | Myonenzerfall (Experimentepool der Universität – Exkursion) – s. o. | Der Myonenzerfall in der Erdatmosphäre dient danach als eine experimentelle Bestätigung der Längenkontraktion (im Vergleich zur Zeitdilatation) – s. o.<br>Im Anschluss an die Exkursion: Abschließender Schülervortrag „Myonenzerfall und Längenkontraktion“ |
| **4 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Teilchenbeschleuniger – Warum Teilchen aus dem Takt geraten*

*Leitfrage: Ist die Masse bewegter Teilchen konstant?*
Inhaltliche Schwerpunkte: Veränderlichkeit der Masse, Energie-Masse Äquivalenz

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten.

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Ruhemasse und dynamische Masse<br>(2 Ustd.) | erläutern die Energie-Masse-Beziehung (UF1)<br>berechnen die relativistische kinetische Energie von Teilchen mithilfe der Energie-Masse-Beziehung (UF2) | | Die Formel für die dynamische Masse braucht nicht explizit hergeleitet zu werden. |
| „Schnelle“ Ladungsträger in E- und B-Feldern<br>(4 Ustd.) | erläutern auf der Grundlage historischer Dokumente ein Experiment (Bertozzi-Versuch) zum Nachweis der relativistischen Massenzunahme (K2, K3), | Bertozzi-Experiment (anhand von Literatur) | Z.B. das Bertozzi-Experiment soll mithilfe einer Schülerpräsentation behandelt werden (ggf. auch anhand einer Zentralabituraufgabe)<br>Simulation: Die Massenzunahme eines Teilchens im Zyklotron („Aus-dem-Takt-Geraten“) |
| Bindungsenergie im Atomkern<br>Annihilation<br>(2 Ustd.) | beschreiben die Bedeutung der Energie-Masse-Äquivalenz hinsichtlich der Annihilation von Teilchen und Antiteilchen (UF4),<br>bestimmen und bewerten den bei der Annihilation von Teilchen und Antiteilchen frei werdenden Energiebetrag (E7, B1),<br>beurteilen die Bedeutung der Beziehung E=mc2 für Erforschung und technische Nutzung von Kernspaltung und Kernfusion (B1, B3), | Historische Aufnahme von Teilchenbahnen | Interpretation des Zusammenhangs zwischen Bindungsenergie pro Nukleon und der Kernspaltungs- bzw. Kernfusionsenergie bei den entsprechenden Prozessen<br>Hiroshima, Nagasaki<br>Erzeugung und Vernichtung von Teilchen |
| **8 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Satellitennavigation – Zeitmessung unter dem Einfluss von Geschwindigkeit und Gravitation*

*Leitfrage: Beeinflusst Gravitation den Ablauf der Zeit?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Gravitation und Zeitmessung<br>(2 Ustd.) | beschreiben qualitativ den Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung (UF4) | Der Gang zweier Atomuhren in unterschiedlicher Höhe in einem Raum (früheres Experimente der PTB Braunschweig)<br>Flug von Atomuhren um die Erde (Video) | Dieser Unterrichtsabschnitt soll lediglich einen ersten – qualitativ orientierten – Einblick in die Äquivalenz von Gravitation und gleichmäßig beschleunigten Bezugssystemen geben<br>Elemente des Kontextes Satellitennavigation können genutzt werden, sowohl die Zeitdilatation (infolge der unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Satelliten) als auch die Gravitationswirkung (infolge ihres Aufenthalts an verschiedenen Orten im Gravitationsfeld der Erde) zu verdeutlichen. |
| Die Gleichheit von träger und schwerer Masse (im Rahmen der heutigen Messgenauigkeit)<br>(2 Ustd.) | veranschaulichen mithilfe eines einfachen gegenständlichen Modells den durch die Einwirkung von massebehafteten Körpern hervorgerufenen Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung sowie die „Krümmung des Raums“ (K3). | Einsteins Fahrstuhl-Gedankenexperiment<br>Das Zwillingsparadoxon (mit Beschleunigungsphasen und Phasen der glf. Bewegung<br>Film / Video (z.B.: http://www.tivi.de/infosundtipps/wissen/popup/06888/index.html ; Jan 2012) | Präsentation durch Schülerin oder Schüler (mithilfe der Nutzung von Informations- und Animationsmaterial aus dem Internet) |
| **4 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Das heutige Weltbild*

*Leitfrage: Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Problem der Gleichzeitigkeit, Zeitdilatation und Längenkontraktion, Relativistische Massenzunahme, Energie-Masse-Beziehung, Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br><br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Gegenseitige Bedingung von Raum und Zeit<br><br>(2 Ustd.) | bewerten Auswirkungen der Relativitätstheorie auf die Veränderung des physikalischen Weltbilds (B4). | | |
| **2 Ustd.** | **Summe** | | |

## Inhaltsfeld: *Elektrik (LK)*

## Kontext: *Untersuchung von Elektronen*

*Leitfrage: Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Eigenschaften elektrischer Ladungen und ihrer Felder,Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Grundlagen:**<br>Ladungstrennung,<br>Ladungsträger<br>(4 Ustd.) | erklären elektrostatische Phänomene und Influenz mithilfe grundlegender Eigenschaften elektrischer Ladungen (UF2, E6), | einfache Versuche zur Reibungselektrizität – Anziehung / Abstoßung,<br>halbquantitative Versuche mit Hilfe eines Elektrometerverstärkers:<br>Zwei aneinander geriebene Kunststoffstäbe aus unterschiedlichen Materialien tragen betragsmäßig gleiche, aber entgegengesetzte Ladungen,<br>Influenzversuche | Es kann auf zwei verschiedene Arten von „Elektrizität“ geschlossen werden (Wiederholung aus der SI).<br>Ladungen werden nicht erzeugt, sondern nur getrennt.<br>In Anlehnung an SI-Vorkenntnisse wird das Elektron als (ein) Träger der negativen Ladung benannt, seine Eigenschaften sollen im Folgenden erforscht werden. |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Bestimmung der Elementarladung:**<br>elektrische Felder, Feldlinien<br>potentielle Energie im elektrischen Feld, Spannung<br>Kondensator<br>Elementarladung<br>(10 Ustd.) | beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der entsprechenden Feldstärken (UF2, UF1),<br>erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschaulichung typischer Felder und interpretieren Feldlinienbilder (K3, E6, B4), | Skizzen zum prinzipiellen Aufbau des Millikanversuchs, realer Versuchsaufbau oder entsprechende Medien (z. B: RCL (remote control laboratory),<br>einfache Versuche und visuelle Medien zur Veranschaulichung elektrischer Felder im Feldlinienmodell,<br>Plattenkondensator (homogenes E-Feld), | Die Versuchsidee „eines“ Millikanversuchs wird erarbeitet,<br>dazu werden der Begriff des elektrischen Feldes sowie die Veranschaulichung elektrischer Felder im Feldlinienmodell, eingeführt.<br>Definition der elektrischen Feldstärke in einem Punkt eines elektrischen Feldes,(Vermeidung von Zirkelschlüssen)<br>Definition des homogenen Feldes,<br>Definition der Spannung, |
| | leiten physikalische Gesetze (u.a. die im homogenen elektrischen Feld gültige Beziehung zwischen Spannung und Feldstärke und den Term für die Lorentzkraft) aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),<br>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1), | evtl. Apparatur zur Messung der Feldstärke gemäß der Definition,<br>Spannungsmessung am Plattenkondensator,<br>Bestimmung der Elementarladung mit dem Millikanversuch | Zusammenhang zwischen E und U im homogenen Feld,<br>Bestimmung der Elementarladung mit Diskussion der Messgenauigkeit,<br>Übungsaufgaben (z.B. auch zum Coulomb’schen Gesetz, welches evtl. nur per Plausibilitätsbetrachtung eingeführt wird.) |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Bestimmung der Masse eines Elektrons:**<br>magnetische Felder, Feldlinien,<br>potentielle Energie im elektrischen Feld, Energie bewegter Ladungsträger,<br>Elektronenmasse<br>(10 Ustd.) | erläutern an Beispielen den Stellenwert experimenteller Verfahren bei der Definition physikalischer Größen (elektrische und magnetische Feldstärke) und geben Kriterien zu deren Beurteilung an (z.B. Genauigkeit, Reproduzierbarkeit, Unabhängigkeit von Ort und Zeit) (B1, B4),<br>treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1),<br>beschreiben qualitativ die Erzeugung eines Elektronenstrahls in einer Elektronenstrahlröhre (UF1, K3),<br>ermitteln die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer Spannung (auch relativistisch) (UF2, UF4, B1), | Fadenstrahlrohr (zunächst) zur Erarbeitung der Versuchsidee,<br>(z.B.) Stromwaage zur Demonstration der Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld sowie zur Veranschaulichung der Definition der magnetischen Feldstärke,<br>Versuche mit z.B. Oszilloskop, Fadenstrahlrohr, altem (Monochrom-) Röhrenmonitor o. ä. zur Demonstration der Lorentzkraft,<br>Fadenstrahlrohr zur *e*/*m* – Bestimmung (das Problem der Messung der magnetischen Feldstärke wird ausgelagert.) | Im Sinne der Kontextarbeit wird nach der Masse des Elementarteilchens Elektron gefragt. Eventuell wird thematisiert, dass die Ablenkung im elektrischen Feld (im nichtrelativistischen Fall) nicht ausreicht.<br>Als Versuchsidee wird (evtl. in Anlehnung an astronomischen Berechnungen in der EF) die Auswertung der Daten einer erzwungenen Kreisbewegung des Teilchens erarbeitet.<br>Dazu werden der Begriff des magnetischen Feldes sowie die Veranschaulichung magnetischer Felder (incl. Feldlinienmodell) eingeführt.<br>Definition der magnetischen Feldstärke, Definition des homogenen Feldes,<br>Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld, Herleitung der Lorentzkraft,<br>Ein Verfahren zur Beschleunigung der Elektronen sowie zur Bestimmung ihrer Geschwindigkeit wird erarbeitet. |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| | erläutern den Feldbegriff und zeigen dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Gravitationsfeld, elektrischem und magnetischem Feld auf (UF3, E6),<br><br>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),<br><br>erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschaulichung typischer Felder und interpretieren Feldlinienbilder (K3, E6, B4),<br><br>bestimmen die relative Orientierung von Bewegungsrichtung eines Ladungsträgers, Magnetfeldrichtung und resultierender Kraftwirkung mithilfe einer Drei-Finger-Regel (UF2, E6),<br><br>leiten physikalische Gesetze (Term für die Lorentzkraft) aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),<br><br>beschreiben qualitativ und quantitativ die Bewegung von Ladungsträgern in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern sowie in gekreuzten Feldern (Wien-Filter, Hall-Effekt) (E1, E2, E3, E4, E5 UF1, UF4),<br><br>schließen aus spezifischen Bahnkurvendaten bei der e/m-Bestimmung und beim Massenspektrometer auf wirkende Kräfte sowie Eigenschaften von Feldern und bewegten Ladungsträgern (E5, UF2), | | |
| **24 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Aufbau und Funktionsweise wichtiger Versuchs- und Messapparaturen*

*Leitfrage: Wie und warum werden physikalische Größen meistens elektrisch erfasst und wie werden sie verarbeitet?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Eigenschaften elektrischer Ladungen und ihrer Felder ,Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.
(E1) in unterschiedlichen Kontexten physikalische Probleme identifizieren, analysieren und in Form physikalischer Fragestellungen präzisieren,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Anwendungen in Forschung und Technik:**<br>Bewegung von Ladungsträgern in Feldern<br>(12 Ustd.) | beschreiben qualitativ und quantitativ die Bewegung von Ladungsträgern in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern sowie in gekreuzten Feldern (Wien-Filter, Hall-Effekt) (E1, E2, E3, E4, E5 UF1, UF4),<br>erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten aus dem Bereich der Elektrik (K1, K3, UF3),<br>beschreiben qualitativ die Erzeugung eines Elektronenstrahls in einer Elektronenstrahlröhre (UF1, K3),<br>ermitteln die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer Spannung (auch relativistisch) (UF2, UF4, B1),<br>schließen aus spezifischen Bahnkurvendaten beim Massenspektrometer auf wirkende Kräfte sowie Eigenschaften von Feldern und bewegten Ladungsträgern, (E5, UF2),<br>erläutern den Feldbegriff und zeigen dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Gravitationsfeld, elektrischem und magnetischem Feld auf (UF3, E6),<br>erläutern den Einfluss der relativistischen Massenzunahme auf die Bewegung geladener Teilchen im Zyklotron (E6, UF4),<br>leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2), | Hallsonde,<br>Halleffektgerät,<br>diverse Spulen, deren Felder vermessen werden (insbesondere lange Spulen und Helmholtzspulen),<br>Elektronenstrahlablenkröhre<br>visuelle Medien, Computersimulationen und RCLs zum Massenspektrometer, Zyklotron und evtl. weiteren Teilchenbeschleunigern | Das Problem der Messung der Stärke des magnetischen Feldes der Helmholtzspulen (e/m – Bestimmung) wird wieder aufgegriffen,<br>Vorstellung des Aufbaus einer Hallsonde und Erarbeitung der Funktionsweise einer Hallsonde,<br>Veranschaulichung mit dem Halleffektgerät (Silber),<br>Kalibrierung einer Hallsonde,<br>Messungen mit der Hallsonde u. a. nachträgliche Vermessung des Helmholtzspulenfeldes,<br>Bestimmung der magnetischen Feldkonstante,<br>Arbeits- und Funktionsweisen sowie die Verwendungszwecke diverser Elektronenröhren, Teilchenbeschleuniger und eines Massenspektrometer werden untersucht. |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| | entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),<br><br>wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze (u.a. Coulomb'sches Gesetz, Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld, Lorentzkraft, Spannung im homogenen *E*-Feld) problembezogen aus (UF2), | | |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Moderne messtechnische Verfahren sowie Hilfsmittel zur Mathematisierung:**<br>Auf- und Entladung von Kondensatoren,<br>Energie des elektrischen Feldes<br>(10 Ustd.) | erläutern an Beispielen den Stellenwert experimenteller Verfahren bei der Definition physikalischer Größen (elektrische und magnetische Feldstärke) und geben Kriterien zu deren Beurteilung an (z.B. Genauigkeit, Reproduzierbarkeit, Unabhängigkeit von Ort und Zeit) (B1, B4),<br>erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschaulichung typischer Felder und interpretieren Feldlinienbilder (K3, E6, B4),<br>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),<br>wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze (u.a. Coulomb'sches Gesetz, Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld, Lorentzkraft, Spannung im homogenen *E*-Feld) problembezogen aus (UF2),<br>leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),<br>ermitteln die in elektrischen bzw. magnetischen Feldern gespeicherte Energie (Kondensator) (UF2),<br>beschreiben qualitativ und quantitativ, bei vorgegebenen Lösungsansätzen, Ladungs- und Entladungsvorgänge in Kondensatoren (E4, E5, E6), | diverse Kondensatoren (als Ladungs-/ Energiespeicher),<br>Aufbaukondensatoren mit der Möglichkeit die Plattenfläche und den Plattenabstand zu variieren,<br>statische Voltmeter bzw. Elektrometermessverstärker,<br>Schülerversuche zur Auf- und Entladung von Kondensatoren sowohl mit großen Kapazitäten (Messungen mit Multimeter) als auch mit kleineren Kapazitäten (Messungen mit Hilfe von Messwerterfassungssystemen),<br>Computer oder GTR/CAS-Rechner zur Messwertverarbeitung | Kondensatoren werden als Ladungs-/ Energiespeicher vorgestellt. (z.B. bei elektronischen Geräten wie Computern)<br>Die (Speicher-) Kapazität wird definiert und der Zusammenhang zwischen Kapazität, Plattenabstand und Plattenfläche für den Plattenkondensator (deduktiv mit Hilfe der Grundgleichung des elektrischen Feldes) ermittelt.<br>Plausibilitätsbetrachtung zur Grundgleichung des elektrischen Feldes im Feldlinienmodell,<br>Ermittlung der elektrischen Feldkonstante (evtl. Messung),<br>Auf- und Entladevorgänge bei Kondensatoren werden messtechnisch erfasst, computerbasiert ausgewertet und zusätzlich (auch mit Differentialgleichungen) beschrieben.<br>deduktive Herleitung der in Kondensatoren gespeicherten elektrischen Energien |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| | treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1),<br><br>wählen begründet mathematische Werkzeuge zur Darstellung und Auswertung von Messwerten im Bereich der Elektrik (auch computergestützte graphische Darstellungen, Linearisierungsverfahren, Kurvenanpassungen), wenden diese an und bewerten die Güte der Messergebnisse (E5, B4), | | |
| **22 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie*

*Leitfrage: Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Elektromagnetische Induktion

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Induktion, das grundlegende Prinzip bei der Versorgung mit elektrischer Energie:**<br>Induktionsvorgänge, Induktionsgesetz,<br>Lenz'sche Regel,<br>Energie des magnetischen Feldes<br>(22 Ustd.) | entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),<br>wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze (u.a. Coulomb'sches Gesetz, Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld, Lorentzkraft, Spannung im homogenen E-Feld) problembezogen aus (UF2),<br>leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),<br>planen und realisieren Experimente zum Nachweis der Teilaussagen des Induktionsgesetzes (E2, E4, E5),<br>führen das Auftreten einer Induktionsspannung auf die zeitliche Änderung der von einem Leiter überstrichenen gerichteten Fläche in einem Magnetfeld zurück (u.a. bei der Erzeugung einer Wechselspannung) (E6),<br>erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten aus dem Bereich der Elektrik (K1, K3, UF3),<br>treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1),<br>identifizieren Induktionsvorgänge aufgrund der zeitlichen Änderung der magnetischen Feldgröße *B* in Anwendungs- und Alltagssituationen (E1, E6, UF4), | Medien zur Information über prinzipielle Verfahren zur Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie,<br>Modellversuch bestehend aus Antrieb für einen (eisenlosen) AC-Kleingenerator, unterschiedlich langen Überlandleitungen aus CrNi-Draht, und diversen „Verbrauchern" (Glühlämpchen) sowie ggf. zweier Trafostationen,<br>Bewegung eines Leiters im Magnetfeld - Leiterschaukel,<br>einfaches elektrodynamisches Mikrofon,<br>Gleich- und Wechselspannungsgeneratoren (vereinfachte Funktionsmodelle für Unterrichtszwecke)<br>quantitativer Versuch zur elektromagnetischen Induktion bei Änderung der Feldgröße B, registrierende Messung von B(t) und $U_{ind}(t)$,<br>„Aufbau-" Transformatoren zur Spannungswandlung | Die Sonderrolle der Photovoltaik (Energiewandlung ohne Generator) wird aufgezeigt, die Gemeinsamkeiten der übrigen „Kraftwerke" werden erarbeitet. Die Arbeitsweise großer (Verbund-) Netze sowie deren Steuerungsprobleme werden nur kurz angesprochen, wegen seiner Einfachheit wird nur ein „klassisches" lokales (lineares) Verteilungsnetz behandelt, die wesentlichen physikalischen Grundlagen können auch daran erarbeitet werden.<br>Leiterschaukelversuch evtl. auch im Hinblick auf die Registrierung einer gedämpften mechanischen Schwingung auswertbar,<br>Gleich- und Wechselspannungsgeneratoren werden nur qualitativ behandelt.<br>Das Induktionsgesetz in seiner allgemeinen Form wird erarbeitet:<br>1. Flächenänderung (deduktive Herleitung)<br>2. Änderung der Feldgröße *B* (quantitatives Experiment)<br>Drehung einer Leiterschleife (qualitative Betrachtung)<br>Der magnetische Fluss wird definiert, das Induktionsgesetz als Zusammenfassung und Verallgemeinerung der Ergebnisse formuliert.<br>qualitative Deutung des Versuchsergebnisses zur Selbstinduktion |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| | wählen begründet mathematische Werkzeuge zur Darstellung und Auswertung von Messwerten im Bereich der Elektrik (auch computer-gestützte graphische Darstellungen, Linearisierungsverfahren, Kurvenanpassungen), wenden diese an und bewerten die Güte der Messergebnisse (E5, B4),<br><br>ermitteln die in magnetischen Feldern gespeicherte Energie (Spule) (UF2),<br><br>bestimmen die Richtungen von Induktionsströmen mithilfe der Lenz'schen Regel (UF2, UF4, E6),<br><br>begründen die Lenz'sche Regel mithilfe des Energie- und des Wechselwirkungskonzeptes (E6, K4), | Modellversuch zu einer „Überlandleitung" (aus CrNi-Draht) mit zwei „Trafo-Stationen", zur Untersuchung der Energieverluste bei unterschiedlich hohen Spannungen,<br><br>Versuch (qualitativ und quantitativ) zur Demonstration der Selbstinduktion (registrierende Messung und Vergleich der Ein- und Ausschaltströme in parallelen Stromkreisen mit rein ohmscher bzw. mit induktiver Last),<br><br>Versuche zur Demonstration der Wirkung von Wirbelströmen,<br><br>diverse „Ringversuche" | Deduktive Herleitung des Terms für die Selbstinduktionsspannung einer langen Spule (ausgehend vom Induktionsgesetz), Interpretation des Vorzeichens mit Hilfe der Lenz'schen Regel<br><br>Definition der Induktivität,<br><br>messtechnische Erfassung und computerbasierte Auswertung von Ein- und Ausschaltvorgängen bei Spulen, zusätzlich Beschreibung auch mit Differentialgleichungen<br><br>deduktive Herleitung der in Spulen gespeicherten magnetischen Energien |
| **22 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübermittlung*

*Leitfrage: Wie können Nachrichten ohne Materietransport übermittelt werden?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(E4) Experimente mit komplexen Versuchsplänen und Versuchsaufbauten, auch historisch bedeutsame Experimente, mit Bezug auf ihre Zielsetzungen erläutern und diese zielbezogen unter Beachtung fachlicher Qualitätskriterien durchführen,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Der elektromagnetische Schwingkreis – das Basiselement der Nachrichtentechnik:**<br>Elektromagnetische Schwingungen im RLC-Kreis,<br>Energieumwandlungsprozesse im RLC-Kreis<br>(12 Ustd.) | erläutern die Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen, erstellen aussagekräftige Diagramme und werten diese aus (E2, E4, E5, B1),<br>treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1),<br>erläutern qualitativ die bei einer ungedämpften elektromagnetischen Schwingung in der Spule und am Kondensator ablaufenden physikalischen Prozesse (UF1, UF2),<br>beschreiben den Schwingvorgang im RLC-Kreis qualitativ als Energieumwandlungsprozess und benennen wesentliche Ursachen für die Dämpfung (UF1, UF2, E5), | MW-Radio aus Aufbauteilen der Elektriksammlung mit der Möglichkeit, die modulierte Trägerschwingung (z.B. oszilloskopisch) zu registrieren),<br>einfache Resonanzversuche (auch aus der Mechanik / Akustik), | Zur Einbindung der Inhalte in den Kontext wird zunächst ein Mittelwellenradio aus Aufbauteilen der Elektriksammlung) vorgestellt.<br>Der Schwingkreis als zentrale Funktionseinheit des MW-Radios: Es kann leicht gezeigt werden, dass durch Veränderung von L bzw. C der Schwingkreis so „abgestimmt“ werden kann, dass (z.B. oszilloskopisch) eine modulierte Trägerschwingung registriert werden kann, also der Schwingkreis „von außen“ angeregt wird.<br>Die Analogie zu mechanischen Resonanzversuchen wird aufgezeigt. |
| | wählen begründet mathematische Werkzeuge zur Darstellung und Auswertung von Messwerten im Bereich der Elektrik (auch computer-gestützte graphische Darstellungen, Linearisierungsverfahren, Kurvenanpassungen), wenden diese an und bewerten die Güte der Messergebnisse (E5, B4),<br>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1), | RLC - Serienschwingkreis insbesondere mit registrierenden Messverfahren und computergestützten Auswerteverfahren,<br>Meißner- oder Dreipunkt-Rückkopplungsschaltung zur Erzeugung / Demonstration entdämpfter elektromagnetischer Schwingungen | Die zentrale Funktionseinheit „Schwingkreis“ wird genauer untersucht.<br>Spannungen und Ströme im RCL – Kreis werden zeitaufgelöst registriert, die Diagramme sind Grundlage für die qualitative Beschreibung der Vorgänge in Spule und Kondensator.<br>Quantitativ wird nur die ungedämpfte Schwingung beschrieben (incl. der Herleitung der Thomsonformel). |
| | wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze problembezogen aus (UF2),<br>leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2). | | Die Möglichkeiten zur mathematischen Beschreibung gedämpfter Schwingungen sowie Möglichkeiten der Entdämpfung / Rückkopplung werden nur kurz und rein qualitativ angesprochen. |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Materiefreie Übertragung von Information und Energie:**<br><br>Entstehung und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen,<br><br>Energietransport und Informationsüber-tragung durch elektromagnetische Wellen,<br><br>(16 Ustd.) | beschreiben den Hertz'schen Dipol als einen (offenen) Schwingkreis (UF1, UF2, E6),<br><br>erläutern qualitativ die Entstehung eines elektrischen bzw. magnetischen Wirbelfelds bei *B*- bzw. *E*-Feldänderung und die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle (UF1, UF4, E6),<br><br>beschreiben qualitativ die lineare Ausbreitung harmonischer Wellen als räumlich und zeitlich periodischen Vorgang (UF1, E6),<br><br>erläutern anhand schematischer Darstellungen Grundzüge der Nutzung elektromagnetischer Trägerwellen zur Übertragung von Informationen (K2, K3, E6).<br><br>ermitteln auf der Grundlage von Brechungs-, Beugungs- und Interferenzerscheinungen (mit Licht- und Mikrowellen) die Wellenlängen und die Lichtgeschwindigkeit (E2, E4, E5).<br><br>beschreiben die Phänomene Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz im Wellenmodell und begründen sie qualitativ mithilfe des Huygens'schen Prinzips (UF1, E6).<br><br>erläutern konstruktive und destruktive Interferenz sowie die entsprechenden Bedingungen mithilfe geeigneter Darstellungen (K3, UF1), | L-C-Kreis, der sich mit einem magnetischen Wechselfeld über eine „Antenne" zu Schwingungen anregen lässt,<br><br>dm-Wellen-Sender mit Zubehör (Empfängerdipol, Feldindikatorlampe),<br><br>Visuelle Medien zur Veranschaulichung der zeitlichen Änderung der E- und B-Felder beim Hertz'schen Dipol, entsprechende Computersimulationen,<br><br>Ringentladungsröhre (zur Vertiefung der elektromagnetischen Induktion),<br><br>visuelle Medien zur magneto-elektrischen Induktion,<br><br>Visuelle Medien zur Veranschaulichung der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle, entsprechende Computersimulationen,<br><br>Versuche mit dem dm-Wellen-Sender (s.o.), | Erinnerung an die Anregung des MW-Radio-Schwingkreises durch „Radiowellen" zur Motivation der Erforschung sogenannter elektromagnetischer Wellen,<br><br>Was ist eine elektromagnetische Welle?<br>Wie kann eine elektromagnetische Welle erzeugt werden?<br>Wie breiten sich elektromagnetische Wellen (selbst im Vakuum) aus?<br><br>Übergang vom Schwingkreis zum Hertz'schen Dipol durch Verkleinerung von L und C,<br><br>Überlegungen zum „Ausbreitungsmechanismus" elektromagnetischer Wellen:<br>• Induktion findet auch ohne Leiter („Induktionsschleife") statt!<br>• (Z.B.) Versuch zur Demonstration des Magnetfeldes um stromdurchflossene Leiter, über die ein Kondensator aufgeladen wird.<br>• Auch im Bereich zwischen den Kondensatorplatten existiert ein magnetisches Wirbelfeld. |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| | entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),<br>leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),<br>beschreiben die Interferenz an Doppelspalt und Gitter im Wellenmodell und leiten die entsprechenden Terme für die Lage der jeweiligen Maxima n-ter Ordnung her (E6, UF1, UF2),<br>wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze problembezogen aus (UF2),<br>erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten (K1, K3, UF3). | Visuelle Medien zur Veranschaulichung der Ausbreitung einer linearen (harmonischen) Welle,<br>auch Wellenmaschine zur Erinnerung an mechanische Wellen, entsprechende Computersimulationen,<br>Mikrowellensender / -empfänger mit Gerätesatz für Beugungs-, Brechungs- und Interferenzexperimente,<br>Interferenz-, Beugungs- und Brechungsexperimente mit (Laser-) Licht an Doppelspalt und Gitter (quantitativ) –<br>sowie z.B. an Kanten, dünnen Schichten,... (qualitativ) | Beugungs-, Brechungs- und Interferenzerscheinungen zum Nachweis des Wellencharakters elektromagnetischer Wellen, |
| **28 Ustd.** | **Summe** | | |

## Inhaltsfeld: *Quantenphysik (LK)*

## Kontext: Erforschung *des Photons*

*Leitfrage: Besteht Licht doch aus Teilchen?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Licht und Elektronen als Quantenobjekte, Welle-Teilchen-Dualismus, Quantenphysik und klassische Physik

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Lichtelektrischer Effekt (1 Ustd.) | diskutieren und begründen das Versagen der klassischen Modelle bei der Deutung quantenphysikalischer Prozesse (K4, E6)<br>legen am Beispiel des Photoeffekts und seiner Deutung dar, dass neue physikalische Experimente und Phänomene zur Veränderung des physikalischen Weltbildes bzw. zur Erweiterung oder Neubegründung physikalischer Theorien und Modelle führen können (E7), | Entladung einer positiv bzw. negativ geladenen (frisch geschmirgelten) Zinkplatte mithilfe des Lichts einer Hg-Dampf-Lampe (ohne und mit UV-absorbierender Glasscheibe) | Qualitative Demonstration des Photoeffekts |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Teilcheneigenschaften von Photonen<br>Planck´sches Wirkungsquantum<br>(7 Ustd.) | erläutern die qualitativen Vorhersagen der klassischen Elektrodynamik zur Energie von Photoelektronen (bezogen auf die Frequenz und Intensität des Lichts) (UF2, E3),<br>erläutern den Widerspruch der experimentellen Befunde zum Photoeffekt zur klassischen Physik und nutzen zur Erklärung die Einstein'sche Lichtquantenhypothese (E6, E1),<br>diskutieren das Auftreten eines Paradigmenwechsels in der Physik am Beispiel der quantenmechanischen Beschreibung von Licht und Elektronen im Vergleich zur Beschreibung mit klassischen Modellen (B2, E7),<br>beschreiben und erläutern Aufbau und Funktionsweise von komplexen Versuchsaufbauten (u.a. zur h-Bestimmung und zur Elektronenbeugung) (K3, K2),<br>ermitteln aus den experimentellen Daten eines Versuchs zum Photoeffekt das Planck´sche Wirkungsquantum (E5, E6), | 1. Versuch zur h-Bestimmung: Gegenspannungsmethode (Hg-Linien mit Cs-Diode)<br>2. Versuch zur h-Bestimmung: Mit Simulationsprogramm (in häuslicher Arbeit) | Spannungsbestimmung mithilfe Kondensatoraufladung erwähnen |
| Compton-Effekt<br>(2 Ustd.) | | | Bedeutung der Anwendbarkeit der (mechanischen) Stoßgesetze hinsichtlich der Zuordnung eines Impulses für Photonen<br>Keine detaillierte (vollständig relativistische) Rechnung im Unterricht notwendig, Rechnung ggf. als Referat vorstellen lassen |
| **10 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Röntgenstrahlung, Erforschung des Photons*

*Leitfrage: Was ist Röntgenstrahlung?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Licht und Elektronen als Quantenobjekte

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen.

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Röntgenröhre<br>Röntgenspektrum<br>(2 Ustd.) | beschreiben den Aufbau einer Röntgenröhre (UF1), | Röntgenröhre der Schulröntgeneinrichtung<br>Sollte keine Röntgenröhre zur Verfügung stehen, kann mit einem interaktiven Bildschirmexperiment (IBE) gearbeitet werden (z.B. http://www.mackspace.de/unterricht/simulationen_physik/quantenphysik/sv/roentgen.php oder http://www.uni-due.de/physik/ap/iabe/roentgen_b10/roentgen_b10_uebersicht.html) | Die Behandlung der Röntgenstrahlung erscheint an dieser Stelle als „Einschub“ in die Reihe zur Quantenphysik sinnvoll, obwohl sie auch zu anderen Sachbereichen Querverbindungen hat und dort durchgeführt werden könnte (z.B. „Physik der Atomhülle“)<br>Zum jetzigen Zeitpunkt müssen kurze Sachinformationen zum Aufbau der Atomhülle und den Energiezuständen der Hüllelektronen gegeben (recherchiert) werden.<br>Die IBE sollten für die häusliche Arbeit genutzt werden. |
| Bragg’sche Reflexionsbedingung<br>(2 Ustd.) | erläutern die Bragg-Reflexion an einem Einkristall und leiten die Bragg’sche Reflexionsbedingung her (E6), | Aufnahme eines Röntgenspektrums (Winkel-Intensitätsdiagramm vs. Wellenlängen-Intensitätsdiagramm) | Die Bragg’sche Reflexionsbedingung basiert auf Welleninterpretation, die Registrierung der Röntgenstrahlung mithilfe des Detektors hat den Teilchenaspekt im Vordergrund |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Planck'sches Wirkungsquantum<br><br>(1 Ustd.) | deuten die Entstehung der kurzwelligen Röntgenstrahlung als Umkehrung des Photoeffekts (E6), | | Eine zweite Bestimmungsmethode für das Planck'sche Wirkungsquantum |
| Strukturanalyse mithilfe der Drehkristallmethode<br><br>Strukturanalyse nach Debye-Scherrer<br><br>(2 Ustd.) | | | Schülerreferate mit Präsentationen zur Debye-Scherrer-Methode |
| Röntgenröhre in Medizin und Technik<br><br>(2 Ustd.) | führen Recherchen zu komplexeren Fragestellungen der Quantenphysik durch und präsentieren die Ergebnisse (K2, K3), | Film / Video / Foto<br><br>Schülervorträge auf fachlich angemessenem Niveau (mit adäquaten fachsprachlichen Formulierungen) | Schülerreferate mit Präsentationen anhand Internetrecherchen<br><br>Ggf. Exkursion zum Röntgenmuseum in Lennep<br><br>Ggf. Exkursion zur radiologischen Abteilung des Krankenhauses (die aber auch in Rahmen der Kernphysik (s. dort: „Biologische Wirkung ionisierender Strahlung") durchgeführt werden kann) |
| **9 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Erforschung des Elektrons*

*Leitfrage: Kann das Verhalten von Elektronen und Photo-nen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Welle-Teilchen-Dualismus

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Wellencharakter von Elektronen (2 Ustd.) | interpretieren experimentelle Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre mit den Welleneigenschaften von Elektronen (E1, E5, E6), | Qualitative Demonstrationen mit der Elektronenbeugungsröhre<br>Qualitative Demonstrationen mithilfe RCL (Uni Kaiserslautern: http://rcl-munich.informatik.unibw-muenchen.de/ ) | Hinweise auf erlaubte nichtrelativistische Betrachtung (bei der verwendeten Elektronenbeugungsröhre der Schule) |
| Streuung und Beugung von Elektronen<br>De Broglie-Hypothese<br>(4 Ustd.) | beschreiben und erläutern Aufbau und Funktionsweise von komplexen Versuchsaufbauten (u.a. zur h-Bestimmung und zur Elektronenbeugung) (K3, K2),<br>erklären die de Broglie-Hypothese am Beispiel von Elektronen (UF1), | Quantitative Messung mit der Elektronenbeugungsröhre | Herausstellen der Bedeutung der Bragg'schen Reflexionsbedingung für (Röntgen-) Photonen wie für Elektronen mit Blick auf den Wellenaspekt von Quantenobjekten<br>Dabei Betonung der herausragenden Bedeutung der de Broglie-Gleichung für die quantitative Beschreibung (lichtschnellen und nicht lichtschneller) Quantenobjekte |
| **6 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Die Welt kleinster Dimensionen – Mikroobjekte und Quantentheorie*

*Leitfrage: Was ist anders im Mikrokosmos?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Welle-Teilchen-Dualismus und Wahrscheinlichkeitsinterpretation, Quantenphysik und klassische Physik

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| linearer Potentialtopf<br>Energiewerte im linearen Potentialtopf<br>(4 Ustd.) | deuten das Quadrat der Wellenfunktion qualitativ als Maß für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen (UF1, UF4),<br>ermitteln die Wellenlänge und die Energiewerte von im linearen Potentialtopf gebundenen Elektronen (UF2, E6). | | Auf die Anwendbarkeit des Potentialtopf-Modells bei Farbstoffmolekülen hinweisen<br>Die Anwendbarkeit des (mechanischen) Modells der stehenden Welle kann insofern bestätigt werden, als dass die für die stehenden Wellen sich ergebende DGl mit derjenigen der (zeitunabhängigen) Schrödinger-DGl strukturell übereinstimmt<br>Ein Ausblick auf die Schrödinger-Gleichung genügt |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Wellenfunktion und Aufenthalts-wahrscheinlichkeit<br>(4 Ustd.) | erläutern die Aufhebung des Welle-Teilchen-Dualismus durch die Wahrscheinlichkeitsinterpretation (UF1, UF4),<br>erläutern die Bedeutung von Gedankenexperimenten und Simulationsprogrammen zur Erkenntnisgewinnung bei der Untersuchung von Quantenobjekten (E6, E7).<br>erläutern bei Quantenobjekten das Auftreten oder Verschwinden eines Interferenzmusters mit dem Begriff der Komplementarität (UF1, E3),<br>diskutieren das Auftreten eines Paradigmenwechsels in der Physik am Beispiel der quantenmechanischen Beschreibung von Licht und Elektronen im Vergleich zur Beschreibung mit klassischen Modellen (B2, E7),<br>stellen anhand geeigneter Phänomene dar, wann Licht durch ein Wellenmodell bzw. ein Teilchenmodell beschrieben werden kann (UF1, K3, B1), | Demonstration des Durchgangs eines einzelnen Quantenobjekts durch einen Doppelspalt mithilfe eines Simulationsprogramms und mithilfe von Videos | Exkursion zur Universität, wenn dort Demonstrationsversuche zum Passieren einzelner Quantenobjekte durch Spalte bzw. Doppelspalte gezeigt werden |
| Heisenberg´sche Unschärferelation<br>(2 Ustd.) | erläutern die Aussagen und die Konsequenzen der Heisenberg´schen Unschärferelation (Ort-Impuls, Energie-Zeit) an Beispielen (UF1, K3),<br>bewerten den Einfluss der Quantenphysik im Hinblick auf Veränderungen des Weltbildes und auf Grundannahmen zur physikalischen Erkenntnis (B4, E7). | | Die Heisenberg'sche Unschärferelation kann (aus fachlicher Sicht) nur plausibel gemacht werden aufgrund des sich aus der Interferenzbedingung ergebenden Querimpulses eines Quantenobjekts, wenn dieses einen Spalt passiert. |
| **10 Ustd.** | **Summe** | | |

## Inhaltsfeld: *Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik (LK)*

## Kontext: *Geschichte der Atommodelle, Lichtquellen und ihr Licht*

*Leitfrage: Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Atomaufbau

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Atomaufbau:**<br>Kern-Hülle-Modell<br>(2 Ustd.) | geben wesentliche Schritte in der historischen Entwicklung der Atommodelle bis hin zum Kern-Hülle-Modell wieder (UF1), | Recherche in Literatur und Internet<br><br>Rutherford'scher Streuversuch | Diverse Atommodelle (Antike bis Anfang 20. Jhd.)<br><br>Per Arbeitsblatt oder Applet (z.B.. http://www.-schulphysik.de/java/physlet/applets/rutherford.html) |
| Energiequantelung der Hüllelektronen<br>(3 Ustd.) | erklären Linienspektren in Emission und Absorption sowie den Franck-Hertz-Versuch mit der Energiequantelung in der Atomhülle (E5), | Linienspektren, Franck-Hertz-Versuch | Linienspektren deuten auf diskrete Energien hin |
| Linienspektren<br>(3 Ustd.) | stellen die Bedeutung des Franck-Hertz-Versuchs und der Experimente zu Linienspektren in Bezug auf die historische Bedeutung des Bohr'schen Atommodells dar (E7). | Durchstrahlung einer Na-Flamme mit Na- und Hg-Licht (Schattenbildung), Linienspektren von H | Demonstrationsversuch, Arbeitsblatt |

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Bohr'sche Postulate (2 Ustd.) | formulieren geeignete Kriterien zur Beurteilung des Bohr´schen Atommodells aus der Perspektive der klassischen und der Quantenphysik (B1, B4), | Literatur, Arbeitsblatt | Berechnung der Energieniveaus, Bohr'scher Radius |
| **10 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Physik in der Medizin (Bildgebende Verfahren, Radiologie)*

*Leitfrage: Wie nutzt man Strahlung in der Medizin?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Ionisierende Strahlung, Radioaktiver Zerfall

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF3) physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse nach fachlichen Kriterien ordnen und strukturieren,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Ionisierende Strahlung:**<br>Detektoren<br>(3 Ustd.) | benennen Geiger-Müller-Zählrohr und Halbleiterdetektor als experimentelle Nachweismöglichkeiten für ionisierende Strahlung und unterscheiden diese hinsichtlich ihrer Möglichkeiten zur Messung von Energien (E6), | Geiger-Müller-Zählrohr, Arbeitsblatt<br>Nebelkammer | Ggf. Schülermessungen mit Zählrohren (Alltagsgegenstände, Nulleffekt , Präparate etc.)<br>Demonstration der Nebelkammer, ggf. Schülerbausatz<br>Material zu Halbleiterdetektoren |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Strahlungsarten<br>(5 Ustd.) | erklären die Ablenkbarkeit von ionisierenden Strahlen in elektrischen und magnetischen Feldern sowie die Ionisierungsfähigkeit und Durchdringungsfähigkeit mit ihren Eigenschaften (UF3),<br>erklären die Entstehung des Bremsspektrums und des charakteristischen Spektrums der Röntgenstrahlung (UF1),<br>benennen Geiger-Müller-Zählrohr und Halbleiterdetektor als experimentelle Nachweismöglichkeiten für ionisierende Strahlung und unterscheiden diese hinsichtlich ihrer Möglichkeiten zur Messung von Energien (E6),<br>erläutern das Absorptionsgesetz für Gamma-Strahlung, auch für verschiedene Energien (UF3), | Absorption von $\alpha$-, $\beta$-, $\gamma$-Strahlung<br>Ablenkung von $\beta$-Strahlen im Magnetfeld<br>Literatur (zur Röntgen- , Neutronen- und Schwerionenstrahlung) | Ggf. Absorption und Ablenkung in Schülerexperimenten |
| Dosimetrie<br>(2 Ustd.) | erläutern in allgemein verständlicher Form bedeutsame Größen der Dosimetrie (Aktivität, Energie- und Äquivalentdosis) auch hinsichtlich der Vorschriften zum Strahlenschutz (K3), | Video zur Dosimetrie<br>Auswertung von Berichten über Unfälle im kerntechnischen Bereich | |
| Bildgebende Verfahren<br>(4 Ustd.) | stellen die physikalischen Grundlagen von Röntgenaufnahmen und Szintigrammen als bildgebende Verfahren dar (UF4),<br>beurteilen Nutzen und Risiken ionisierender Strahlung unter verschiedenen Aspekten (B4), | Schülervorträge auf wissenschaftlichem Niveau (mit fachsprachlichen Formulierungen)<br>Exkursion zur radiologischen Abteilung des Krankenhauses | Nutzung von Strahlung zur Diagnose und zur Therapie bei Krankheiten des Menschen (von Lebewesen) sowie zur Kontrolle bei technischen Anlagen |
| **14 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *(Erdgeschichtliche) Altersbestimmungen*

*Leitfrage: Wie funktioniert die 14C-Methode?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Radioaktiver Zerfall

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern.

| **Inhalt** (Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Radioaktiver Zerfall:** Kernkräfte (1 Ustd.) | benennen Protonen und Neutronen als Kernbausteine, identifizieren Isotope und erläutern den Aufbau einer Nuklidkarte (UF1), | Ausschnitt aus Nuklidkarte | Aufbauend auf Physik- und Chemieunterreicht der Mittelstufe |
| Zerfallsprozesse (7 Ustd.) | identifizieren natürliche Zerfallsreihen sowie künstlich herbeigeführte Kernumwandlungsprozesse mithilfe der Nuklidkarte (UF2), | Elektronische Nuklidkarte | Umgang mit einer Nuklidkarte<br>Siehe http://www.marcoschwarz-online.de/einstein-sagt/download-nukliddaten/ |
| | entwickeln Experimente zur Bestimmung der Halbwertszeit radioaktiver Substanzen (E4, E5),<br><br>nutzen Hilfsmittel, um bei radioaktiven Zerfällen den funktionalen Zusammenhang zwischen Zeit und Abnahme der Stoffmenge sowie der Aktivität radioaktiver Substanzen zu ermitteln (K3), | Radon-Messung im Schulkeller (Zentralabitur 2008)<br><br>Tabellenkalkulation | Siehe http://www.physik-box.de/radon/radonseite.html<br>Ggf. Auswertung mit Tabellenkalkulation durch Schüler<br><br>Linearisierung, Quotientenmethode, Halbwertszeitabschätzung, ggf. logarithmische Auftragung |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| | leiten das Gesetz für den radioaktiven Zerfall einschließlich eines Terms für die Halbwertszeit her (E6), | Ggf. CAS | Aufbauend auf der Herleitung der Kondensatorentladung |
| Altersbestimmung<br>(2 Ustd.) | bestimmen mithilfe des Zerfallsgesetzes das Alter von Materialien mit der C14-Methode (UF2), | Arbeitsblatt | Ggf. Uran-Blei-Datierung |
| **10 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext: *Energiegewinnung durch nukleare Prozesse*

*Leitfrage: Wie funktioniert ein Kernkraftwerk?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Kernspaltung und Kernfusion, Ionisierende Strahlung

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,
(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| **Kernspaltung und Kernfusion:**<br>Massendefekt, Äquivalenz von Masse und Energie, Bindungsenergie<br>(2 Ustd.) | bewerten den Massendefekt hinsichtlich seiner Bedeutung für die Gewinnung von Energie (B1),<br>bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik (B1), | Video Kernwaffenexplosion | Z.B. YouTube |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Kettenreaktion<br><br>(2 Ustd.) | erläutern die Entstehung einer Kettenreaktion als relevantes Merkmal für einen selbstablaufenden Prozess im Nuklearbereich (E6),<br><br>beurteilen Nutzen und Risiken von Kernspaltung und Kernfusion anhand verschiedener Kriterien (B4), | Mausefallenmodell, Video, Applet | Mausefallenmodell ggf. per YouTube (z.B. http://www.youtube.com/watch?v=uniJX8FeCcU ) |
| Kernspaltung, Kernfusion<br><br>(5 Ustd.) | beschreiben Kernspaltung und Kernfusion unter Berücksichtigung von Bindungsenergien (quantitativ) und Kernkräften (qualitativ) (UF4),<br><br>hinterfragen Darstellungen in Medien hinsichtlich technischer und sicherheitsrelevanter Aspekte der Energiegewinnung durch Spaltung und Fusion (B3, K4). | Diagramm *B*/*A* gegen *A*, Tabellenwerk, ggf. Applet<br><br>Recherche in Literatur und Internet<br><br>Schülerdiskussion, ggf. Fish Bowl, Amerikanische Debatte, Pro-Kontra-Diskussion | Z.B. http://www.leifiphysik.de<br><br>Siehe http://www.sn.schule.de/~sud/methoden-kompendium/module/2/1.htm |
| **9 Ustd.** | **Summe** | | |

## Kontext*: Forschung am CERN und DESY – Elementarteilchen und ihre fundamentalen Wechselwirkungen*

*Leitfrage: Was sind die kleinsten Bausteine der Materie?*

Inhaltliche Schwerpunkte: Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können
(UF3) physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse nach fachlichen Kriterien ordnen und strukturieren,
(K2) zu physikalischen Fragestellungen relevante Informationen und Daten in verschiedenen Quellen, auch in ausgewählten wissenschaftlichen Publikationen, recherchieren, auswerten und vergleichend beurteilen.

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Kernbausteine und Elementarteilchen<br>(4 Ustd.) | systematisieren mithilfe des heutigen Standardmodells den Aufbau der Kernbausteine und erklären mit ihm Phänomene der Kernphysik (UF3), | Existenz von Quarks (Video)<br>Internet (CERN / DESY) | Da in der Schule kaum Experimente zum Thema „Elementarteilchenphysik“ vorhanden sind, sollen besonders Rechercheaufgaben und Präsentationen im Unterricht genutzt werden.<br>Internet: http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/<br>Schülerreferate |
| Kernkräfte<br>Austauschteilchen der fundamentalen Wechselwirkungen<br>(4 Ustd.) | vergleichen das Modell der Austauschteilchen im Bereich der Elementarteilchen mit dem Modell des Feldes (Vermittlung, Stärke und Reichweite der Wechselwirkungskräfte) (E6).<br>erklären an Beispielen Teilchenumwandlungen im Standardmodell mithilfe der Heisenberg’schen Unschärferelation und der Energie-Masse-Äquivalenz (UF1). | Darstellung der Wechselwirkung mit Feynman-Graphen (anhand von Literatur) | Besonderer Hinweis auf andere Sichtweise der „Kraftübertragung“: Feldbegriff vs. Austauschteilchen<br>Die Bedeutung der Gleichung $E=mc^2$ (den SuS bekannt aus Relativitätstheorie) in Verbindung mit der Heisenberg’schen Unschärferelation in der Form $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$ (den SuS bekannt aus Elementen der Quantenphysik) für die Möglichkeit des kurzzeitigen Entstehens von Austauschteilchen ist herauszustellen |

| **Inhalt**<br>(Ustd. à 45 min) | **Kompetenzen**<br>Die Schülerinnen und Schüler… | **Experiment / Medium** | **Kommentar** |
|---|---|---|---|
| Aktuelle Forschung und offene Fragen der Elementarteilchenphysik<br>(z.B. Higgs-Teilchen, Dunkle Materie, Dunkle Energie, Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie, …)<br>(3 Ustd.) | recherchieren in Fachzeitschriften, Zeitungsartikeln bzw. Veröffentlichungen von Forschungseinrichtungen zu ausgewählten aktuellen Entwicklungen in der Elementarteilchenphysik (K2), | Literatur und Recherche im Internet<br>„CERN-Rap“: http://www.youtube.com/watch?v=7VshToyoGl8 | Hier muss fortlaufend berücksichtigt werden, welches der aktuelle Stand der Forschung in der Elementarteilchenphysik ist (derzeit: Higgs-Teilchen, Dunkle Materie, Dunkle Energie, Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie, …)<br>Der CERN-Rap gibt eine für Schülerinnen und Schüler motivierend dargestellte Übersicht über die aktuelle Forschung im Bereich der Elementarteilchenphysik |
| **11 Ustd.** | **Summe** | | |

**Hinweis:** In diesem Bereich sind i. d. R. keine bzw. nur in Ausnahmefällen Realexperimente für Schulen möglich. Es sollte daher insbesondere die Möglichkeit genutzt werden, auf geeignete Internetmaterialien zurück zu greifen. Nachfolgend sind einige geeignet erscheinende Internetquellen aufgelistet. Internet-Materialien (Letzter Aufruf Jan 2012):

- CERN-Film zum Standardmodell (sehr übersichtlich):
  - http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/kurzvideos/film6.wmv
- 3SAT-Film zum Standardmodell (elementar):
  - http://www.youtube.com/watch?v=WfiDw-mpdso
- Einführung in Teilchenphysik (DESY):
  - http://teilchenphysik.desy.de/
  - http://kworkquark.desy.de/1/index.html
- Übungen und Erklärungen zu Ereignisidentifikation (umfangreiche CERN-Internetseite zum Analysieren von (Original-) Eventdisplays) am Computer:
  - http://kjende.web.cern.ch/kjende/de/wpath.htm
- Ausgezeichnete Unterrichtsmaterialien des CERN zur Teilchenphysik:
  - http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/

- Übungen zur Teilchenphysik in der Realität:
  - http://physicsmasterclasses.org/neu/
  - http://www.teilchenwelt.de/
- Naturphänomene und Anregungen für den Physikunterricht:
  - http://www.solstice.de
- … und vieles mehr:
  - http://www.teilchenwelt.de/material/materialien-zur-teilchenphysik/

## 2.2 Grundsätze der fachmethodischen und fachdidaktischen Arbeit im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe

In Absprache mit der Lehrerkonferenz sowie unter Berücksichtigung des Schulprogramms hat die Fachkonferenz Physik die folgenden fachmethodischen und fachdidaktischen Grundsätze beschlossen.

Es werden zunächst (in kursiver Schrift) die fächerübergreifenden Aspekte benannt, die anschließend fachspezifisch konkretisiert werden und auch Gegenstand der Qualitätsanalyse sind.

*1.) Geeignete Problemstellungen zeichnen die Ziele des Unterrichts vor und bestimmen die Struktur der Lernprozesse:*

Für den Physikunterricht bedeutet das eine kontextorientierte Anlage sowohl der gesamten Unterrichtsreihen wie auch, wenn möglich und sinnvoll, der Unterrichtseinheiten. Dazu gehört, dass möglichst aufgrund lebensweltnaher, technisch-gesellschaftlicher oder forschungspraktischer Ausgangssituationen die – physikalischen – Problemfragen von den Schülerinnen und Schülern formuliert werden, diesen Fragen anschließend auf experimentellem bzw. deduktiven Wege nachgegangen wird, die Ergebnisse hinsichtlich der Erkenntnisgewinnung und Bedeutung reflektiert sowie der Lernprozess bewusst gemacht wird.

*2.) Medien und Arbeitsmittel sind schülernah gewählt:*

Die Schülerinnen und Schüler müssen ein Mindestmaß an Formeln auswendig kennen. Die Verwendung der fächerübergreifend in der gymnasialen Oberstufe eingeführten Formelsammlung dient der Vorbereitung auf die Zentralabiturklausur.

Der an der Schule eingeführte grafikfähige Taschenrechner soll im Unterricht und in den Klausuren der Oberstufe verwendet werden.

Für den Physikunterricht ist die Nutzung des Computers selbstverständlich: Der Computer wird sowohl bei Messwerterfassung bei Realexperimenten (Videoanalyse mit tracker oder viana, Cassy im Leihexperiment) als auch als Werkzeug zur Modellbildung und zur Simulation, zur Durchführung interaktiver Bildschirmexperimente oder ferngesteuerter Realexperimente (z. B. RCL der Uni Kaiserslautern), zur Simulation in der Sammlung nicht vorhandener Realexperimente sowie zur Recherche und als Literaturquelle im Internet (insb. leifiphysik.de) genutzt. Der Computer soll auch bei der häuslichen Arbeit der Schülerinnen und Schüler Einsatz finden.

Der Physikunterricht bietet gute Gelegenheit, den Einsatz weiterer Medien, wie beispielsweise die Nutzung von Handys (Smartphones) über deren eingebaute Sensoren bzw. mit Hilfe entsprechender Apps zu erproben. Smartphones können in folgenden Gebieten eingesetzt werden: „Aufnahme von Videos zur Videoanalyse“, „Beschleunigungsmessungen im Mechanikunterricht der EF“, „Nutzen des GPS-Empfängers für Zeit-Positionsmessungen“, „Messungen mit dem Mikrofon“, „Messung radioaktiver Strahlung“, „Aufnahme von Beugungsmustern im sichtbaren und infraroten Bereich“. Die gewonnenen Erfahrungen werden auf den Fachkonferenzen abgesprochen bzw. ausgetauscht.

Auf der Schulhomepage (http://avhgneuss.de/node/24) werden Links zum selbständigen Wiederholen und Weiterlernen bereitgestellt und laufend aktualisiert.

*3.) Der Unterricht fördert eine aktive Teilnahme der Schülerinnen und Schüler. Sie erhalten Gelegenheit zu selbstständiger und kooperativer Arbeit und werden dabei unterstützt:*

Im Physikunterricht sollen immer wieder sowohl Phasen der Einzelarbeit und kooperative Lernformen (letztere nicht nur bei Schülerexperimenten) realisiert werden, um sowohl die individuelle selbstständige Arbeit der Lernenden als auch deren fachlich-kommunikativen Kompetenzen zu stärken. Wenn die Größe der Lerngruppe es erlaubt, kann bei intensiven fachlichen Diskussionen und Analysen auch eine problemorientierte Plenumsphase sinnvoll sein. Es ist darauf zu achten, für das Erreichen des jeweiligen Unterrichtsziels eine geeignet erscheinende Unterrichtsmethode zu wählen, wobei jede Einseitigkeit in der Wahl der Aktions- und Sozialformen vermieden werden sollte.

*4.) Der Unterricht fördert die Zusammenarbeit zwischen den Schülerinnen und Schülern, bietet ihnen Möglichkeiten zu eigenen Lösungen und berücksichtigt die individuellen Lernwege der Lernenden:*

Für den Physikunterricht bedeutet das die besondere Wertschätzung verschiedener, individueller Lösungsideen, um letztlich fachlich richtige Lösungsalternativen zu gewinnen und diese entsprechend zu würdigen. Dazu gehört auch, eventuell auftretende Fehler in der Gemeinschaft aller zu klären und sich der Fehlerursachen bewusst zu werden, um aus den Fehlern zu lernen. Maßnahmen der Binnendifferenzierung unterstützen individuelle Lernwege.

Im Zuge der Korrektur und Rückgabe von Klausuren in der Oberstufe sollen bedeutsame oder mehrfach aufgetretene Fehler und deren Ursachen analysiert werden. Die Schülerinnen und Schüler sollen individuell für sich eine Fehlerliste erstellen, in der sie ihre typischen Fehler mit Beispielen notieren. Dabei können sie von ihrer Lehrperson beraten werden. Über die (o. g.) Lernplattform wird den Schülerinnen und Schülern eine Liste mit den von der Lehrkraft zusammengefassten (anonymisierten) Fehlertypen zur Verfügung gestellt. Diese Liste sollte jahrgangsunabhängig laufend aktualisiert werden, wenn weitere typische Fehler erkannt werden. Den Schülerinnen und Schülern dient diese als Hilfe zur Entwicklung, den Lehrenden als zusätzliche Unterstützung bei der Diagnose von Schülerkompetenzen.

## 2.3 Grundsätze der Leistungsbewertung und Leistungsrückmeldung

Auf der Grundlage von § 48 SchulG, § 13 APO-GOSt sowie Kapitel 3 des Kernlehrplans Physik hat die Fachkonferenz im Einklang mit dem entsprechenden schulbezogenen Konzept die nachfolgenden Grundsätze zur Leistungsbewertung und Leistungsrückmeldung beschlossen. Die nachfolgenden Absprachen stellen die Minimalanforderungen an das lerngruppenübergreifende gemeinsame Handeln der Fachgruppenmitglieder dar. Bezogen auf die einzelne Lerngruppe kommen ergänzend weitere der in den Folgeabschnitten genannten Instrumente der Leistungsüberprüfung zum Einsatz.

**Anforderungsbereiche**
Die Leistungsbewertung in der Sekundarstufe II bezieht sich auf die im Kernlehrplan benannten vier Kompetenzbereiche und unterscheidet dabei in Anlehnung an die EPA Physik jeweils die drei verschiedenen Anforderungsbereiche.

| | |
|---|---|
| **Anforderungsbereich I** | Reproduktion und die Anwendung einfacher Sachverhalte und Fachmethoden |
| **Anforderungsbereich II** | Reorganisation und das Übertragen komplexerer Sachverhalte und Fachmethoden |
| **Anforderungsbereich III** | problembezogenes Anwenden und Übertragen komplexer Sachverhalte und Fachmethoden |

Die folgende Übersicht zeigt Beispiele, wie Schülerleistungen den Anforderungsbereichen zugeordnet werden können:

**Umgang mit Fachwissen**
- Wiedergeben von einfachen Daten und Fakten (I)
- Fachgerechtes Wiedergeben und Anwenden von komplexeren Zusammenhängen (II)
- Problembezogenes Verknüpfen von Daten und Fakten mit neuen Fragestellungen (III)
- Wiedergeben von einfachen Gesetzen und Formeln sowie deren Erläuterung (I)
- Verknüpfen von Formeln und Gesetzen eines abgegrenzten Gebietes (II)
- Problembezogenes Einordnen und Nutzen von Wissen in verschiedenen inner- und außerphysikalischen Wissensbereichen (III)

**Erkenntnisgewinnung**
- Aufbau und Beschreibung eines einfachen Experiments nach vorgelegtem Plan (I)
- Selbstständiger Aufbau und Durchführung eines Experiments (II)
- Planung, Aufbau und Durchführung eines Experiment zu einer vorgegebenen Fragestellung (III)
- Auswertung von Ergebnissen nach bekannten, einfachen Verfahren (I)
- Modellbildung und mathematische Beschreibung physikalischer Phänomene (II)
- Entwickeln und beschreiben alternativer Modelle, Modellelemente und Lösungswege, auch in neuen Kontexten (III)

**Kommunikation**
- Entnehmen von Informationen aus einfachen Fachtexten (I)
- Strukturieren von Informationen und adressatengerechte Aufarbeitung (II)
- Eigenständiges Recherchieren, Strukturieren, Beurteilen und Aufarbeiten von Informationen mit Bezug auf neue Fragestellungen oder Zielsetzungen (III)
- Darstellen von Sachverhalten in verschiedenen Darstellungsformen als Tabellen, Graphen, Skizzen, Texte, Bilder, Diagramme, Mind-Maps, Concept-Maps, Formeln und Gesetze (I)
- Strukturiertes schriftliches oder mündliches Präsentieren komplexer Sachverhalte (II)
- Analysieren und Einsetzen komplexer Texte und Darstellungen nach eigener Auswahl (III)

**Bewertung**
- Darstellen von Konflikten und ihren Lösungen in wissenschaftlich-historischen Kontexten (I)

- Übertragung bekannter Problemlösungen auf Konflikte mit physikalisch-technischem Hintergrund (II)
- Angabe möglicher Problemlösungen bei Konflikten mit physikalisch-technischem Hintergrund (III)
- Darstellen von Positionen und Argumenten bei Bewertungen in physikalisch-technischen Zusammenhängen (I)
- Kriteriengeleitetes Abwägen vorliegender Argumente bei Bewertungen in physikalisch-technischen Zusammenhängen und Beziehen eines begründeten Standpunkts (II)
- Bewertung komplexer physikalisch-technischer Zusammenhänge aus verschiedenen Perspektiven und auf der Basis von Sachargumenten (III)

**Überprüfungsformen**
Im Lehrplan werden Überprüfungsformen angegeben, die Möglichkeiten bieten, Leistungen nach den oben genannten Kriterien im Bereich der „sonstigen Mitarbeit“ oder den Klausuren zu überprüfen. Um abzusichern, dass am Ende der Qualifikationsphase von den Schülerinnen und Schülern alle geforderten Kompetenzen erreicht werden, sind alle Überprüfungsformen notwendig. Besonderes Gewicht wird im Grundkurs auf experimentelle Aufgaben und Aufgaben zur Datenanalyse gelegt.

**Lern- und Leistungssituationen**

In **Lernsituationen** ist das Ziel der Kompetenzerwerb. Fehler und Umwege dienen den Schülerinnen und Schülern als Erkenntnismittel, den Lehrkräften geben sie Hinweise für die weitere Unterrichtsplanung. Das Erkennen von Fehlern und der konstruktiv-produktive Umgang mit ihnen sind ein wesentlicher Teil des Lernprozesses. Lernsituationen sollen, insbesondere was das Auftreten von Fehlern anbetrifft, – auch für die Lernenden erkennbar – weitgehend beurteilungsfrei bleiben.

Bei **Leistungs- und Überprüfungssituationen** steht der Nachweis der Verfügbarkeit der erwarteten bzw. erworbenen Kompetenzen im Vordergrund.

Lern- und Leistungssituationen sind nicht immer klar voneinander trennbar: So können insbesondere in vorrangig als Lernsituationen zu bezeichnenden Unterrichtsphasen weiterführende Beiträge der Lernenden, die auf früherem Kompetenzerwerb basieren, durchaus entsprechend beurteilt werden.

**Sonstige Mitarbeit**

Folgende Aspekte können bei der Leistungsbewertung der sonstigen Mitarbeit eine Rolle spielen (die Liste ist nicht abschließend):

- Sicherheit, Eigenständigkeit und Kreativität beim Anwenden fachspezifischer Methoden und Arbeitsweisen
- Verständlichkeit und Präzision beim zusammenfassenden Darstellen und Erläutern von Lösungen einer Einzel-, Partner-, Gruppenarbeit oder einer anderen Sozialform sowie konstruktive Mitarbeit bei dieser Arbeit
- Klarheit und Richtigkeit beim Veranschaulichen, Zusammenfassen und Beschreiben physikalischer Sachverhalte
- sichere Verfügbarkeit physikalischen Grundwissens (z. B. physikalische Größen, deren Einheiten, Formeln, fachmethodische Verfahren)
- situationsgerechtes Anwenden geübter Fertigkeiten
- angemessenes Verwenden der physikalischen Fachsprache
- konstruktives Umgehen mit Fehlern
- fachlich sinnvoller, sicherheitsbewusster und zielgerichteter Umgang mit Experimentalmedien

- fachlich sinnvoller und zielgerichteter Umgang mit Modellen, Hilfsmitteln und Simulationen
- zielgerichtetes Beschaffen von Informationen
- Erstellen von nutzbaren Unterrichtsdokumentationen, ggf. Portfolio
- Klarheit, Strukturiertheit, Fokussierung, Zielbezogenheit und Adressatengerechtigkeit von Präsentationen, auch mediengestützt
- sachgerechte Kommunikationsfähigkeit in Unterrichtsgesprächen und Kleingruppenarbeiten
- Einbringen kreativer Ideen
- fachliche Richtigkeit bei kurzen, auf die Inhalte weniger vorangegangener Stunden beschränkten schriftlichen Überprüfungen

Folgende Formulierungen werden zur Leistungsbewertung im Rahmen der *Sonstigen Mitarbeit* herangezogen:

## *Noten1ndung*

Aus dem Schulgesetz §42, Absatz 3: Schülerinnen und Schüler haben die Pflicht daran mitzuarbeiten, dass die Aufgabe der Schule erfüllt und das Bildungsziel erreicht werden kann. Sie sind insbesondere verpflichtet, sich auf den Unterricht vorzubereiten,
sich aktiv daran zu beteiligen, die erforderlichen Arbeiten anzufertigen und die Hausaufgaben zu erledigen....

| | |
|---|---|
| **sehr gut** | sehr kontinuierliche, ausgezeichnete Mitarbeit, sehr umfangreiche, produktive und kreative Beiträge, kommunikationsfördernd, souveräner und präziser Gebrauch der Fachsprache und souveräne Anwendung der physikalischen Kenntnisse und Fähigkeiten, neue Aspekte und Probleme werden mit Hilfe der erworbenen Kompetenzen angesprochen oder gelöst, begründetes Herleiten der mathematischen Beschreibung eines physikalischen Sachverhaltes, erscheint immer vorbereitet zum Unterricht |
| **gut** | kontinuierliche, gute Mitarbeit, gute und produktive Beiträge, kommunikationsfördernd, sicherer Gebrauch der Fachsprache und sichere Anwendung der physikalischen Grundkenntnisse, Herleiten der mathematischen Beschreibung eines physikalischen Sachverhaltes, erscheint meist vorbereitet zum Unterricht |
| **befriedigend** | durchschnittliche Mitarbeit, kommunikativ, fachlich korrekte Beiträge, meistens sicherer Gebrauch der Fachsprache und sichere Anwendung der physikalischen Grundkenntnisse, Wiedergabe der mathematischen Beschreibung eines physikalischen Sachverhaltes, erscheint in der Regel vorbereitet zum Unterricht |
| **ausreichend** | selten eigenständige Beteiligung, fachliche Ungenauigkeiten, auch unstrukturierte oder unproduktive Beiträge, kann sich grundlegend in der Fachsprache verständlich machen und physikalische Grundkenntnisse in der Regel anwenden, erscheint häufig unvorbereitet zum Unterricht |
| **ausreichend minus** | Beteiligung nur nach Aufforderung, häufig fachliche Ungenauigkeiten, unstrukturierte oder unproduktive Beiträge, kann sich kaum in der Fachsprache verständlich machen und physikalische Grundkenntnisse sporadisch anwenden bzw. nur reproduzieren, erscheint häufig unvorbereitet zum Unterricht |
| **mangelhaft** | nur sporadische Mitarbeit trotz Aufforderung und Hilfsangeboten, , schwerwiegende und anhaltende fachliche Defizite, meistens fehlerhafte oder lückenhafte Anwendung der Fachsprache und der physikalischen Grundkenntnisse, erscheint trotz Aufforderung selten vorbereitet zum Unterricht |
| **ungenügend** | keine Beteiligung trotz Aufforderung und Hilfsangeboten, fehlende fachliche Kenntnisse auch in elementaren Grundlagen, kann die Fachsprache nicht anwenden und sich mit ihr verständlich machen, es ist erkennbar, dass die Defizite nicht in absehbarer Zeit behoben werden können, erscheint unvorbereitet im Unterricht |

**Klausuren**

Dauer und Anzahl richten sich nach den Angaben der APO-GOSt. In der Einführungsphase wird im ersten Halbjahr eine, im zweiten Halbjahr werden zwei Minuten der Länge 90 Minuten geschrieben.

Die Notenfestsetzung erfolgt nach folgendem Schlüssel. In Ausnahmefällen kann begründet davon abgewichen werden.

| Leistungsbeurteilung | Erreichte Hilfspunktzahl in % |
|---|---|
| sehr gut | ≥85 bis 100 |
| gut | ≥70 bis 85 |
| befriedigend | ≥55 bis 70 |
| ausreichend | ≥40 bis 55 |
| mangelhaft | ≥20 bis 40 |
| ungenügend | <20 |

In der Qualifikationsphase werden die Notenpunkte durch äquidistante Unterteilung der Notenbereiche (mit Ausnahme des Bereichs ungenügend) erreicht.

Die Leistungsbewertung in den Klausuren sollte mit der Perspektive schriftliche Abiturprüfung mit Hilfe eines Kriterienrasters zu den Teilleistungen durchgeführt werden. Dieses Kriterienraster soll auch für Schülerinnen und Schüler transparent sein.

**Mündliche Abiturprüfungen**

Auch für das mündliche Abitur (im 4. Fach oder bei Abweichungs- bzw. Bestehensprüfungen im 1. bis 3. Fach) soll ein Kriterienraster für den ersten und zweiten Prüfungsteil vorgelegt werden, aus dem auch deutlich wird, wann eine gute oder ausreichende Leistung erreicht wird.

## 2.4 Lehr- und Lernmittel

Für den Physikunterricht in der Sekundarstufe II ist an der Schule derzeit in der Einführungsphase das Schulbuch *Dorn Bader, Einführungsphase* eingeführt. In der Qualifikationsphase wird der *Metzler* benutzt.

Die Schülerinnen und Schüler arbeiten die im Unterricht behandelten Inhalte in häuslicher Arbeit nach mithilfe geeigneter Informationen aus dem Internet (wie beispielsweise leifiphysik.de et al. – die Link-Liste „guter“ Adressen wird von den jeweiligen Lehrkräften der Kurse aktualisiert und fortgeschrieben und auf der Schulhomepage veröffentlicht),

Im Unterricht wird der in der Schule eingeführte grafikfähige Taschenrechner zur Auswertung von Datenreihen benutzt.

# 3 Entscheidungen zu fach- und unterrichtsübergreifenden Fragen

**Vorbereitung auf die Erstellung der Facharbeit**

Um eine einheitliche Grundlage für die Erstellung und Bewertung der Facharbeiten in der Jahrgangsstufe Q1 zu gewährleisten, finden im Vorfeld des Bearbeitungszeitraums zwei fachübergreifende Projekttage statt. Die

AG Facharbeit hat schulinterne Richtlinien für Erstellung einer wissenschaftlichen Arbeit angefertigt, die die unterschiedlichen Arbeitsweisen in den wissenschaftlichen Fachbereichen berücksichtigen. Im Verlauf der Projekttage werden den Schülerinnen und Schülern diese schulinternen Richtlinien vermittelt.

**Exkursionen**

Bis auf das Abiturhalbjahr können in Absprache mit den übrigen Naturwissenschaften und der Mathematik Exkursionen durchgeführt werden. Aus Sicht der Physik sind folgende Ziele denkbar:

EF 1: Besuch eines Science Centers

EF 2: Besuch eines Planetariums

Q1.1: Besuch eines Industrieunternehmens

Q1.2: Besuch eines Schülerlabors

Q2.1: Besuch einer Physikveranstaltung der Universität

**Kooperation mit anderen Fächern**

Die Physik kooperiert auf mehreren Ebenen mit anderen Fachbereichen:

1. **Sport:** Aufnahme von Videos von Bewegungsabläufen für den Kinematikunterricht.
2. **Mathematik:** Einführung der Statistikmodi des GTR zum Auswerten von Messreihen.

# 4 Qualitätssicherung und Evaluation

**Fachgruppenarbeit**
Der folgende Abschnitt dient dazu, den Ist-Zustand in der fachlichen Arbeit festzustellen und zu dokumentieren, Beschlüsse der Fachkonferenz zur Fachgruppenarbeit in übersichtlicher Form festzuhalten sowie die Durchführung der Beschlüsse zu kontrollieren und zu reflektieren. Die Liste wird regelmäßig überabeitet und angepasst. Sie dient auch dazu, Handlungsschwerpunkte für die Fachgruppe zu identifizieren und abzusprechen.

| **Fachgruppenarbeit im Überblick** | |
|---|---|
| **Funktionen** | |
| Fachvorsitz | M. Kirschner |
| Stellvertretung | U. Halama |
| Sammlungsleitung | U. Halama |
| Strahlenschutzbeauftragungen | U. Halama, I. Hohn, G. Kath, A. Kopner, M. Kirschner, J. Martin. |
| Fachlehrkräfte | U. Halama, I. Hohn, G. Kath, A. Kopner, M. Kirschner, J. Martin, A. Sawroch. |
| Lerngruppen | Jgst. 6, 8-12 |

| **Räumliche / materielle Ressourcen** | |
|---|---|
| Fachräume | R. 0.020, R. 0.023 |
| Sammlungsräume | R. 0.021, R. 0.022 |
| Lehrwerke | Spektrum Physik (Klasse 6 und Klasse 8,9), Dorn Bader (EF), Metzler (GK, LK) |

| **Leistungsbewertung** | |
|---|---|
| Klausuren | Drei in der EF, je zwei pro Halbjahr in der Q1 und Q2.1 |
| Facharbeiten | Ersetzt die dritte Klausur in der Q1 |
| Sonstige Mitarbeit | Vgl. S. 78 ff |