

# **Schulinterner Lehrplan (Sekundarstufe II) zum Kernlehrplan für die gymnasiale Oberstufe**

## **Physik**

**Auf Beschluss der Fachgruppe Physik**

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Inhalt                                                                                                                |     |
| 1 Die Fachgruppe Physik am Humboldt-Gymnasium Köln.....                                                               | 3   |
| 2 Entscheidungen zum Unterricht .....                                                                                 | 5   |
| 2.1 Unterrichtsvorhaben.....                                                                                          | 5   |
| 2.1.1 Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben .....                                                                      | 7   |
| 2.1.2 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben .....                                                                        | 14  |
| 2.1.2.1 Einführungsphase – Inhaltsfeld: Mechanik.....                                                                 | 14  |
| 2.1.2.2 Qualifikationsphase: Grundkurs – Inhaltsfeld: Elektrodynamik (GK) .....                                       | 27  |
| Kontext: Wirbelströme im Alltag .....                                                                                 | 32  |
| Kontext: Photonen und Elektronen als Quantenobjekte .....                                                             | 37  |
| 2.1.2.3 Qualifikationsphase: Leistungskurs – Inhaltsfeld: Elektrik (LK) .....                                         | 50  |
| 2.2 Grundsätze der fachmethodischen und fachdidaktischen Arbeit im Physikunterricht der<br>gymnasialen Oberstufe..... | 102 |
| 2.3 Grundsätze der Leistungsbewertung und Leistungsrückmeldung .....                                                  | 104 |
| 2.3.1 Überprüfungsformen .....                                                                                        | 104 |
| 2.3.2 Lern- und Leistungssituationen .....                                                                            | 104 |
| 2.3.3 Beurteilungsbereich „Sonstige Mitarbeit“ .....                                                                  | 104 |
| 2.3.4 Fachkompetenz .....                                                                                             | 105 |
| 2.3.5 Erkenntnisgewinnung und Experimentieren .....                                                                   | 105 |
| 2.3.6 Digitale Kompetenzen .....                                                                                      | 105 |
| 2.3.7 Kommunikation und Kooperation .....                                                                             | 106 |
| 2.3.8 Präsentation und Dokumentation .....                                                                            | 106 |
| 2.3.9 Problemlösen und Kreativität .....                                                                              | 106 |
| 2.3.10 Selbstständigkeit und Arbeitsorganisation.....                                                                 | 107 |
| 2.3.11 Kurze schriftliche Lernstandsüberprüfungen .....                                                               | 107 |
| 2.3.12 Beurteilungsbereich Klausuren .....                                                                            | 107 |
| 2.3.13 Grundsätze der Leistungsrückmeldung und Beratung.....                                                          | 109 |
| 2.3.14 Mündliche Abiturprüfungen .....                                                                                | 110 |
| 2.4 Lehr- und Lernmittel .....                                                                                        | 111 |
| 3 Entscheidungen zu fach- und unterrichtsübergreifenden Fragen .....                                                  | 112 |
| 3.1 Zusammenarbeit mit anderen Fächern .....                                                                          | 112 |
| 3.2 Vorbereitung auf die Erstellung der Facharbeit .....                                                              | 112 |
| 3.3 Exkursionen .....                                                                                                 | 112 |
| 4 Qualitätssicherung und Evaluation.....                                                                              | 113 |
| 4.1 Evaluation des schulinternen Curriculums .....                                                                    | 113 |
| 4.2 Fachgruppenarbeit .....                                                                                           | 113 |

## 1 Die Fachgruppe Physik am Humboldt-Gymnasium Köln

Das Humboldt-Gymnasium Köln ist ein traditionsreiches Gymnasium im Kölner Stadtgebiet und versteht sich als moderne Schule, die wissenschaftliches Arbeiten, gesellschaftliche Verantwortung und individuelle Förderung miteinander verbindet. Die Schülerschaft ist vielfältig zusammengesetzt und spiegelt die kulturelle und soziale Vielfalt der Stadt Köln wider. Diese Heterogenität wird als Chance verstanden, unterschiedliche Perspektiven in den Unterricht einzubringen und Schülerinnen und Schüler individuell zu fördern.

Die Fachgruppe Physik leistet einen wesentlichen Beitrag zur mathematisch-naturwissenschaftlichen Bildung der Schülerinnen und Schüler. Ziel des Physikunterrichts ist es, naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen zu entwickeln, physikalische Zusammenhänge zu verstehen sowie technische und gesellschaftliche Entwicklungen kritisch zu beurteilen. Dabei werden Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung gleichermaßen gefördert.

Das Humboldt-Gymnasium legt besonderen Wert auf eine zeitgemäße MINT-Bildung. Der Physikunterricht ist eng mit den Fächern Mathematik, Informatik, Chemie und Biologie vernetzt und greift regelmäßig fachübergreifende Fragestellungen auf. Ergänzend zum regulären Unterricht werden interessierte Schülerinnen und Schüler zur Teilnahme an Wettbewerben wie **Jugend forscht**, der **PhysikOlympiade**, **freestyle physics** oder weiteren MINT-Wettbewerben motiviert.

Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf dem experimentellen Arbeiten. Schülerinnen und Schüler planen, dokumentieren und reflektieren Experimente zunehmend selbstständig. Digitale Messwerterfassung, computergestützte Auswertung sowie Simulationen gehören ebenso selbstverständlich zum Unterricht wie klassische Demonstrationsexperimente.

Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung werden moderne digitale Werkzeuge systematisch eingesetzt. Hierzu zählen unter anderem digitale Messwerterfassungssysteme, Tabellenkalkulation, Videoanalyse (z. B. Tracker), Simulationen (z. B. PhET), Sensorik mit Smartphones (Phyphox) sowie – abhängig von der Lerngruppe – Anwendungen aus den Bereichen Programmierung, Mikrocontroller (Arduino oder Raspberry Pi) und Künstliche Intelligenz zur Datenauswertung und Modellbildung.

Die Fachgruppe arbeitet mit außerschulischen Lernorten und wissenschaftlichen Einrichtungen zusammen. Exkursionen, Schülerlabore sowie Kooperationen mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen ermöglichen den Schülerinnen und Schülern authentische Einblicke in aktuelle naturwissenschaftliche Forschung und technische Entwicklungen. Darüber hinaus werden regionale Unternehmen sowie außerschulische Partner in geeigneten Unterrichtsvorhaben eingebunden.

Der Physikunterricht nutzt moderne Fachräume mit umfangreicher Experimentierausstattung. Neben klassischen Demonstrations- und Schülerexperimenten stehen digitale Messsysteme, Computerarbeitsplätze, mobile Endgeräte sowie Präsentationstechnik zur Verfügung. Die Ausstattung wird kontinuierlich weiterentwickelt, um aktuelle technische Entwicklungen in den Unterricht zu integrieren.

In der gymnasialen Oberstufe werden Physikkurse im Grund- und Leistungskursbereich entsprechend der Schülerwahl eingerichtet. Die Unterrichtsorganisation ermöglicht regelmäßige Doppelstunden, sodass experimentelles Arbeiten, Projektphasen und computergestützte Auswertungen einen festen Bestandteil des Unterrichts bilden.

Die Fachgruppe Physik versteht sich als lernende Gemeinschaft. Durch regelmäßige Fachkonferenzen werden Unterrichtsvorhaben, Leistungsbewertung, Digitalisierungskonzepte und Unterrichtsmaterialien kontinuierlich weiterentwickelt und an aktuelle wissenschaftliche, gesellschaftliche und bildungspolitische Entwicklungen angepasst. Ziel ist ein moderner Physikunterricht, der fachliche Exzellenz mit selbstständigem Lernen, Problemlösekompetenz und nachhaltiger Motivation für Naturwissenschaft und Technik verbindet.

## 2 Entscheidungen zum Unterricht

### 2.1 Unterrichtsvorhaben

Die Darstellung der Unterrichtsvorhaben im schulinternen Lehrplan besitzt den Anspruch, sämtliche im Kernlehrplan angeführten Kompetenzen zu vermitteln. 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 konkreter 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“ einschließlich der dort genannten Kontexte zur Gewährleistung vergleichbarer Standards sowie zur Absicherung von Lerngruppenübertritten und Lehrkraftwechseln für alle Mitglieder der Fachkonferenz Bindekraft entfalten soll, besitzt die exemplarische Ausweisung „konkreter Unterrichtsvorhaben“ (Kapitel 2.1.2, Tabellenspalten 3 und 4) empfehlenden Charakter, es sei denn, die Verbindlichkeit bestimmter Aspekte ist dort (markiert durch Fettdruck) explizit angegeben. Insbesondere Referendarinnen und Referendaren sowie neuen Kolleginnen und Kollegen dienen die konkretisierten Unterrichtsvorhaben vor allem zur standardbezogenen Orientierung in der neuen Schule, aber auch zur Verdeutlichung von un-

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

| Unterrichtsvorhaben der Einführungsphase                                                                                             |                                                                                           |                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kontext und Leitfrage                                                                                                                | Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte                                                   | Kompetenzschwerpunkte                                                                        |
| <i>Physik in Sport und Straßenverkehr</i><br>Wie lassen sich Bewegungen vermessen und analysieren?<br>Zeitbedarf: 42 Ustd.           | <i>Mechanik</i><br>Kräfte und Bewegungen<br>Energie und Impuls                            | E7 Arbeits- und Denkweisen<br>K4 Argumentation<br>E5 Auswertung<br>E6 Modelle<br>UF2 Auswahl |
| <i>Auf dem Weg in den Weltraum</i><br>Wie kommt man zu physikalischen Erkenntnissen über unser Sonnensystem?<br>Zeitbedarf: 28 Ustd. | <i>Mechanik</i><br>Gravitation<br>Kräfte und Bewegungen<br>Energie und Impuls             | UF4 Vernetzung<br>E3 Hypothesen<br>E6 Modelle<br>E7 Arbeits- und Denkweisen                  |
| <i>Schall</i><br>Wie lässt sich Schall physikalisch untersuchen?<br>Zeitbedarf: 10 Ustd.                                             | <i>Mechanik</i><br>Schwingungen und Wellen<br>Kräfte und Bewegungen<br>Energie und Impuls | E2 Wahrnehmung und Messung<br>UF1 Wiedergabe<br>K1 Dokumentation                             |
| <u>Summe Einführungsphase: 80 Stunden</u>                                                                                            |                                                                                           |                                                                                              |

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



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

## Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q1) – LEISTUNGSKURS

| Kontext und Leitfrage                                                                                                                                                                                     | Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte                                                                                                         | Kompetenzschwerpunkte                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Untersuchung von Elektronen</i><br>Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden?<br>Zeitbedarf: 24 Ustd.                                        | <i>Elektrik</i><br>Eigenschaften elektrischer Ladungen und ihrer Felder<br>Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern | UF1 Wiedergabe<br>UF2 Auswahl<br>E6 Modelle<br>K3 Präsentation<br>B1 Kriterien<br>B4 Möglichkeiten und Grenzen                                                       |
| <i>Aufbau und Funktionsweise wichtiger Versuchs- und Messapparaturen</i><br>Wie und warum werden physikalische Größen meistens elektrisch erfasst und wie werden sie verarbeitet?<br>Zeitbedarf: 22 Ustd. | <i>Elektrik</i><br>Eigenschaften elektrischer Ladungen und ihrer Felder<br>Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern | UF2 Auswahl<br>UF4 Vernetzung<br>E1 Probleme und Fragestellungen<br>E5 Auswertung<br>E6 Modelle<br>K3 Präsentation<br>B1 Kriterien<br>B4 Möglichkeiten und Grenzen   |
| <i>Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie</i><br>Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden?<br>Zeitbedarf: 22 Ustd.                                | <i>Elektrik</i><br>Elektromagnetische Induktion                                                                                                 | UF2 Auswahl<br>E6 Modelle<br>B4 Möglichkeiten und Grenzen                                                                                                            |
| <i>Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübermittlung</i><br>Wie können Nachrichten ohne Materietransport übermittelt werden?<br>Zeitbedarf: 28 Ustd.                                        | <i>Elektrik</i><br>Elektromagnetische Schwingungen und Wellen                                                                                   | UF1 Wiedergabe<br>UF2 Auswahl<br>E4 Untersuchungen und Experimente<br>E5 Auswertung<br>E6 Modelle<br>K3 Präsentation<br>B1 Kriterien<br>B4 Möglichkeiten und Grenzen |

|                                                                                                                                                            |                                                                                                                                    |                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <i>Erforschung des Photons</i><br>Besteht Licht doch aus Teilchen?<br>Zeitbedarf: 10 Ustd.                                                                 | <i>Quantenphysik</i><br>Licht und Elektronen als Quantenobjekte<br>Welle-Teilchen-Dualismus<br>Quantenphysik und klassische Physik | UF2 Auswahl<br>E6 Modelle<br>E7 Arbeits- und Denkweisen |
| <i>Röntgenstrahlung, Erforschung des Photons</i><br>Was ist Röntgenstrahlung?<br>Zeitbedarf: 9 Ustd.                                                       | <i>Quantenphysik</i><br>Licht und Elektronen als Quantenobjekte                                                                    | UF1 Wiedergabe<br>E6 Modelle                            |
| <i>Erforschung des Elektrons</i><br>Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?<br>Zeitbedarf: 6 Ustd. | <i>Quantenphysik</i><br>Welle-Teilchen-Dualismus                                                                                   | UF1 Wiedergabe<br>K3 Präsentation                       |
| <i>Die Welt kleinster Dimensionen – Mikroobjekte und Quantentheorie</i><br>Was ist anders im Mikrokosmos?<br>Zeitbedarf: 10 Ustd.                          | <i>Quantenphysik</i><br>Welle-Teilchen-Dualismus und Wahrscheinlichkeitsinterpretation<br>Quantenphysik und klassische Physik      | UF1 Wiedergabe<br>E7 Arbeits- und Denkweisen            |
| <u>Summe Qualifikationsphase (Q1) – LEISTUNGSKURS: 120 Stunden</u>                                                                                         |                                                                                                                                    |                                                         |

## Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q2) – LEISTUNGSKURS

| Kontext und Leitfrage                                                                                                                                                  | Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte                                                                  | Kompetenzschwerpunkte                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <i>Geschichte der Atommodelle, Lichtquellen und ihr Licht</i><br>Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie?<br>Zeitbedarf: 10 Ustd.                         | <i>Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik</i><br>Atomaufbau                                            | UF1 Wiedergabe<br>E5 Auswertung<br>E7 Arbeits- und Denkweisen |
| <i>Physik in der Medizin (Bildgebende Verfahren, Radiologie)</i><br>Wie nutzt man Strahlung in der Medizin?<br>Zeitbedarf: 14 Ustd.                                    | <i>Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik</i><br>Ionisierende Strahlung<br>Radioaktiver Zerfall        | UF3 Systematisierung<br>E6 Modelle<br>UF4 Vernetzung          |
| <i>(Erdgeschichtliche) Altersbestimmungen</i><br>Wie funktioniert die $^{14}\text{C}$ -Methode?<br>Zeitbedarf: 10 Ustd.                                                | <i>Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik</i><br>Radioaktiver Zerfall                                  | UF2 Auswahl<br>E5 Auswertung                                  |
| <i>Energiegewinnung durch nukleare Prozesse</i><br>Wie funktioniert ein Kernkraftwerk?<br>Zeitbedarf: 9 Ustd.                                                          | <i>Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik</i><br>Kernspaltung und Kernfusion<br>Ionisierende Strahlung | B1 Kriterien<br>UF4 Vernetzung                                |
| <i>Forschung am CERN und DESY – Elementarteilchen und ihre fundamentalen Wechselwirkungen</i><br>Was sind die kleinsten Bausteine der Materie?<br>Zeitbedarf: 11 Ustd. | <i>Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik</i><br>Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen           | UF3 Systematisierung<br>K2 Recherche                          |
| <i>Satellitenavigation – Zeitmessung ist nicht absolut</i><br>Welchen Einfluss hat Bewegung auf den Ablauf der Zeit?<br>Zeitbedarf: 4 Ustd.                            | <i>Relativitätstheorie</i><br>Konstanz der Lichtgeschwindigkeit<br>Problem der Gleichzeitigkeit          | UF2 Auswahl<br>E6 Modelle                                     |
| <i>Höhenstrahlung</i><br>Warum erreichen Myonen aus der oberen Atmosphäre die Erdoberfläche?<br>Zeitbedarf: 4 Ustd.                                                    | <i>Relativitätstheorie</i><br>Zeitdilatation und Längenkontraktion                                       | E5 Auswertung<br>K3 Präsentation                              |

|                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                         |                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <i>Teilchenbeschleuniger - Warum Teilchen aus dem Takt geraten</i><br>Ist die Masse bewegter Teilchen konstant?                                                        | <i>Relativitätstheorie</i><br>Relativistische Massenzunahme<br>Energie-Masse-Beziehung                                                                                                                                                                  | UF4 Vernetzung<br>B1 Kriterien |
| Zeitbedarf: 8 Ustd.                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                         |                                |
| <i>Satellitenavigation – Zeitmessung unter dem Einfluss von Geschwindigkeit und Gravitation</i><br>Beeinflusst Gravitation den Ablauf der Zeit?<br>Zeitbedarf: 4 Ustd. | <i>Relativitätstheorie</i><br>Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung                                                                                                                                                                          | K3 Präsentation                |
| <i>Das heutige Weltbild</i><br>Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt?<br>Zeitbedarf: 4 Ustd.                                      | <i>Relativitätstheorie</i><br>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   |
| Summe Qualifikationsphase (Q2) – LEISTUNGSKURS: 74 Stunden                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                         |                                |

## 2.1.2 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben

### 2.1.2.1 Einführungsphase –

#### Inhaltsfeld: Mechanik

#### Kontext: *Physik in Sport und 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<br>(Ustd. à 45 min)                          | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                    | Experiment / Medium                                                           | Kommentar/didaktische Hinweise                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beschreibung von Bewegungen im Verkehr und im Sport | stellen Begriffe und notwendige Voraussetzungen zum Verständnis für eine konkrete Verkehrsproblematik zusammen(UF3, E7),<br><br>kommunizieren ihre Vorstellungen und einigen sich auf zentrale Begriffe (K2, K4). | Auszug aus „Naturwissenschaften im Unterricht“: „nur ein bisschen zu schnell“ | Einstieg über Auswirkungen von geringfügig erhöhten Geschwindigkeiten auf die Aufprallgeschwindigkeit auf stehende Hindernisse<br>Analyse alltäglicher Bewegungsabläufe, Klärung wichtiger Begriffe und Größen;<br>Verständigung über Lernziele |

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler... | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar/didaktische Hinweise</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| (2 Ustd.)                         |                                                       |                            |                                       |

|                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Beschreibung und Analyse von linearen Bewegungen (16 Ustd.)</p> | <p>unterscheiden gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen und erklären zugrundeliegende Ursachen (UF2), vereinfachen komplexe Bewegungs- und Gleichgewichtszustände durch Komponentenzerlegung bzw. Vektoraddition (E1), 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), stellen Daten in Tabellen und sinnvoll skalierten Diagrammen (u. a. <math>t</math>-s- und <math>t</math>-v-Diagramme, Vektordiagramme) von Hand und mit digitalen Werkzeugen angemessen präzise dar (K1, K3), erschließen und überprüfen mit Messdaten und Diagrammen funktionale Beziehungen zwischen mechanischen Größen (E5), bestimmen mechanische Größen mit mathematischen Verfahren und mithilfe digitaler Werkzeuge (u.a. Tabellenkalkulation, GTR) (E6),</p> | <p>Digitale Videoanalyse (z.B. mit Handy oder Cassy) von Bewegungen in Sport und Verkehr (Fahrradfahrt o. anderes Fahrzeug, Sprint, Flug von Bällen)</p> <p><b>Luftkissenfahrbahn mit digitaler Messwerterfassung:</b><br/><b>Messreihe zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung</b></p> <p><b>Freier Fall</b> und Bewegung auf einer schiefen Ebene</p> <p><b>Wurfbewegungen</b></p> | <p>Einführung in die Verwendung von digitaler Videoanalyse (Auswertung von Videosequenzen, Darstellung der Messdaten in Tabellen und Diagrammen mithilfe einer Software zur Tabellenkalkulation)</p> <p>Unterscheidung von gleichförmigen und (beliebig) beschleunigten Bewegungen (insb. auch die gleichmäßig beschleunigte Bewegung)</p> <p>Erarbeitung der Bewegungsgesetze der gleichförmigen Bewegung</p> <p>Untersuchung gleichmäßig beschleunigter Bewegungen im Labor</p> <p>Erarbeitung der Bewegungsgesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung</p> <p>Erstellung von <math>t</math>-s- und <math>t</math>-v-Diagrammen (auch mithilfe digitaler Hilfsmittel), die Interpretation und Auswertung derartiger Diagramme sollte intensiv geübt werden.</p> <p>Planung von Experimenten durch die Schüler (Auswertung mithilfe der Videoanalyse)</p> <p>Schlussfolgerungen bezüglich des Einflusses der Körpermasse bei Fallvorgängen, auch die Argumentation von Galilei ist besonders gut geeignet, um Argumentationsmuster in Physik explizit zu besprechen</p> <p>Wesentlich: Erarbeitung des Superpositionsprinzips (Komponentenzerlegung und Addition vektorieller Größen)</p> |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min)                             | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Experiment / Medium                                                                                                                                                                                                                                                                             | Kommentar/didaktische Hinweise                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Basketball, Korbwurf, Abstoß beim Fußball, günstigster Winkel                                                                                                                                                                                                                                   | Herleitung der Gleichung für die Bahnkurve nur optional                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Newton'sche Gesetze, Kräfte und Bewegung<br>(12 Ustd.) | <p>berechnen mithilfe des Newton'schen Kraftgesetzes Wirkungen einzelner oder mehrerer Kräfte auf Bewegungszustände und sagen sie unter dem Aspekt der Kausalität vorher (E6),</p> <p>entscheiden begründet, welche Größen bei der Analyse von Bewegungen zu berücksichtigen oder zu vernachlässigen sind (E1, E4),</p> <p>reflektieren Regeln des Experimentierens in der Planung und Auswertung von Versuchen (u. a. Zielorientierung, Sicherheit, Variablenkontrolle, Kontrolle von Störungen und Fehlerquellen) (E2, E4),</p> <p>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),</p> <p>erkennen Scheinkräfte, deuten diese als Indiz für Nichtinertialsysteme (UF4, E7, B2)</p> | <p><b>Luftkissenfahrbahn mit digitaler Messwerterfassung:</b><br/> <b>Messung der Beschleunigung eines Körpers in Abhängigkeit von der beschleunigenden Kraft</b><br/> <b>Protokolle: Funktionen und Anforderungen</b></p> <p><b>Inertialsystem vs. beschl. Bezugssystem – Scheinkräfte</b></p> | <p>Kennzeichen von Laborexperimenten im Vergleich zu natürlichen Vorgängen besprechen, Ausschalten bzw. Kontrolle bzw. Vernachlässigen von Störungen</p> <p>Erarbeitung des Newton'schen Bewegungsgesetzes</p> <p>Definition der Kraft als Erweiterung des Kraftbegriffs aus der Sekundarstufe I.</p> <p>Berechnung von Kräften und Beschleunigungen beim Kugelstoßen, bei Ballsportarten, Einfluss von Reibungskräften</p> <p>Analyse auftretender Kräfte beschleunigter Beobachter (Fahrstuhlfahrt, Coriolis-Kraft)</p> |

|                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Energie und Leistung<br>Impuls<br>(12 Ustd.) | 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 Wechselwir- | Einsatz des GTR zur Bestimmung<br>des Integrals<br>Fadenpendel (Schaukel)<br><br>Sportvideos | Begriffe der Arbeit und der Energie aus der SI<br>aufgreifen und wiederholen<br><br>Deduktive Herleitung der Formeln für die mechanischen Energiearten aus den Newton'schen Gesetzen und der Definition der Arbeit |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Experiment / Medium</b>                                                                                                       | <b>Kommentar/didaktische Hinweise</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   | <p>kungsperspektive 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/>           beschreiben eindimensionale Stoßvorgänge mit Wechselwirkungen und Impulsänderungen (UF1),<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),</p> | <p><b>Luftkissenfahrbahn mit digitaler Messwerterfassung:</b><br/> <b>Messreihen zu elastischen und unelastischen Stößen</b></p> | <p>Energieerhaltung an Beispielen (Pendel, Achterbahn, Halfpipe) erarbeiten und für Berechnungen nutzen<br/>           Energetische Analysen in verschiedenen Sportarten (Hochsprung, Turmspringen, Turnen, Stabhochsprung, Bobfahren, Skisprung)<br/>           Begriff des Impulses und Impuls als Erhaltungsgröße<br/>           Elastischer und inelastischer Stoß auch an anschaulichen Beispielen aus dem Sport (z.B. Impulserhaltung bei Ballsportarten, Kopfball beim Fußball, Kampfsport)<br/>           Hinweis: Erweiterung des Impulsbegriffs am Ende des Kontextes „Auf dem Weg in den Weltraum“</p> |
| <b>42 Ustd.</b>                   | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

### **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:** Schülerinnen und Schüler können

(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.

(E3) mit Bezug auf Theorien, Modelle und Gesetzmäßigkeiten auf deduktive Weise Hypothesen generieren sowie Verfahren zu ihrer Überprüfung ableiten,

(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.

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)                            | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Experiment / Medium</b>                                                                   | <b>Kommentar/didaktische Hinweise</b>                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aristotelisches Weltbild, Kopernikanische Wende<br>(3 Ustd.) | stellen Änderungen in den Vorstellungen zu Bewegungen und zum Sonnensystem beim Übergang vom Mittelalter zur Neuzeit dar (UF3, E7),                                                                                                                                                                   | <b>Arbeit mit dem Lehrbuch:</b><br><b>Geozentrisches und heliozentrisches Planetenmodell</b> | Einstieg über Film zur Entwicklung des Raketenbaus und der Weltraumfahrt<br>Besuch in einer Sternwarte, Planetarium Bochum<br>Beobachtungen am Himmel<br>Historie: Verschiedene Möglichkeiten der Interpretation der Beobachtungen |
| Planetenbewegungen und Kepler'sche Gesetze<br>(5 Ustd.)      | ermitteln mithilfe der Kepler'schen Gesetze und des Gravitationsgesetzes astronomische Größen (E6), 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). | Animationen zur Darstellung der Planetenbewegungen                                           | Orientierung am Himmel<br>Beobachtungsaufgabe: Finden von Planeten am Nachthimmel<br>Tycho Brahes Messungen, Keplers Schlussfolgerungen<br>Benutzung geeigneter Apps                                                               |

|                                                                |                                                                                                                                     |                                                |                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Newton'sches Gravitationsgesetz, Gravitationsfeld<br>(6 Ustd.) | beschreiben Wechselwirkungen im Gravitationsfeld und verdeutlichen den Unterschied zwischen Feldkonzept und Kraftkonzept (UF2, E6), | Arbeit mit dem Lehrbuch, Recherche im Internet | Newton'sches Gravitationsgesetz als Zusammenfassung bzw. Äquivalent der Kepler'schen Gesetze<br>Newton'sche „Mondrechnung“ |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min)   | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                         | Experiment / Medium                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Kommentar/didaktische Hinweise                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              |                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>Anwendung des Newton'schen Gravitationsgesetzes und der Kepler'schen Gesetze zur Berechnung von Satellitenbahnen</p> <p>Feldbegriff diskutieren, Definition der Feldstärke über Messvorschrift „Kraft auf Probekörper“</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Kreisbewegungen<br>(8 Ustd.) | analysieren und berechnen auftretende Kräfte bei Kreisbewegungen (E6), | <p><b>Messung der Zentralkraft</b></p> <p><b>An dieser Stelle sollen das experimentell-erkundende Verfahren und das deduktive Verfahren zur Erkenntnisgewinnung am Beispiel der Herleitung der Gleichung für die Zentripetalkraft als zwei wesentliche Erkenntnismethoden der Physik bearbeitet werden.</b></p> | <p>Beschreibung von gleichförmigen Kreisbewegungen, Winkelgeschwindigkeit, Periode, Bahngeschwindigkeit, Frequenz</p> <p>Experimentell-erkundende Erarbeitung der Formeln für Zentripetalkraft und Zentripetalbeschleunigung:</p> <p>Herausstellen der Notwendigkeit der Konstanthaltung der restlichen Größen bei der experimentellen Bestimmung einer von mehreren anderen Größen abhängigen physikalischen Größe (hier bei der Bestimmung der Zentripetalkraft in Abhängigkeit von der Masse des rotierenden Körpers)</p> <p>Ergänzend: Deduktion der Formel für die Zentripetalbeschleunigung</p> <p>Massenbestimmungen im Planetensystem, Fluchtgeschwindigkeiten</p> <p>Bahnen von Satelliten und Planeten</p> |

|                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Impuls und Impulserhaltung, Rückstoß<br>(6 Ustd.) | verwenden Erhaltungssätze (Energie- und Impulsbilanzen), um Bewegungszustände zu erklären sowie Bewegungsgrößen zu berechnen (E3, E6), 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 | Impuls und Rückstoß<br>Bewegung einer Rakete im luftleeren Raum<br>Untersuchungen mit einer Wasserrakete, Simulation des Fluges einer Rakete in einer Excel-Tabelle<br>Debatte über wissenschaftlichen Wert sowie |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler... | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar/didaktische Hinweise</b>    |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
|                                   |                                                       | Finanzierung               | Kosten und Nutzen ausgewählter Programme |
| <b>28 Ustd.</b>                   | <b>Summe</b>                                          |                            |                                          |



## Kontext: *Schall*

Leitfrage: Wie lässt sich Schall physikalisch untersuchen?

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

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

(E2) kriteriengeleitet beobachten und messen sowie auch komplexe Apparaturen für Beobachtungen und Messungen erläutern und sachgerecht verwenden,

(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien/Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,

(K1) Fragestellungen, Untersuchungen, Experimente und Daten nach gegebenen Strukturen dokumentieren und stimmig rekonstruieren, auch mit Unterstützung digitaler Werkzeuge

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)                  | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                             | <b>Experiment / Medium</b>                                                                                                                                                                        | <b>Kommentar/didaktische Hinweise</b>                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Entstehung und Ausbreitung von Schall<br>(4 Ustd.) | erklären qualitativ die Ausbreitung mechanischer Wellen (Transversal- oder Longitudinalwelle) mit den Eigenschaften des Ausbreitungsmediums (E6), | Stimmgabeln, Lautsprecher, Frequenzgenerator, Frequenzmessgerät, Schallpegelmesser, Computer-unterstützte-Messung (Cassy), rußgeschwärzte Glasplatte, Schreibstimmgabel, Klingel und Vakuumglocke | Erarbeitung der Grundgrößen zur Beschreibung von Schwingungen und Wellen:<br>Frequenz (Periode) und Amplitude mittels der Höreindrücke des Menschen<br>Schwingungsdauer, Ausbreitungsgeschwindigkeit und Wellenlänge |
| Modelle der Wellenausbreitung<br>(4 Ustd.)         | beschreiben Schwingungen und Wellen als Störungen eines Gleichgewichts und identifizieren die dabei auftretenden Kräfte (UF1, UF4),               | <b>Lange Schraubenfeder,</b><br><b>Transversale Oszillorkette (Wellenmaschine),</b><br><b>Wellenwanne</b>                                                                                         | Entstehung von Longitudinal- und Transversalwellen<br>Ausbreitungsmedium, Möglichkeit der Ausbreitung longitudinaler. bzw. transversaler Schallwellen in Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern                     |
| Erzwungene Schwingungen und Resonanz               | erläutern das Auftreten von Resonanz mithilfe von Wechselwirkung und Energie (UF1).                                                               | Stimmgabeln,<br><br>Überschwappender Kaffeebecher                                                                                                                                                 | Resonanz (auch Tacoma-Bridge, Millennium-Bridge)<br>Resonanzkörper von Musikinstrumenten                                                                                                                             |

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler... | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar/didaktische Hinweise</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| (2 Ustd.)                         |                                                       |                            |                                       |
| <b>10 Ustd.</b>                   | <b>Summe</b>                                          |                            |                                       |

## 2.1.2.2 Qualifikationsphase: Grundkurs –

### 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Wandlung von mechanischer in elektrische Energie:</b><br><br>Elektromagnetische Induktion<br><br>Induktionsspannung<br>(9 Ustd.) | erläutern am Beispiel der <i>Leiterschaukel</i> das Auftreten einer Induktionsspannung durch die Wirkung der Lorentzkraft auf bewegte Ladungsträger (UF1, E6),<br><br>definieren die Spannung als Verhältnis von Energie und Ladung und bestimmen damit Energien bei elektrischen Leitungsvorgängen (UF2),<br><br>bestimmen die relative Orientierung von Bewegungsrichtung eines Ladungsträgers, Magnetfeldrichtung und resultierender Kraftwirkung mithilfe einer Drei-Finger-Regel (UF2, E6), | bewegter Leiter im (homogenen) Magnetfeld -<br><b>„Leiterschaukelversuch“</b><br><br>Messung von Spannungen mit diversen Spannungsmessgeräten (nicht nur an der <b>Leiterschaukel</b> )<br><br>Gedankenexperimente zur Überführungsarbeit, die an einer Ladung verrichtet wird. | Einführung der 3-Finger-Regel und Angabe der Gleichung für die Lorentzkraft:<br><br>Einführung des Begriffs des magnetischen Feldes (in Analogie zu den beiden anderen Feldern durch Kraft auf Probekörper, in diesem Fall bewegte Ladung oder stromdurchflossener Leiter) und des Zusammenhangs zwischen magnetischer Kraft, Leiterlänge und Stromstärke.<br><br>Definition der Spannung und Erläuterung anhand von Beispielen für Energieumwandlungsprozesse bei |

| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min)                                                                              | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                           | Experiment / Medium                                                                                                                                                                                            | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                         | werten Messdaten, die mit einem <i>Oszilloskop</i> bzw. mit einem <i>Messwerterfassungssystem</i> gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5).                                                                                                                       | Deduktive Herleitung der Beziehung zwischen $U$ , $v$ und $B$ .                                                                                                                                                | Ladungstransporten, Anwendungsbeispiele.<br><br>Das Entstehen einer Induktionsspannung bei bewegtem Leiter im Magnetfeld wird mit Hilfe der Lorentzkraft erklärt, eine Beziehung zwischen Induktionsspannung, Leitergeschwindigkeit und Stärke des Magnetfeldes wird (deduktiv) hergeleitet.<br><br>Die an der Leiterschaukel registrierten (zeitabhängigen) Induktionsspannungen werden mit Hilfe der hergeleiteten Beziehung auf das Zeit-Geschwindigkeit-Gesetz des bewegten Leiters zurückgeführt. |
| <b>Technisch praktikable Generatoren:</b><br><br>Erzeugung sinusförmiger Wechselspannungen<br>(3 Ustd.) | recherchieren bei vorgegebenen Fragestellungen historische Vorstellungen und Experimente zu Induktionserscheinungen (K2),<br><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><br>Experimente mit drehenden Leiterschleifen in (näherungsweise homogenen) Magnetfeldern, Wechselstromgeneratoren | Hier bietet es sich an, arbeitsteilige Präsentationen auch unter Einbezug von Realexperimenten anfertigen zu lassen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>erläutern das Entstehen sinusförmiger Wechselspannungen in Generatoren (E2, E6),</p> <p>werten Messdaten, die mit einem <i>Oszilloskop</i> bzw. mit einem <i>Messwerterfassungssystem</i> gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5).</p> <p>führen Induktionserscheinungen an einer <i>Leiter-schleife</i> auf die beiden grundlegenden Ursachen „zeitlich veränderliches Magnetfeld“ bzw. „zeitlich veränderliche (effektive) Fläche“ zurück (UF3, UF4),</p> | <p>Messung und Registrierung von Induktionsspannungen mit <b>Os-zilloskop</b> und <b>digitalem Messwerterfassungssystem</b></p> | <p>Der Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und zeitlicher Veränderung der senkrecht vom Magnetfeld durchsetzten Fläche wird „deduktiv“ erschlossen.</p> |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min)                                                                              | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Experiment / Medium                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nutzbarmachung elektrischer Energie durch „Transformation“</b><br><br>Transformator<br><br>(6 Ustd.) | <p>erläutern adressatenbezogen Zielsetzungen, Aufbauten und Ergebnisse von Experimenten im Bereich der Elektrodynamik jeweils sprachlich angemessen und verständlich (K3),</p> <p>bestimmen und quantifizieren Magnetfelder von stromdurchflossenen Leitern und Spulen (xx)</p> <p>ermitteln die Übersetzungsverhältnisse von Spannung und Stromstärke beim <i>Transformator</i> (UF1, UF2).</p> <p>geben Parameter von Transformatoren zur gezielten Veränderung einer elektrischen Wechselspannung an (E4),</p> <p>werten Messdaten, die mit einem <i>Oszilloskop</i> bzw. mit einem <i>Messwerterfassungssystem</i> gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5).</p> <p>führen Induktionerscheinungen an einer <i>Leiter-schleife</i> auf die beiden grundlegenden Ursachen „zeitlich veränderliches Magnetfeld“ bzw. „zeitlich veränderliche (effektive) Fläche“ zurück (UF3, UF4),</p> | <p>diverse „Netzteile“ von Elektro-Kleingeräten (mit klassischem Transformator)</p> <p><b>Spule, Hall-Sonde</b></p> <p>Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen</p> <p>Demo-Aufbautransformator mit geeigneten Messgeräten</p> <p>ruhende Induktionsspule in wechselstromdurchflossener Feldspule - mit <b>Messwerterfassungssystem</b> zur zeitaufgelösten Registrierung der Induktionsspannung und des zeitlichen Verlaufs der Stärke des magnetischen Feldes</p> | <p>Spule und Transformator werden eingeführt und die Übersetzungsverhältnisse der Spannungen experimentell ermittelt. Dies kann auch durch einen Schülervortrag erfolgen (experimentell und medial gestützt).</p> <p>Der Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und zeitlicher Veränderung der Stärke des magnetischen Feldes wird experimentell im Lehrerversuch erschlossen.</p> <p>Die registrierten Messdiagramme werden von den SuS eigenständig ausgewertet.</p> |

| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min)                           | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Experiment / Medium                                                                                                                                                                                                  | Kommentar                                                                                          |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Energieerhaltung<br>Ohm'sche „Verluste“<br>(4 Ustd.) | <p>verwenden ein physikalisches <i>Modellexperiment zu Freileitungen</i>, um technologische Prinzipien der Bereitstellung und Weiterleitung von elektrischer Energie zu demonstrieren und zu erklären (K3),</p> <p>bewerten die Notwendigkeit eines geeigneten Transformierens der Wechselspannung für die effektive Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B1),</p> <p>zeigen den Einfluss und die Anwendung physikalischer Grundlagen in Lebenswelt und Technik am Beispiel der Bereitstellung und Weiterleitung elektrischer Energie auf (UF4),</p> <p>beurteilen Vor- und Nachteile verschiedener Möglichkeiten zur Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B2, B1, B4).</p> | <b>Modellexperiment</b> (z.B. mit Hilfe von Aufbau-Transformatoren) zur Energieübertragung und zur Bestimmung der „Ohm'schen Verluste“ bei der Übertragung elektrischer Energie bei unterschiedlich hohen Spannungen | Hier bietet sich ein arbeitsteiliges Gruppenpuzzle an, in dem Modellexperimente einbezogen werden. |
| <b>22 Ustd.</b>                                      | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                    |

**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 <i>Thomson'schen Ringversuchs</i> die Lenz'sche Regel (E5, UF4),<br>bewerten bei technischen Prozessen das Auftreten erwünschter bzw. nicht erwünschter Wirbelströme (B1), | Freihandexperiment: Untersuchung der Relativbewegung eines aufgehängten Metallrings und eines starken Stabmagneten<br><br><b>Thomson'scher Ringversuch</b><br>diverse technische und spielereische Anwendungen, z.B. <b>Wirbelstrombremse</b> , „fallender Magnet“ im Kupfer-Rohr. | Ausgehend von kognitiven Konflikten bei den Ringversuchen wird die Lenz'sche Regel erarbeitet<br><br>Erarbeitung von Anwendungsbeispielen zur Lenz'schen Regel (z. B. Wirbelstrombremse bei Fahrzeugen oder an der Kreissäge) |
| 4 Ustd.                      | Summe                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                               |



## 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<br>(Ustd. à 45 min)                                                                                      | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Experiment / Medium                                                                                                                         | Kommentar/didaktische Hinweise                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beugung und Interferenz Lichtwellenlänge, Lichtfrequenz, Kreiswellen, ebene Wellen, Beugung, Brechung (8 Ustd.) | veranschaulichen mithilfe der <i>Wellenwanne</i> 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 <i>Doppelspalt</i> und <i>Gitter</i> (E5), | <b>Doppelspalt</b> und <b>Gitter</b> , <b>Wellenwanne</b><br>quantitative Experimente mit Laserlicht: <b>Spurabstand einer CD bestimmen</b> | Ausgangspunkt: Beugung von Laserlicht<br>Modellbildung mit Hilfe der Wellenwanne (ggf. als Schülerpräsentation)<br>Bestimmung der Wellenlängen von Licht mit Doppelspalt und Gitter<br>Sehr schön sichtbare Beugungsphänomene finden sich vielfach bei Meereswellen (s. Google-Earth)                                                                                                                      |
| Quantelung der Energie von Licht, Austrittsarbeit (6 Ustd.)                                                     | demonstrieren anhand eines <i>Experiments zum Photoeffekt</i> den Quantencharakter von Licht und bestimmen den Zusammenhang von Energie, Wellenlänge und Frequenz von Photonen sowie die Austrittsarbeit der Elektronen (E5, E2),                                                                                                              | <b>Photoeffekt</b><br>Hallwachsversuch<br>Vakuumphtozelle<br><b>Umkehrung des Photoeffekts mit LED</b>                                      | Roter Faden: Von Hallwachs bis Elektronenbeugung<br>Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums und der Austrittsarbeit<br>Hinweis: Formel für die max. kinetische Energie der Photoelektronen wird zunächst vorgegeben.<br>Der Zusammenhang zwischen Spannung, Ladung und Überführungsarbeit wird ebenfalls vorgegeben und nur plausibel gemacht. Er muss an dieser Stelle nicht grundlegend hergeleitet |

| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min) | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler... | Experiment / Medium | Kommentar/didaktische Hinweise |
|----------------------------|------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
|                            |                                                |                     | werden                         |
| <b>14 Ustd.</b>            | <b>Summe</b>                                   |                     |                                |

### 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 <i>Millikanversuchs</i> die grundlegenden Ideen und Ergebnisse zur Bestimmung der Elementarladung (UF1, E5),<br><br>untersuchen, ergänzend zum Realexperiment, Computersimulationen zum Verhalten von Quantenobjekten (E6). | <b>Millikanversuch</b><br>Schwebefeldmethode (keine Stokes'sche Reibung)<br>Auch als Simulation möglich | Begriff des elektrischen Feldes in Analogie zum Gravitationsfeld besprechen, Definition der Feldstärke über die Kraft auf einen Probekörper, in diesem Fall die Ladung<br><br>Homogenes elektrisches Feld im Plattenkondensator, Zusammenhang zwischen Feldstärke im Plattenkondensator, Spannung und Abstand der Kondensatorplatten vorgeben und durch Auseinanderziehen der geladenen Platten demonstrieren |

|                              |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                |                                                                                                             |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elektronenmasse<br>(5 Ustd.) | beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern deren Definitionsgleichungen. (UF2, UF1),<br>bestimmen die Geschwindigkeitsänderung eines | <b><i>e/m</i>-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr und Helmholtzspulenpaar</b><br>auch Ablenkung des Strahls mit | Vertiefung des Zusammenhangs zwischen Spannung, Ladung und Überführungsarbeit am Beispiel Elektronenkanone. |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                            |                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                                                                                 | <p>Ladungsträgers nach Durchlaufen einer elektrischen Spannung (UF2),</p> <p>modellieren Vorgänge im <i>Fadenstrahlrohr</i> (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),</p> | <p>Permanentmagneten (Lorentzkraft)</p> <p>Stromwaage</p>                  |                                                                       |
| <p>Streuung von Elektronen an Festkörpern, de Broglie-Wellenlänge (3 Ustd.)</p> | <p>erläutern die Aussage der de Broglie-Hypothese, wenden diese zur Erklärung des Beugungsbildes beim <i>Elektronenbeugungsexperiment</i> an und bestimmen die Wellenlänge der Elektronen (UF1, UF2, E4).</p>                                                                                                                                        | <p><b>Experiment zur Elektronenbeugung an polykristallinem Graphit</b></p> | <p>Veranschaulichung der Bragg-Bedingung analog zur Gitterbeugung</p> |
| <b>13 Ustd.</b>                                                                 | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                            |                                                                       |

### Kontext: Photonen und Elektronen als Quantenobjekte

Leitfrage: Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen 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>(3 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). | Computersimulation<br><b>Doppelspalt</b><br><b>Photoeffekt</b> | Reflexion der Bedeutung der Experimente für die Entwicklung der Quantenphysik |
| <b>3 Ustd.</b>                 | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                |                                                                               |

## 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<br>(Ustd. à 45 min)                                     | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                   | Experiment / Medium                                                 | Kommentar                                                              |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Kern-Hülle-Modell<br>(2 Ustd.)                                 | erläutern, vergleichen und beurteilen Modelle zur Struktur von Atomen und Materiebausteinen (E6, UF3, B4),                                                                                                                                                                                                       | Literaturrecherche, Schulbuch                                       | Ausgewählte Beispiele für Atommodelle                                  |
| Energieniveaus der Atomhülle<br>(2 Ustd.)                      | erklären die Energie absorbierter und emittierter Photonen mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (UF1, E6),                                                                                                                                                                                  | Erzeugung von <b>Linienpektren</b> mithilfe von Gasentladungslampen | Deutung der Linienpektren                                              |
| Quantenhafte Emission und Absorption von Photonen<br>(3 Ustd.) | erläutern die Bedeutung von <i>Flammenfärbung und Linienpektren bzw. Spektralanalyse</i> , die Ergebnisse des <i>Franck-Hertz-Versuches</i> sowie die <i>charakteristischen Röntgenspektren</i> für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7), | <b>Franck-Hertz-Versuch</b>                                         | Es kann das Bohr'sche Atommodell angesprochen werden (ohne Rechnungen) |

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)               | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Experiment / Medium</b>                                                                                            | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Röntgenstrahlung<br>(5 Ustd.)                   | erläutern die Bedeutung von <i>Flammenfärbung und Linienspektren bzw. Spektralanalyse</i> , die Ergebnisse des <i>Franck-Hertz-Versuches</i> sowie die <i>charakteristischen Röntgenspektren</i> für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7),                                    | Aufnahme von <b>Röntgenspektren</b> (mit schuleigener Röntgeneinrichtung)                                             | 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 |
| Sternspektren und Fraunhoferlinien<br>(2 Ustd.) | interpretieren Spektraltafeln des <i>Sonnenspektrums</i> im Hinblick auf die in der Sonnen- und Erdatmosphäre vorhandenen Stoffe (K3, K1), erklären Sternspektren und Fraunhoferlinien (UF1, E5, K2), stellen dar, wie mit spektroskopischen Methoden Informationen über die Entstehung und den Aufbau des Weltalls gewonnen werden können (E2, K1), | Flammenfärbung<br>Darstellung des <b>Sonnenspektrums</b> mit seinen <b>Fraunhoferlinien</b><br><b>Spektralanalyse</b> | u. a. Durchstrahlung einer Na-Flamme mit Na- und Hg-Licht (Schattenbildung)                                                                                                                           |
| <b>14 Ustd.</b>                                 | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |

### **Kontext: 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.

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Experiment / Medium</b>                                                                                                 | <b>Kommentar</b>                           |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Strahlungsarten<br>(2 Ustd.)      | unterscheiden $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -Strahlung und Röntgenstrahlung sowie Neutronen- und Schwerionenstrahlung (UF3),<br><br>erläutern den Nachweis unterschiedlicher Arten ionisierender Strahlung mithilfe von Absorptionsexperimenten (E4, E5),<br><br>bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik (B1, B3), | Recherche<br><br><b>Absorptionsexperimente zu <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>-, <math>\gamma</math>-Strahlung</b> | Wiederholung und Vertiefung aus der Sek. I |
| Elementumwandlung<br>(1 Ustd.)    | erläutern den Begriff Radioaktivität und beschreiben zugehörige Kernumwandlungsprozesse (UF1, K1),                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Nuklidkarte                                                                                                                |                                            |



|            |                                                                                                                                                                |                               |                                                                           |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Detektoren | erläutern den Aufbau und die Funktionsweise von Nachweisgeräten für ionisierende Strahlung ( <i>Geiger-Müller-Zählrohr</i> ) und bestimmen Halbwertszeiten und | <b>Geiger-Müller-Zählrohr</b> | An dieser Stelle können Hinweise auf Halbleiterdetektoren gegeben werden. |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)                                                                                             | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Experiment / Medium</b>              | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (3 Ustd.)                                                                                                                     | Zählraten (UF1, E2),                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <p>Biologische Wirkung ionisierender Strahlung und Energieaufnahme im menschlichen Gewebe</p> <p>Dosimetrie<br/>(3 Ustd.)</p> | <p>beschreiben Wirkungen von ionisierender und elektromagnetischer Strahlung auf Materie und lebende Organismen (UF1),</p> <p>bereiten Informationen über wesentliche biologisch-medizinische Anwendungen und Wirkungen von ionisierender Strahlung für unterschiedliche Adressaten auf (K2, K3, B3, B4),</p> <p>begründen in einfachen Modellen wesentliche biologisch-medizinische Wirkungen von ionisierender Strahlung mit deren typischen physikalischen Eigenschaften (E6, UF4),</p> <p>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).</p> <p>bewerten Gefahren und Nutzen der Anwendung physikalischer Prozesse, u. a. von ionisierender Strahlung, auf der Basis medizinischer, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Gegebenheiten (B3, B4)</p> <p>bewerten Gefahren und Nutzen der Anwendung ionisierender Strahlung unter Abwägung unterschiedlicher Kriterien (B3, B4),</p> | ggf. Einsatz eines Films / eines Videos | <p>Sinnvolle Beispiele sind die Nutzung von ionisierender Strahlung zur Diagnose und zur Therapie bei Krankheiten des Menschen (von Lebewesen) sowie zur Kontrolle technische Anlagen.</p> <p>Erläuterung von einfachen dosimetrischen Begriffen: Aktivität, Energiedosis, Äquivalentdosis</p> |

| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min) | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler... | Experiment / Medium | Kommentar |
|----------------------------|------------------------------------------------|---------------------|-----------|
| 9 Ustd.                    | Summe                                          |                     |           |

### Kontext: *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<br>(Ustd. à 45 min)                       | Kompetenzen<br>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 z. B. auf Internetseiten des CERN und DESY zurückgegriffen werden. | Mögliche Schwerpunktsetzung:<br>Paarerzeugung, Paarvernichtung, |

|                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                |                       |                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Virtuelles) Photon<br>als Austauschteil-<br>chen der elektro-<br>magnetischen Wech-<br>selwirkung<br>Konzept der Aus- | vergleichen in Grundprinzipien das Modell des Pho-tons<br>als Austauschteilchen für die elektromagnetische<br>Wechselwirkung exemplarisch für fundamentale<br>Wechselwirkungen mit dem Modell des Feldes (E6). | Lehrbuch, Animationen | Veranschaulichung der Austauschwechselwir-<br>kung mithilfe geeigneter mechanischer Modelle,<br>auch Problematik dieser Modelle thematisieren |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)              | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler... | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar</b> |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|
| tauschteilchen vs.<br>Feldkonzept<br>(2 Ustd.) |                                                       |                            |                  |
| <b>6 Ustd.</b>                                 | <b>Summe</b>                                          |                            |                  |

## 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<br>(Ustd. à 45 min)        | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Experiment / Medium                                                                                                                                                                                       | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Relativität der Zeit<br>(5 Ustd.) | <p>interpretieren das <i>Michelson-Morley-Experiment</i> als ein Indiz für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit (UF4),<br/>erklären anschaulich mit der <i>Lichtuhr</i> grundlegende Prinzipien der speziellen Relativitätstheorie und ermitteln quantitativ die Formel für die Zeitdilatation (E6, E7),</p> <p>erläutern qualitativ den <i>Myonenzerfalls</i> in der Erdatmosphäre als experimentellen Beleg für die von der Relativitätstheorie vorhergesagte Zeitdilatation (E5, UF1).</p> <p>erläutern die relativistische Längenkontraktion über eine Plausibilitätsbetrachtung (K3),</p> | <p><b>Experiment von Michelson und Morley</b> (Computersimulation)<br/><b>Lichtuhr</b> (Gedankenexperiment / Computersimulation)<br/><b>Myonenzerfall</b> (Experimentepool der Universität Wuppertal)</p> | <p>Ausgangsproblem: Exaktheit der Positionsbestimmung mit Navigationssystemen</p> <p>Begründung der Hypothese von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit mit dem Ausgang des Michelson-Morley-Experiments</p> <p>Herleitung der Formel für die Zeitdilatation am Beispiel einer „bewegten Lichtuhr“.</p> <p>Der Myonenzerfall in der Erdatmosphäre dient als experimentelle Bestätigung der Zeitdilatation. Betrachtet man das Bezugssystem der Myonen als ruhend, kann die Längenkontraktion der Atmosphäre plausibel gemacht werden.</p> |

begründen mit der Lichtgeschwindigkeit als Obergrenze für Geschwindigkeiten von Objekten, dass eine additive Überlagerung von Geschwindigkeiten nur für „kleine“ Geschwindigkeiten gilt (UF2),

Die Formel für die Längenkontraktion wird angegeben.

| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min) | Kompetenzen                                                                                                                                                                      | Experiment / Medium | Kommentar |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------|
|                            | Die Schülerinnen und Schüler...<br>erläutern die Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie (UF1), |                     |           |
| 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<br>(Ustd. à 45 min)                                | Kompetenzen                                                                                                                                                                                           | Experiment / Medium                                                        | Kommentar                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                           | Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                       |                                                                            |                                                                                                                                                                                                |
| „Schnelle“ Ladungsträger in E- und B-Feldern<br>(2 Ustd.) | erläutern die Funktionsweise eines <i>Zyklotrons</i> und argumentieren zu den Grenzen einer Verwendung zur Beschleunigung von Ladungsträgern bei Berücksichtigung relativistischer Effekte (K4, UF4), | <b>Zyklotron</b> (in einer Simulation mit und ohne Massenveränderlichkeit) | Der Einfluss der Massenzunahme wird in der Simulation durch das „Aus-dem-Takt-Geraten“ eines beschleunigten Teilchens im Zyklotron ohne Rechnung veranschaulicht.                              |
| Ruhemasse und dynamische Masse<br>(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                                                               | Die Formeln für die dynamische Masse und $E=mc^2$ werden als deduktiv herleitbar angegeben.<br><br>Erzeugung und Vernichtung von Teilchen,<br><br>Hier können Texte und Filme zu Hiroshima und |



| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min) | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler... | Experiment / Medium | Kommentar                   |
|----------------------------|------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|
|                            |                                                |                     | Nagasaki eingesetzt werden. |
| <b>6 Ustd.</b>             | <b>Summe</b>                                   |                     |                             |

### **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>(2 Ustd.) | diskutieren die Bedeutung von Schlüsselexperimenten bei physikalischen Paradigmenwechseln an Beispielen aus der Relativitätstheorie (B4, E7),<br><br>beschreiben Konsequenzen der relativistischen Einflüsse auf Raum und Zeit anhand anschaulicher und einfacher Abbildungen (K3) | Lehrbuch, Film / Video |           |
| <b>2 Ustd.</b>                                        | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                       |                        |           |

### 2.1.2.3 Qualifikationsphase: Leistungskurs –

#### Inhaltsfeld: Elektrizität (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                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Grundlagen:</b><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><br>halbquantitative Versuche mit Hilfe eines Elektrometerverstärkers:<br>Zwei aneinander geriebene Kunststoffstäbe aus unter- | An dieser Stelle sollte ein Rückgriff auf die S I erfolgen.<br><br>Das Elektron soll als (ein) Träger der negativen Ladung benannt und seine Eigenschaften untersucht werden. |

| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min)                                                                                                                                                     | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Experiment / Medium                                                                                                                                                                                                                                                                              | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | schiedlichen Materialien tragen betragsmäßig gleiche, aber entgegengesetzte Ladungen, Influenzversuche                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Bestimmung der Elementarladung:</b><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>Der Begriff des elektrischen Feldes und das Feldlinienmodell werden eingeführt.<br>Die elektrische Feldstärke in einem Punkt eines elektrischen Feldes, der Begriff „homogenes Feld“ und die Spannung werden definiert. |
|                                                                                                                                                                                | 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>An dieser Stelle sollten Übungsaufgaben erfolgen, z.B. auch zum Coulomb'schen Gesetz. Dieses kann auch nur per Plausibilitätsbetrachtung eingeführt werden.   |

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)                                                                                                                                                                                 | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Experiment / Medium</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Bestimmung der Masse eines Elektrons:</b></p> <p>magnetische Felder, Feldlinien,</p> <p>potentielle Energie im elektrischen Feld, Energie bewegter Ladungsträger,</p> <p>Elektronenmasse<br/>(10 Ustd.)</p> | <p>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),</p> <p>treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1),</p> <p>beschreiben qualitativ die Erzeugung eines Elektronenstrahls in einer Elektronenstrahlröhre (UF1, K3),</p> <p>ermitteln die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer Spannung (auch relativistisch) (UF2, UF4, B1),</p> | <p>Fadenstrahlrohr (zunächst) zur Erarbeitung der Versuchsidee,</p> <p>(z.B.) Stromwaage zur Demonstration der Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld sowie zur Veranschaulichung der Definition der magnetischen Feldstärke,</p> <p>Versuche mit z.B. Oszilloskop, Fadenstrahlrohr, altem (Monochrom-) Röhrenmonitor o. ä. zur Demonstration der Lorentzkraft,</p> <p>Fadenstrahlrohr zur <math>e/m</math> – Bestimmung (das Problem der Messung der magnetischen Feldstärke wird ausgelagert.)</p> | <p>Die Frage nach der Masse eines Elektrons führt zu weiteren Überlegungen.</p> <p>Als Versuchsidee wird (evtl. in Anlehnung an astronomischen Berechnungen in der EF) die Auswertung der Daten einer erzwungenen Kreisbewegung des Teilchens erarbeitet.</p> <p>Dazu wird der Begriff des magnetischen Feldes eingeführt sowie die Veranschaulichung magnetischer Felder (inkl. Feldlinienmodell) erarbeitet.</p> <p>Definition der magnetischen Feldstärke, Definition des homogenen Magnetfeldes,</p> <p>Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld, Herleitung der Formel für die Lorentzkraft,</p> |

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler... | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |                                                                                                                    |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | <p>erläutern den Feldbegriff und zeigen dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Gravitationsfeld, elektrischem und magnetischem Feld auf (UF3, E6),</p> <p>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),</p> <p>erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschaulichung typischer Felder und interpretieren Feldlinienbilder (K3, E6, B4),</p> <p>bestimmen die relative Orientierung von Bewegungsrichtung eines Ladungsträgers, Magnetfeldrichtung und resultierender Kraftwirkung mithilfe einer Drei-Finger-Regel (UF2, E6),</p> <p>leiten physikalische Gesetze (Term für die Lorentzkraft) aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),</p> <p>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),</p> <p>schließen aus spezifischen Bahnkurvendaten bei der <math>e/m</math>-Bestimmung und beim Massenspektrometer auf wirkende Kräfte sowie Eigenschaften von Feldern und bewegten Ladungsträgern (E5, UF2),</p> |  | <p>Ein Verfahren zur Beschleunigung der Elektronen sowie zur Bestimmung ihrer Geschwindigkeit wird erarbeitet.</p> |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler... | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|
| <b>24 Ustd.</b>                   | <b>Summe</b>                                          |                            |                  |

**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.



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

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar</b> |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|
|                                   | 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), |                            |                  |

|                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Moderne messtechnische Verfahren sowie Hilfsmittel zur Mathematisierung:</b></p> <p>Auf- und Entladung von Kondensatoren, Energie des elektrischen Feldes (10 Ustd.)</p> | <p>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),</p> <p>erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschaulichung typischer Felder und interpretieren Feldlinienbilder (K3, E6, B4),</p> <p>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),</p> <p>wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze (u.a. Coulomb'sches Gesetz, Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld, Lorentzkraft, Spannung im homogenen <math>E</math>-Feld) problembezogen aus</p> | <p>diverse Kondensatoren (als Ladungs-/ Energiespeicher),</p> <p>Aufbaukondensatoren mit der Möglichkeit die Plattenfläche und den Plattenabstand zu variieren,</p> <p>statische Voltmeter bzw. Elektromessverstärker,</p> <p>Schülerversuche zur Auf- und Entladung von Kondensatoren sowohl mit großen Kapazitäten (Messungen mit Multimeter) als auch mit kleineren Kapazitäten (Messungen mit Hilfe von Messwert-erfassungssystemen),</p> <p>Computer oder GTR/CAS-Rechner zur Messwertverarbeitung</p> | <p>Kondensatoren werden als Ladungs-/ Energiespeicher vorgestellt (z.B. bei elektronischen Geräten wie Computern).</p> <p>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.</p> <p>Plausibilitätsbetrachtung zur Grundgleichung des elektrischen Feldes im Feldlinienmodell, Ermittlung der elektrischen Feldkonstante (evtl. Messung),</p> <p>Auf- und Entladevorgänge bei Kondensatoren werden messtechnisch erfasst, computerbasiert ausgewertet und mithilfe von Differentialgleichungen beschrieben.</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar</b>                                                                                    |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   | (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),                                                                                                            |                            | deduktive Herleitung der im elektrischen Feld eines Kondensators gespeicherten elektrischen Energie |
|                                   | treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1),<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), |                            |                                                                                                     |
| <b>22 Ustd.</b>                   | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                            |                                                                                                     |

**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.

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler... | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|

| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min)                                                                                                                                                                                     | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Experiment / Medium                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Induktion, das grundlegende Prinzip bei der Versorgung mit elektrischer Energie:</b></p> <p>Induktionsvorgänge, Induktionsgesetz, Lenz'sche Regel, Energie des magnetischen Feldes</p> <p>(22 Ustd.)</p> | <p>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),</p> <p>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),</p> <p>leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),</p> <p>planen und realisieren Experimente zum Nachweis der Teilaussagen des Induktionsgesetzes (E2, E4, E5),</p> <p>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),</p> <p>erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten aus dem Bereich der Elektrik (K1, K3, UF3),</p> <p>treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1),</p> <p>identifizieren Induktionsvorgänge aufgrund der zeitlichen Änderung der magnetischen Feldgröße <math>B</math> in Anwendungs- und Alltagssituationen (E1, E6, UF4),</p> | <p>Medien zur Information über prinzipielle Verfahren zur Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie,</p> <p>Bewegung eines Leiters im Magnetfeld - Leiterschaukel,</p> <p>einfaches elektrodynamisches Mikrofon,</p> <p>Gleich- und Wechselspannungsgeneratoren (vereinfachte Funktionsmodelle für Unterrichtszwecke)</p> <p>quantitativer Versuch zur elektromagnetischen Induktion bei Änderung der Feldgröße <math>B</math>, registrierende Messung von <math>B(t)</math> und <math>U_{\text{ind}}(t)</math>,</p> <p>„Aufbau-“ Transformatoren zur Spannungswandlung</p> | <p>Leiterschaukelversuch evtl. auch im Hinblick auf die Registrierung einer gedämpften mechanischen Schwingung auswertbar,</p> <p>Gleich- und Wechselspannungsgeneratoren werden nur qualitativ behandelt.</p> <p>Das Induktionsgesetz in seiner allgemeinen Form wird erarbeitet:<br/>Flächenänderung (deduktive Herleitung)<br/>Änderung der Feldgröße <math>B</math> (quantitatives Experiment)</p> <p>Drehung einer Leiterschleife (qualitative Betrachtung)</p> <p>Der magnetische Fluss wird definiert, das Induktionsgesetz als Zusammenfassung und Verallgemeinerung der Ergebnisse formuliert.</p> <p>qualitative Deutung des Versuchsergebnisses zur Selbstinduktion</p> |

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Experiment / Medium</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   | <p>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),</p> <p>ermitteln die in magnetischen Feldern gespeicherte Energie (Spule) (UF2),</p> <p>bestimmen die Richtungen von Induktionsströmen mithilfe der Lenz'schen Regel (UF2, UF4, E6),</p> <p>begründen die Lenz'sche Regel mithilfe des Energie- und des Wechselwirkungskonzeptes (E6, K4),</p> | <p>Modellversuch zu einer „Überlandleitung“ (aus CrNi-Draht) mit zwei „Trafo-Stationen“, zur Untersuchung der Energieverluste bei unterschiedlich hohen Spannungen,</p> <p>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),</p> <p>Versuche zur Demonstration der Wirkung von Wirbelströmen,</p> <p>diverse „Ringversuche“</p> | <p>Deduktive Herleitung des Terms für die Selbstinduktionsspannung einer langen Spule (ausgehend vom Induktionsgesetz), Interpretation des Vorzeichens mit Hilfe der Lenz'schen Regel</p> <p>Definition der Induktivität,</p> <p>messtechnische Erfassung und computerbasierte Auswertung von Ein- und Ausschaltvorgängen bei Spulen</p> <p>deduktive Herleitung der im magnetischen Feld einer Spule gespeicherten magnetischen Energie</p> |
| <b>22 Ustd.</b>                   | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |



## **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.

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler... | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|

|                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Der elektromagnetische Schwingkreis – das Basiselement der Nachrichtentechnik:</b></p> <p>Elektromagnetische Schwingungen im RLC-Kreis,<br/>Energieumwandlungsprozesse</p> | <p>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</p> | <p>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),</p> | <p>Zur Einbindung der Inhalte in den Kontext wird zunächst ein Mittelwellenradio aus Aufbauteilen der Elektriksammlung vorgestellt.</p> <p>Der Schwingkreis als zentrale Funktionseinheit des MW-Radios: Es kann leicht gezeigt werden, dass durch Veränderung von L bzw. C der Schwingkreis so „abge-</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Experiment / Medium</b>                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| im RLC-Kreis<br>(12 Ustd.)        | elektromagnetischen Schwingung in der Spule und am Kondensator ablaufenden physikalischen Prozesse (UF1, UF2),<br><br>beschreiben den Schwingvorgang im RLC-Kreis qualitativ als Energieumwandlungsprozess und benennen wesentliche Ursachen für die Dämpfung (UF1, UF2, E5),                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                            | stimmt“ werden kann, dass (z.B. oszilloskopisch) eine modulierte Trägerschwingung registriert werden kann, also der Schwingkreis „von außen“ angeregt wird.<br><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><br>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1), | RLC - Serienschwingkreis<br>insbesondere mit registrierenden Messverfahren und computergestützten Auswerteverfahren,<br><br>ggf. Meißner- oder Dreipunkt-Rückkopplungsschaltung zur Erzeugung / Demonstration entdämpfter elektromagnetischer Schwingungen | Die zentrale Funktionseinheit „Schwingkreis“ wird genauer untersucht.<br><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><br>Quantitativ wird nur die ungedämpfte Schwingung beschrieben (inkl. der Herleitung der Thomsonformel). |
|                                   | wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze problembezogen aus (UF2),<br><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 können kurz und rein qualitativ angesprochen werden.                                                                                                                                                                                     |

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

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Experiment / Medium</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Kommentar</b>                                                                                                                          |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   | <p>entscheiden für Problemstellungen aus der Elekt-<br/>rik, ob ein deduktives oder ein experimentelles<br/>Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),</p> <p>leiten physikalische Gesetze aus geeigneten De-<br/>finitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her<br/>(E6, UF2),</p> <p>beschreiben die Interferenz an Doppelspalt und<br/>Gitter im Wellenmodell und leiten die entspre-<br/>chenden Terme für die Lage der jeweiligen Maxi-<br/>ma n-ter Ordnung her (E6, UF1, UF2),</p> <p>wählen Definitionsgleichungen zusammengesetz-<br/>ter physikalischer Größen sowie physikalische<br/>Gesetze problembezogen aus (UF2),</p> <p>erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Ta-<br/>bellen und Diagramme zur Darstellung von<br/>Messwerten (K1, K3, UF3).</p> | <p>Visuelle Medien zur Veranschauli-<br/>chung der Ausbreitung einer linearen<br/>(harmonischen) Welle,<br/>auch Wellenmaschine zur Erinne-<br/>rung an mechanische Wellen, ent-<br/>sprechende Computersimulationen,<br/>Wellenwanne</p> <p>Mikrowellensender / -empfänger mit<br/>Gerätesatz für Beugungs-, Bre-<br/>chungs- und Interferenzexperimente,</p> <p>Interferenz-, Beugungs- und Bre-<br/>chungsexperimente mit (Laser-) Licht<br/>an Doppelspalt und Gitter (quantita-<br/>tiv) –<br/>sowie z.B. an Kanten, dünnen<br/>Schichten,... (qualitativ)</p> | <p>Beugungs-, Brechungs- und Interferenz-<br/>erscheinungen zum Nachweis des Wel-<br/>lencharakters elektromagnetischer Wel-<br/>len,</p> |
| <b>28 Ustd.</b>                   | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                           |

## 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<br>(Ustd. à 45 min)            | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Experiment / Medium                                                                                                                                                     | Kommentar                                  |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Lichtelektrischer Effekt<br>(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 |

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)                                               | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Experiment / Medium</b>                                                                                                                                      | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teilcheneigenschaften von Photonen<br>Planck'sches Wirkungsquantum<br>(7 Ustd.) | <p>erläutern die qualitativen Vorhersagen der klassischen Elektrodynamik zur Energie von Photoelektronen (bezogen auf die Frequenz und Intensität des Lichts) (UF2, E3),</p> <p>erläutern den Widerspruch der experimentellen Befunde zum Photoeffekt zur klassischen Physik und nutzen zur Erklärung die Einstein'sche Lichtquantenhypothese (E6, E1),</p> <p>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),</p> <p>beschreiben und erläutern Aufbau und Funktionsweise von komplexen Versuchsaufbauten (u.a. zur h-Bestimmung und zur Elektronenbeugung) (K3, K2),</p> <p>ermitteln aus den experimentellen Daten eines Versuchs zum Photoeffekt das Planck'sche Wirkungsquantum (E5, E6),</p> | <p>Versuch zur h-Bestimmung: Gegenspannungsmethode (Hg-Linien mit Cs-Diode)</p> <p>Versuch zur h-Bestimmung: Mit Simulationsprogramm (in häuslicher Arbeit)</p> | <p>Spannungsbestimmung mithilfe Kondensatoraufladung erwähnen</p> <p>Wenn genügend Zeit zur Verfügung steht, kann an dieser Stelle auch der Compton-Effekt behandelt werden:</p> <p>Bedeutung der Anwendbarkeit der (mechanischen) Stoßgesetze hinsichtlich der Zuordnung eines Impulses für Photonen</p> <p>Keine detaillierte (vollständig relativistische) Rechnung im Unterricht notwendig, Rechnung ggf. als Referat vorstellen lassen</p> |
| <b>10 Ustd.</b>                                                                 | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

**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<br>(Ustd. à 45 min)                   | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...   | Experiment / Medium                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Röntgenröhre<br>Röntgenspektrum<br>(2 Ustd.) | beschreiben den Aufbau einer Röntgenröhre (UF1), | Röntgenröhre der Schulröntgeneinrichtung<br><br>Sollte keine Röntgenröhre zur Verfügung stehen, kann mit einem interaktiven Bildschirmexperiment (IBE) gearbeitet werden (z.B. <a href="http://www.mackspace.de/unterricht/simulationen_physik/quantenphysik/sv/roentgen.php">http://www.mackspace.de/unterricht/simulationen_physik/quantenphysik/sv/roentgen.php</a> oder <a href="http://www.uni-due.de/physik/ap/iabe/roentgen_b10/roentgen_b10_uebersicht.html">http://www.uni-due.de/physik/ap/iabe/roentgen_b10/roentgen_b10_uebersicht.html</a> ) | 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“) |



|  |  |  |                                                                                                                                                  |
|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | Zu diesem Zeitpunkt<br>müssen kurze Sachin-<br>formationen zum Aufbau<br>der Atomhülle und den<br>Energiezuständen der<br>Hüllelektronen gegeben |
|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)           | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                      | <b>Experiment / Medium</b>                                                                        | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                             |                                                                                                            |                                                                                                   | (recherchiert) werden.<br>Das IBE sollte 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 |
| Planck'sches Wirkungsquantum                | deuten die Entstehung der kurzwelligen Röntgenstrahlung als Um-                                            |                                                                                                   | Eine zweite Bestimmungsmethode für das Planck'sche Wir-                                                                                                                  |

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)                                                                                         | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler... | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar</b>                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| (1 Ustd.)                                                                                                                 | kehrung des Photoeffekts (E6),                        |                            | kungsquantum                                                           |
| Strukturanalyse mit-<br>hilfe der Drehkris-<br>tallmethode<br><br>Strukturanalyse nach<br>Debye-Scherrer<br><br>(2 Ustd.) |                                                       |                            | Schülerreferate mit Prä-<br>sentationen zur Debye-<br>Scherrer-Methode |

|                                                          |                                                                                                                           |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Röntgenröhre in Medizin und Technik<br/>(2 Ustd.)</p> | <p>führen Recherchen zu komplexeren Fragestellungen der Quantenphysik durch und präsentieren die Ergebnisse (K2, K3),</p> | <p>Film / Video / Foto</p> <p>Schülervorträge auf fachlich angemessenem Niveau (mit adäquaten fachsprachlichen Formulierungen)</p> | <p>Schülerreferate mit Präsentationen anhand Literatur- und Internetrecherchen</p> <p>Ggf. Exkursion zum Röntgenmuseum in Lennep</p> <p>Ggf. Exkursion zur radiologischen Abteilung des Krankenhauses (die aber auch in Rahmen der Kernphysik (s. dort: „Biologische Wirkung ionisierender Strahlung“) durchgeführt werden kann)</p> |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min) | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler... | Experiment / Medium | Kommentar |
|----------------------------|------------------------------------------------|---------------------|-----------|
| 9 Ustd.                    | Summe                                          |                     |           |

### Kontext: *Erforschung des Elektrons*

Leitfrage: Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen 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<br>(Ustd. à 45 min)                                               | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                         | Experiment / Medium                                                                                                                                                                                                                          | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wellencharakter von Elektronen<br>(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: <a href="http://rcl-munich.informatik.unibw-muenchen.de/">http://rcl-munich.informatik.unibw-muenchen.de/</a> ) | 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 der (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<br>(Ustd. à 45 min)                                                    | Kompetenzen<br>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><br>ermitteln die Wellenlänge und die Energiewerte von im linearen Potentialtopf gebundenen Elektronen (UF2, E6).                                                                                                                                              |                                                                                                                                                 | Auf die Anwendbarkeit des Potentialtopf-Modells bei Farbstoffmolekülen wird hingewiesen.<br><br>Die Anwendbarkeit des (mechanischen) Modells der stehenden Welle kann insofern bestätigt werden, als dass die für die stehenden Wellen sich ergebende DGI mit derjenigen der (zeitunabhängigen) Schrödinger-DGI strukturell übereinstimmt.<br><br>Ein Ausblick auf die Schrödinger-Gleichung genügt. |
| Wellenfunktion und Aufenthaltswahrscheinlichkeit<br>(4 Ustd.)                 | erläutern die Aufhebung des Welle-Teilchen-Dualismus durch die Wahrscheinlichkeitsinterpretation (UF1, UF4),<br><br>erläutern die Bedeutung von Gedankenexperimenten und Simulationsprogrammen zur Erkenntnisgewinnung bei der Untersuchung von Quantenobjekten (E6, E7).<br><br>erläutern bei Quantenobjekten das Auftreten oder Verschwinden eines Interferenzmusters mit dem Begriff der | Demonstration des Durchgangs eines einzelnen Quantenobjekts durch einen Doppelspalt mithilfe eines Simulationsprogramms und mithilfe von Videos |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)              | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                | <p>Komplementarität (UF1, E3),</p> <p>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),</p> <p>stellen anhand geeigneter Phänomene dar, wann Licht durch ein Wellenmodell bzw. ein Teilchenmodell beschrieben werden kann (UF1, K3, B1),</p> |                            |                                                                                                                                                                                                                           |
| Heisenberg'sche Unschärferelation<br>(2 Ustd.) | <p>erläutern die Aussagen und die Konsequenzen der Heisenberg'schen Unschärferelation (Ort-Impuls, Energie-Zeit) an Beispielen (UF1, K3),</p> <p>bewerten den Einfluss der Quantenphysik im Hinblick auf Veränderungen des Weltbildes und auf Grundannahmen zur physikalischen Erkenntnis (B4, E7).</p>                                                                                                |                            | Die Heisenberg'sche Unschärferelation kann (aus fachlicher Sicht) plausibel gemacht werden aufgrund des sich aus der Interferenzbedingung ergebenden Querimpulses eines Quantenobjekts, wenn dieses einen Spalt passiert. |
| <b>10 Ustd.</b>                                | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                            |                                                                                                                                                                                                                           |



## 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                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Atomaufbau:</b><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..<br><a href="http://www.schulphysik.de/java/physlet/applets/rutherford.html">http://www.schulphysik.de/java/physlet/applets/rutherford.html</a> ) |
| 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                                                                                                                                                                                                          |

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                          | <b>Experiment / Medium</b> | <b>Kommentar</b>                                 |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------|
| Bohr'sche Postulate<br>(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 |
| <b>10 Ustd.</b>                   | <b>Summe</b>                                                                                                                                   |                            |                                                  |

**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.

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)                             | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                              | <b>Experiment / Medium</b>                              | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ionisierende Strahlung:</b><br><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><br>Nebelkammer | Ggf. Schülermessungen mit Zählrohren (Alltagsgegenstände, Nulleffekt, Präparate etc.)<br><br>Demonstration der Nebelkammer, ggf. Schülerbausatz<br><br>Material zu Halbleiterdetektoren |

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

| Inhalt<br>(Ustd. à 45 min) | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler... | Experiment / Medium | Kommentar |
|----------------------------|------------------------------------------------|---------------------|-----------|
| 14 Ustd.                   | Summe                                          |                     |           |

**Kontext: (Erdgeschichtliche) Altersbestimmungen**

Leitfrage: Wie funktioniert die  $^{14}\text{C}$ -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<br>(Ustd. à 45 min)                              | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                  | Experiment / Medium        | Kommentar                                          |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Radioaktiver Zerfall:</b><br>Kernkräfte<br>(1 Ustd.) | benennen Protonen und Neutronen als Kernbausteine, identifizieren Isotope und erläutern den Aufbau einer Nuklidkarte (UF1),     | Ausschnitt aus Nuklidkarte | Aufbauend auf Physik- und Chemieunterricht der S I |
| Zerfallsprozesse<br>(7 Ustd.)                           | identifizieren natürliche Zerfallsreihen sowie künstlich herbeigeführte Kernumwandlungsprozesse mithilfe der Nuklidkarte (UF2), | Elektronische Nuklidkarte  | Umgang mit einer Nuklidkarte                       |

|  |                                                                                           |                              |                                                                                                                   |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | entwickeln Experimente zur Bestimmung der Halbwertszeit radioaktiver Substanzen (E4, E5), | Radon-Messung im Schulkeller | Siehe <a href="http://www.physik-box.de/radon/radonseite.html">http://www.physik-box.de/radon/radonseite.html</a> |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Experiment / Medium</b>                                             | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   | <p>nutzen Hilfsmittel, um bei radioaktiven Zerfällen den funktionalen Zusammenhang zwischen Zeit und Abnahme der Stoffmenge sowie der Aktivität radioaktiver Substanzen zu ermitteln (K3),</p> <p>leiten das Gesetz für den radioaktiven Zerfall einschließlich eines Terms für die Halbwertszeit her (E6),</p> | <p>(Zentralabitur 2008)</p> <p>Tabellenkalkulation</p> <p>Ggf. CAS</p> | <p>Ggf. Auswertung mit Tabellenkalkulation durch Schüler</p> <p>Linearisierung, Quotientenmethode, Halbwertszeitabschätzung, ggf. logarithmische Auftragung</p> <p>Ansatz analog zur quantitativen Beschreibung von Kondensatorentladungen</p> |
| Altersbestimmung<br>(2 Ustd.)     | bestimmen mithilfe des Zerfallsgesetzes das Alter von Materialien mit der C14-Methode (UF2),                                                                                                                                                                                                                    | Arbeitsblatt                                                           | Ggf. Uran-Blei-Datierung                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>10 Ustd.</b>                   | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                |

**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                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Experiment / Medium              | Kommentar                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kernspaltung und Kernfusion:</b><br><br>Massendefekt, Äquivalenz von Masse und Energie, Bindungsenergie<br><br>(2 Ustd.) | Die Schülerinnen und Schüler...<br><br>bewerten den Massendefekt hinsichtlich seiner Bedeutung für die Gewinnung von Energie (B1),<br><br>bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik (B1), | Video zu Kernwaffenexplosion     | Z.B. YouTube                                                           |
| Kettenreaktion<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 | Videos zum Mausefallenmodell sind im Netz (z.B. bei YouTube) verfügbar |

|                          |                                                                                                                   |                                                      |                                                                        |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Kernspaltung, Kernfusion | beschreiben Kernspaltung und Kernfusion unter Berücksichtigung von Bindungsenergien (quantitativ) und Kernkräften | Diagramm $B/A$ gegen $A$ , Tabellenwerk, ggf. Applet | Z.B. <a href="http://www.leifiphysik.de">http://www.leifiphysik.de</a> |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|



| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min) | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                           | <b>Experiment / Medium</b>                                                                                                 | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                   |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (5 Ustd.)                         | (qualitativ) (UF4),<br>hinterfragen Darstellungen in Medien hinsichtlich technischer und sicherheitsrelevanter Aspekte der Energiegewinnung durch Spaltung und Fusion (B3, K4). | Recherche in Literatur und Internet<br><br>Schülerdiskussion, ggf. Fish Bowl, Amerikanische Debatte, Pro-Kontra-Diskussion | Siehe<br><a href="http://www.sn.schule.de/~sud/methodenkompodium/module/2/1.htm">http://www.sn.schule.de/~sud/methodenkompodium/module/2/1.htm</a> |
| <b>9 Ustd.</b>                    | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                    |                                                                                                                            |                                                                                                                                                    |

**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                                                                                                                                                                    | Experiment / Medium                                   | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kernbausteine und Elementarteilchen<br>(4 Ustd.) | Die Schülerinnen und Schüler...<br><br>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><br>Internet: <a href="http://project-physics-teaching.web.cern.ch/project-physics-teaching/german/">http://project-physics-teaching.web.cern.ch/project-physics-teaching/german/</a><br>Ggf. Schülerreferate |

|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Kernkräfte<br/>Austauschteilchen der<br/>fundamentalen Wechselwirkungen<br/>(4 Ustd.)</p> | <p>vergleichen das Modell der Austauschteilchen im Bereich der Elementarteilchen mit dem Modell des Feldes (Vermittlung, Stärke und Reichweite der Wechselwirkungskräfte) (E6).<br/><br/>erklären an Beispielen Teilchenumwandlungen im Standardmodell mithilfe der Heisenberg'schen Unschärferelation und der Energie-Masse-Äquivalenz (UF1).</p> | <p>Darstellung der Wechselwirkung mit Feynman-Graphen (anhand von Literatur)</p> | <p>Besonderer Hinweis auf andere Sichtweise der „Kraftübertragung“: Feldbegriff vs. Austauschteilchen<br/><br/>Die Bedeutung der Gleichung <math>E=mc^2</math> (den SuS bekannt aus Relativitätstheorie) in Verbindung mit der Heisenberg'schen Unschärferelation in der Form <math>\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar</math> (den SuS bekannt aus Elementen der Quantenphysik) für die Möglichkeit des kurzzeitigen Entstehens von Austauschteilchen ist herauszustellen.</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)                                                                                                                                                     | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                 | <b>Experiment / Medium</b>                                                                                                                                | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aktuelle Forschung und offene Fragen der Elementarteilchenphysik (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“:<br><a href="http://www.youtube.com/watch?v=7VshToyoGI8">http://www.youtube.com/watch?v=7VshToyoGI8</a> | 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><br>Der CERN-Rap gibt eine für Schülerinnen und Schüler motivierend dargestellte Übersicht über die aktuelle Forschung im Bereich der Elementarteilchenphysik |
| <b>11 Ustd.</b>                                                                                                                                                                       | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

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-physics-teaching.web.cern.ch/project-physics-teaching/german/kurzvideos/film6.wmv>

Weitere Filme zum Standardmodell im Netz verfügbar (z.B. bei YouTube)

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-physicssteaching.web.cern.ch/project-physicssteaching/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/>

## Inhaltsfeld: *Relativitätstheorie (LK)*

### Kontext: *Satellitenavigation – 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Experiment / Medium                                                                                             | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                        | Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und Problem der Gleichzeitigkeit<br>Inertialsysteme<br>Relativität der Gleichzeitigkeit<br>(4 Ustd.) | begründen mit dem Ausgang des Michelson-Morley-Experiments die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit (UF4, E5, E6),<br>erläutern das Problem der relativen Gleichzeitigkeit mit in zwei verschiedenen Inertialsystemen jeweils synchronisierten Uhren (UF2),<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 (Video / Film) | Ausgangsproblem: Exaktheit der Positionsbestimmung mit Navigationssystemen<br><br>Begründung der Hypothese von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit mit dem Ausgang des Michelson- und Morley-Experiments (Computersimulation).<br><br>Das Additionstheorem für relativistische Geschwindigkeiten kann ergänzend ohne Herleitung angegeben werden. |
| 4 Ustd.                                                                                                                                | Summe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

**Kontext: Höhenstrahlung**

Leitfrage: Warum erreichen Myonen aus der oberen Atmosphäre 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<br>(Ustd. à 45 min)                                                    | Kompetenzen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Experiment / Medium                                                                                                                             | Kommentar                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                               | Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                    |
| Zeitdilatation und relativistischer Faktor<br>(2 Ustd., zusätzlich 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><br>Myonenzerfall (Experimentepool der Universität – ggfs. Exkursion an eine Universität) | Mit der Lichtuhr wird der relativistische Faktor $\gamma$ hergeleitet.<br><br>Der Myonenzerfall in der Erdatmosphäre dient als eine experimentelle Bestätigung der Zeitdilatation. |

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                               |                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Längenkontraktion<br>(2 Ustd.) | <p>begründen den Ansatz zur Herleitung der Längenkontraktion (E6),</p> <p>erläutern die relativistischen Phänomene Zeitdilatation und Längenkontraktion anhand des Nachweises von in der oberen Erdatmosphäre entstehenden Myonen (UF1),</p> <p>beschreiben Konsequenzen der relativistischen Einflüsse auf Raum und Zeit anhand anschauli-</p> | Myonenzerfall (Experimentepool der Universität – ggfs. Exkursion an eine Universität) – s. o. | <p>Der Myonenzerfall dient als experimentelle Bestätigung der Längenkontraktion (im Vergleich zur Zeitdilatation) – s. o.</p> <p>Herleitung der Formel für die Längenkontraktion</p> |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



|                |                                      |  |  |
|----------------|--------------------------------------|--|--|
|                | cher und einfacher Abbildungen (K3), |  |  |
| <b>4 Ustd.</b> | <b>Summe</b>                         |  |  |

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

Leitfrage: Ist die Masse bewegter Teilchen konstant?

Inhaltliche Schwerpunkte: Relativistische Massenzunahme, Energie-Masse-Beziehung

**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<br>(Ustd. à 45 min)                                | Kompetenzen<br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                          | Experiment / Medium                           | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| „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<br>(anhand von Literatur) | Hier würde sich eine Schülerpräsentation des Bertozzi-Experiments anbieten.<br><br>Der Einfluss der Massenzunahme wird in einer Simulation durch das „Aus-dem-Takt-Geraten“ eines beschleunigten Teilchens im Zyklotron ohne Rechnung veranschaulicht.<br><br>Die Formel für die dynamische Masse wird als deduktiv herleitbar angegeben. |
| 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 Differenz aus dynamischer Masse und Ruhemasse wird als Maß für die kinetische Energie eines Körpers identifiziert.                                                                                                                                                                                                                    |

|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Bindungsenergie im Atomkern</p> <p>Annihilation</p> <p>(2 Ustd.)</p> | <p>beschreiben die Bedeutung der Energie-Masse-Äquivalenz hinsichtlich der Annihilation von Teilchen und Antiteilchen (UF4),</p> <p>bestimmen und bewerten den bei der Annihilation von Teilchen und Antiteilchen frei werdenden Energiebetrag (E7, B1),</p> <p>beurteilen die Bedeutung der Beziehung <math>E=mc^2</math> für Erforschung und technische Nutzung von Kernspaltung und Kernfusion (B1, B3),</p> | <p>Historische Aufnahme von Teilchenbahnen</p> | <p>Interpretation des Zusammenhangs zwischen Bindungsenergie pro Nukleon und der Kernspaltungs- bzw. Kernfusionsenergie bei den entsprechenden Prozessen.</p> <p>Es können Filme zu Hiroshima und Nagasaki eingesetzt werden.</p> <p>Erzeugung und Vernichtung von Teilchen</p> |
| <b>8 Ustd.</b>                                                          | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

**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,

| <b>Inhalt</b><br>(Ustd. à 45 min)                                                                  | <b>Kompetenzen</b><br>Die Schülerinnen und Schüler...                                                                                                                                                                     | <b>Experiment / Medium</b>                                                                                                                                  | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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><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><br>Elemente des Kontextes Satellitennavigation können genutzt werden, um 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><br>Das Zwillingsparadoxon (mit Beschleunigungsphasen und Phasen der gleichförmigen Bewegung<br><br>Film / Video  | An dieser Stelle könnte eine Schülerpräsentation erfolgen (mithilfe der Nutzung von Informationen und Animationen aus dem Internet)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>4 Ustd.</b>                                                                                     | <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

**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>(2 Ustd.) | bewerten Auswirkungen der Relativitätstheorie auf die Veränderung des physikalischen Weltbilds (B4). | Lehrbuchtexte, Internetrecherche | Ggf. Schülervortrag |
| 2 Ustd.                                               | Summe                                                                                                |                                  |                     |

## **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. Die Grundsätze 1 bis 14 beziehen sich auf fachübergreifende Aspekte, die Grundsätze 15 bis 26 sind fachspezifisch angelegt.

### ***Überfachliche Grundsätze:***

Geeignete Problemstellungen zeichnen die Ziele des Unterrichts vor und bestimmen die Struktur der Lernprozesse.  
Inhalt und Anforderungsniveau des Unterrichts entsprechen dem Leistungsvermögen der Schülerinnen und Schüler.  
Die Unterrichtsgestaltung ist auf die Ziele und Inhalte abgestimmt.  
Medien und Arbeitsmittel sind lernernah gewählt.  
Die Schülerinnen und Schüler erreichen einen Lernzuwachs.  
Der Unterricht fördert und fordert eine aktive Teilnahme der Lernenden.  
Der Unterricht fördert die Zusammenarbeit zwischen den Lernenden und bietet ihnen Möglichkeiten zu eigenen Lösungen.  
Der Unterricht berücksichtigt die individuellen Lernwege der einzelnen Schülerinnen und Schüler.  
Die Lernenden erhalten Gelegenheit zu selbstständiger Arbeit und werden dabei unterstützt.  
Der Unterricht fördert strukturierte und funktionale Einzel-, Partner- bzw. Gruppenarbeit sowie Arbeit in kooperativen Lernformen.  
Der Unterricht fördert strukturierte und funktionale Arbeit im Plenum.  
Die Lernumgebung ist vorbereitet; der Ordnungsrahmen wird eingehalten.  
Die Lehr- und Lernzeit wird intensiv für Unterrichtszwecke genutzt.  
Es herrscht ein positives pädagogisches Klima im Unterricht.

### ***Fachliche Grundsätze:***

Der Physikunterricht ist problemorientiert und Kontexten ausgerichtet.  
Der Physikunterricht ist kognitiv aktivierend und verständnisfördernd.  
Der Physikunterricht unterstützt durch seine experimentelle Ausrichtung Lernprozesse bei Schülerinnen und Schülern.  
Der Physikunterricht knüpft an die Vorerfahrungen und das Vorwissen der Lernenden an.  
Der Physikunterricht stärkt über entsprechende Arbeitsformen kommunikative Kompetenzen.  
Der Physikunterricht bietet nach experimentellen oder deduktiven Erarbeitungsphasen immer auch Phasen der Reflexion, in denen der Prozess der Erkenntnisgewinnung bewusst gemacht wird.

- Der Physikunterricht fördert das Einbringen individueller Lösungs-ideen und den Umgang mit unterschiedlichen Ansätzen. Dazu gehört auch eine positive Fehlerkultur.
- Im Physikunterricht wird auf eine angemessene Fachsprache und die Kenntnis grundlegender Formeln geachtet. Schülerinnen und Schüler werden zu regelmäßiger, sorgfältiger und selbstständiger Dokumentation der erarbeiteten Unterrichtsinhalte angehalten.
- Der Physikunterricht ist in seinen Anforderungen und im Hinblick auf die zu erreichenden Kompetenzen und deren Teilziele für die Schüler-rinnen und Schüler transparent.
- Der Physikunterricht bietet immer wieder auch Phasen der Übung und des Transfers auf neue Aufgaben und Problemstellungen.
- Der Physikunterricht bietet die Gelegenheit zum regelmäßigen wiederholenden Üben sowie zu selbstständigem Aufarbeiten von Unterrichtsinhalten.
- Im Physikunterricht wird ein CAS verwendet. Die Messwertauswertung kann per PC erfolgen.

## 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.

### 2.3.1 Überprüfungsformen

In Kapitel 3 des KLP Physik Lehrplan werden Überprüfungsformen angegeben, die Möglichkeiten bieten, Leistungen 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.

### 2.3.2 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.

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

### 2.3.3 Beurteilungsbereich „Sonstige Mitarbeit“

Die Bewertung der sonstigen Mitarbeit orientiert sich an den Vorgaben des Kernlehrplans NRW und umfasst alle im Unterricht erbrachten Leistungen. Bewertet werden sowohl fachliche Kompetenzen als auch methodische, kommunikative und experimentelle Fähigkeiten. Dabei werden der individuelle Lernfortschritt sowie die kontinuierliche Mitarbeit angemessen berücksichtigt.

Insbesondere können folgende Kriterien in die Leistungsbewertung einfließen:



### **2.3.4 Fachkompetenz**

sichere und sachgerechte Anwendung physikalischer Begriffe, Modelle, Gesetze und Prinzipien

verständliche, strukturierte und fachlich korrekte Darstellung physikalischer Zusammenhänge

Anwendung physikalischer Modelle auf neue Problemstellungen

Transfer erworbenen Wissens auf unbekannte Kontexte

mathematisch korrekte Herleitung und Anwendung physikalischer Zusammenhänge

sichere Verwendung von Größen, Einheiten, Symbolen und Formeln

kritische Reflexion physikalischer Ergebnisse und Modelle

### **2.3.5 Erkenntnisgewinnung und Experimentieren**

selbstständige Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten

sicherer, verantwortungsvoller und nachhaltiger Umgang mit Experimentiermaterialien

Einhaltung von Sicherheitsvorschriften

systematische Dokumentation von Beobachtungen und Messergebnissen

sachgerechte Fehleranalyse sowie Bewertung von Messunsicherheiten

Entwicklung und Überprüfung physikalischer Hypothesen

Auswahl geeigneter Untersuchungsmethoden

### **2.3.6 Digitale Kompetenzen**

sachgerechter Einsatz digitaler Messwerterfassungssysteme

Nutzung digitaler Werkzeuge (z. B. **Phyphox**, **Tracker**, Tabellenkalkulation, CAS, Simulationen)

Auswertung und Visualisierung von Messdaten mithilfe digitaler Anwendungen

Erstellung digitaler Versuchsprotokolle und Dokumentationen

reflektierter und verantwortungsvoller Einsatz von Künstlicher Intelligenz als Lern- und Recherchewerkzeug

kritische Bewertung KI-generierter Inhalte hinsichtlich fachlicher Richtigkeit und wissenschaftlicher Qualität

Einhaltung wissenschaftlicher Standards beim Zitieren und Kennzeichnen digitaler Hilfsmittel

### **2.3.7 Kommunikation und Kooperation**

aktive und konstruktive Beteiligung am Unterrichtsgespräch

adressatengerechte Darstellung physikalischer Sachverhalte

fachlich fundierte Argumentation und Begründung eigener Aussagen

konstruktive Mitarbeit in Partner- und Gruppenarbeitsphasen

wertschätzender Umgang mit unterschiedlichen Lösungswegen

Fähigkeit, Feedback zu geben und anzunehmen

konstruktiver Umgang mit Fehlern als Bestandteil des Lernprozesses

### **2.3.8 Präsentation und Dokumentation**

strukturierte und verständliche Präsentation von Arbeitsergebnissen

zielgruppenorientierter Einsatz analoger und digitaler Medien

Qualität von Versuchsprotokollen, Portfolios, Lernjournalen und Projektarbeiten

nachvollziehbare Dokumentation von Arbeitsprozessen

anschauliche Darstellung von Daten, Diagrammen und Modellen

### **2.3.9 Problemlösen und Kreativität**

Entwicklung eigener Lösungsstrategien

kreative Anwendung physikalischer Konzepte

Offenheit gegenüber alternativen Lösungswegen

eigenständige Planung und Umsetzung kleiner Forschungs- und Entwicklungsaufgaben

Einbringen innovativer Ideen in experimentelle und projektorientierte Arbeitsphasen

### **2.3.10 Selbstständigkeit und Arbeitsorganisation**

zuverlässige Vor- und Nachbereitung des Unterrichts

zielgerichtetes Beschaffen, Bewerten und Nutzen von Informationen aus analogen und digitalen Quellen

eigenverantwortliche Organisation von Arbeitsprozessen

sorgfältige und termingerechte Bearbeitung von Aufgaben

kontinuierliche Lernbereitschaft und Reflexionsfähigkeit

### **2.3.11 Kurze schriftliche Lernstandsüberprüfungen**

Kurze schriftliche Überprüfungen können ergänzend zur Unterrichtsarbeit durchgeführt werden. Sie beziehen sich auf die Inhalte weniger vorangegangener Unterrichtsstunden und dienen der Diagnose des Lernstandes. Bewertet werden insbesondere:

fachliche Richtigkeit,

Vollständigkeit,

angemessene Verwendung der Fachsprache,

nachvollziehbare Lösungswege,

mathematische und physikalische Argumentation.

### **2.3.12 Beurteilungsbereich Klausuren**

Verbindliche Absprache:

Die Aufgaben für Klausuren in parallelen Kursen werden im Vorfeld abge-

sprochen und nach Möglichkeit gemeinsam gestellt.

Für Aufgabenstellungen mit experimentellem Anteil gelten die Regelungen, die in Kapitel 3 des KLP formuliert sind.

Dauer und Anzahl richten sich nach den Angaben der APO-GOST.

Einführungsphase:

1 Klausur im ersten Halbjahr (90 Minuten), im zweiten Halbjahr werden 2 Klausuren (je 90 Minuten) geschrieben.

Qualifikationsphase 1:

2 Klausuren pro Halbjahr (je 135 Minuten im GK und je 180 Minuten im LK), wobei in einem Fach die letzte Klausur im 2. Halbjahr durch 1 Facharbeit ersetzt werden kann bzw. muss.

Qualifikationsphase 2.1:

2 Klausuren (je 135 Minuten im GK und je 180 Minuten im LK)

Qualifikationsphase 2.2:

1 Klausur, die – was den formalen Rahmen angeht – unter Abiturbedingungen geschrieben wird.

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

Die Leistungsbewertung in den **Klausuren** wird mit Blick auf die schriftliche Abiturprüfung mit Hilfe eines Kriterienrasters zu den Teilleistungen durchgeführt. Dieses Kriterienraster kann den korrigierten Klausuren beigefügt oder bei der Besprechung den Schülerinnen und Schülern transparent gemacht werden.

Die Zuordnung der Hilfspunkte zu den Notenstufen orientiert sich in der Qualifikationsphase am Zuordnungsschema des Zentralabiturs. Die Note ausreichend soll bei Erreichen von ca. 50 % der Hilfspunkte erteilt werden. Von dem Zuordnungsschema kann abgewichen werden, wenn sich z.B. besonders originelle Teillösungen nicht durch Hilfspunkte gemäß den Kriterien des Erwartungshorizonts abbilden lassen oder eine Abwertung wegen besonders schwacher Darstellung angemessen erscheint.

### 2.3.13 Grundsätze der Leistungsrückmeldung und Beratung

Für Präsentationen, Arbeitsprotokolle, Dokumentationen und andere **Lernprodukte der sonstigen Mitarbeit** erfolgt eine Leistungsrückmeldung, bei der inhalts- und darstellungsbezogene Kriterien angesprochen werden. Hier werden zentrale Stärken als auch Optimierungsperspektiven für jede Schülerin bzw. jeden Schüler hervorgehoben.

Die Leistungsrückmeldungen bezogen auf die **mündliche Mitarbeit** erfolgen auf Nachfrage der Schülerinnen und Schüler außerhalb der Unterrichtszeit, spätestens aber in Form von mündlichem Quartalsfeedback oder Eltern-/Schülersprechtagen. Auch hier erfolgt eine individuelle Beratung im Hinblick auf Stärken und Verbesserungsperspektiven.

### **2.3.14 Mündliche Abiturprüfungen**

Auch für das mündliche Abitur (im 4. Fach oder bei Abweichungs- bzw. Bestehensprüfungen im 1. bis 3. Fach) wird ein Kriterienraster für den ersten und zweiten Prüfungsteil vorgelegt, 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 wird an der Schule derzeit das Schulbuch Dorn-Bader Einführungsphase (Schroedel 11800 ) für die Stufe 10 als Schulbuch eingeführt. Für die Qualifikationsphase ist das Buch Metzler-Physik (Schroedel) eingeführt.

Die Schülerinnen und Schüler arbeiten die im Unterricht behandelten Inhalte in häuslicher Arbeit nach.

Zu ihrer Unterstützung erhalten sie dazu (optional):

zusätzliche fotokopierte Übungsaufgaben oder Übungssammlungen oder/und

ein Unterrichtsprotokoll, das für jede Stunde von jeweils einer Mitschülerin bzw. einem Mitschüler angefertigt und dem Kurs zur Verfügung gestellt wird (eher LK)

Unterstützende Materialien sind auch im *Lehrplannavigator* des NRW-Bildungsportals angegeben. Verweise darauf finden sich über Links in den HTML-Fassungen des Kernlehrplans und des Musters für einen Schulinternen Lehrplan. Den *Lehrplannavigator* findet man für das Fach Physik unter:

<http://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-ii/gymnasiale-oberstufe/physik/>

### 3 Entscheidungen zu fach- und unterrichtsübergreifenden Fragen

Die Fachkonferenz Physik hat sich im Rahmen des Schulprogramms für folgende zentrale Schwerpunkte entschieden:

#### 3.1 Zusammenarbeit mit anderen Fächern

Durch die unterschiedliche Belegung von Fächern können Schülerinnen und Schüler Aspekte aus anderen Kursen mit in den Physikunterricht einfließen lassen. Es wird Wert darauf gelegt, dass in bestimmten Fragestellungen die Expertise einzelner Schülerinnen und Schüler gesucht wird, die aus einem von ihnen belegten Fach genauere Kenntnisse mitbringen und den Unterricht dadurch bereichern.

.

#### 3.2 Vorbereitung auf die Erstellung der Facharbeit

Um eine einheitliche Grundlage für die Erstellung und Bewertung der Facharbeiten in der Jahrgangsstufe Q1 zu gewährleisten, findet im Vorfeld des Bearbeitungszeitraums ein fachübergreifender **Methodentag** statt, gefolgt von einem Besuch einer (Universitäts-)Bibliothek. Die Schule hat schulinterne Richtlinien für Erstellung einer Facharbeit angefertigt, die die unterschiedlichen Arbeitsweisen in den wissenschaftlichen Fachbereichen berücksichtigen. Im Verlauf des Projekttag werden den Schülerinnen und Schülern in einer zentralen Veranstaltung und in Gruppen diese schulinternen Richtlinien vermittelt.

#### 3.3 Exkursionen

In der gymnasialen Oberstufe sollen in Absprache mit der Stufenleitung nach Möglichkeit unterrichtsbegleitende Exkursionen durchgeführt werden. Diese sollen im Unterricht vor- bzw. nachbereitet werden. Die Fachkonferenz hält folgende Exkursionen für sinnvoll:

EF 1: Besuch des Schülerlabors der FH Köln (Deutz)

EF 2: Besuch eines Planetariums

Q1.1: Besuch des Schülerlabors der FH Köln

Q2.1: Besuch eines Teilchenbeschleunigers (Uni Bonn)

Q2.1 oder 2.2 : Besuch einer Physikveranstaltung einer Universität am Tag der offenen Tür, oder z. B. „Weihnachtsvorlesung“ des Phys. Inst. der Uni Köln



## **4 Qualitätssicherung und Evaluation**

### **4.1 Evaluation des schulinternen Curriculums**

Das schulinterne Curriculum stellt keine starre Größe dar, sondern ist als „lebendes Dokument“ zu betrachten. Dementsprechend werden die Inhalte stetig überprüft, um ggf. Modifikationen vornehmen zu können. Die Fachkonferenz trägt durch diesen Prozess zur Qualitätsentwicklung und damit zur Qualitätssicherung des Faches Physik bei.

Die Evaluation erfolgt jährlich. Zu Schuljahresbeginn werden die Erfahrungen des vergangenen Schuljahres in der Fachschaft gesammelt, bewertet und eventuell notwendige Konsequenzen und Handlungsschwerpunkte formuliert.

### **4.2 Fachgruppenarbeit**

Die folgende Checkliste dient dazu, den Ist-Zustand bzw. auch Handlungsbedarf 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 überarbeitet und angepasst. Sie dient auch dazu, Handlungsschwerpunkte für die Fachgruppe zu identifizieren und abzusprechen.

| Bedingungen und Planungen der Fachgruppenarbeit                                                               |                         | Ist-Zustand<br>Auffälligkeiten | Änderungen/<br>Konsequenzen/<br>Perspektivplanung | Wer<br>(Verantwortlich) | Bis wann<br>(Zeitraumen) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| <b>Funktionen</b>                                                                                             |                         |                                |                                                   |                         |                          |
| Fachvorsitz                                                                                                   |                         |                                |                                                   |                         |                          |
| Stellvertretung                                                                                               |                         |                                |                                                   |                         |                          |
| Sammlungsleitung                                                                                              |                         |                                |                                                   |                         |                          |
| Strahlenschutzbeauftragungen                                                                                  |                         |                                | Fristen beachten!                                 |                         |                          |
| Sonstige Funktionen<br><small>(im Rahmen der schulprogrammatischen fächerübergreifenden Schwerpunkte)</small> |                         |                                |                                                   |                         |                          |
| <b>Ressourcen</b>                                                                                             |                         |                                |                                                   |                         |                          |
| personell                                                                                                     | Fachlehrkräfte          |                                |                                                   |                         |                          |
|                                                                                                               | fachfremd               |                                |                                                   |                         |                          |
|                                                                                                               | Lerngruppen             |                                |                                                   |                         |                          |
|                                                                                                               | Lerngruppengröße        |                                |                                                   |                         |                          |
|                                                                                                               | ...                     |                                |                                                   |                         |                          |
| räumlich                                                                                                      | Fachräume               |                                |                                                   |                         |                          |
|                                                                                                               | Bibliothek              |                                |                                                   |                         |                          |
|                                                                                                               | Computerraum            |                                |                                                   |                         |                          |
|                                                                                                               | Raum für Fachteamarbeit |                                |                                                   |                         |                          |
|                                                                                                               | Sammlungsraum           |                                |                                                   |                         |                          |
| materiell/<br>sachlich                                                                                        | Lehrwerke               |                                |                                                   |                         |                          |
|                                                                                                               | Fachzeitschriften       |                                |                                                   |                         |                          |

|  |                            |  |  |  |  |
|--|----------------------------|--|--|--|--|
|  | Ausstattung mit Demonstra- |  |  |  |  |
|--|----------------------------|--|--|--|--|

|                                                  |                                     |  |  |  |  |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|
|                                                  | tionsexperimenten                   |  |  |  |  |
|                                                  | Ausstattung mit Schülerexperimenten |  |  |  |  |
| zeitlich                                         | Abstände Fachteamarbeit             |  |  |  |  |
|                                                  | Dauer Fachteamarbeit                |  |  |  |  |
|                                                  |                                     |  |  |  |  |
| <b>Unterrichtsvorhaben</b>                       |                                     |  |  |  |  |
|                                                  |                                     |  |  |  |  |
|                                                  |                                     |  |  |  |  |
|                                                  |                                     |  |  |  |  |
|                                                  |                                     |  |  |  |  |
|                                                  |                                     |  |  |  |  |
| <b>Leistungsbewertung/<br/>Einzelinstrumente</b> |                                     |  |  |  |  |
| Klausuren                                        |                                     |  |  |  |  |
| Facharbeiten                                     |                                     |  |  |  |  |
| <b>Kurswahlen</b>                                |                                     |  |  |  |  |
| Grundkurse                                       |                                     |  |  |  |  |
| Leistungskurse                                   |                                     |  |  |  |  |
| Projektkurse                                     |                                     |  |  |  |  |
| <b>Leistungsbewertung/Grundsätze</b>             |                                     |  |  |  |  |
| sonstige Mitarbeit                               |                                     |  |  |  |  |
|                                                  |                                     |  |  |  |  |
| <b>Arbeitsschwerpunkt(e) SE</b>                  |                                     |  |  |  |  |
| <b>fachintern</b>                                |                                     |  |  |  |  |

|                                  |  |  |  |  |
|----------------------------------|--|--|--|--|
| - kurzfristig (Halbjahr)         |  |  |  |  |
| - mittelfristig (Schuljahr)      |  |  |  |  |
| - langfristig                    |  |  |  |  |
| <b>fachübergreifend</b>          |  |  |  |  |
| - kurzfristig                    |  |  |  |  |
| - mittelfristig                  |  |  |  |  |
| - langfristig                    |  |  |  |  |
| ...                              |  |  |  |  |
| <b>Fortbildung</b>               |  |  |  |  |
| <b>Fachspezifischer Bedarf</b>   |  |  |  |  |
| - kurzfristig                    |  |  |  |  |
| - mittelfristig                  |  |  |  |  |
| - langfristig                    |  |  |  |  |
| <b>Fachübergreifender Bedarf</b> |  |  |  |  |
| - kurzfristig                    |  |  |  |  |
| - mittelfristig                  |  |  |  |  |
| - langfristig                    |  |  |  |  |
| ...                              |  |  |  |  |
|                                  |  |  |  |  |
|                                  |  |  |  |  |