



## **Schulinterner Lehrplan zum Kernlehrplan für die gymnasiale Oberstufe**

# **Physik**

Stand: Juni 2016

## Inhalt

	Seite
1. Das Fach Physik in der gymnasialen Oberstufe der Gesamtschule Aachen-Brand: Rahmenbedingungen der fachlichen Arbeit	3
2. Entscheidungen zum Unterricht	4
2.1 Unterrichtsvorhaben	4
2.1.1 Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben	5
2.1.2 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben	12
2.1.2.1 Einführungsphase	12
2.1.2.2 Qualifikationsphase: Grundkurs	17
2.1.2.3 Qualifikationsphase: Leistungskurs	44
2.2 Grundsätze der fachmethodischen und fachdidaktischen Arbeit im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe	98
2.3 Grundsätze der Leistungsbewertung und Leistungsrückmeldung	100
2.4 Lehr- und Lernmittel	103
3. Entscheidungen zu fach- und unterrichtsübergreifenden Fragen	104
4. Qualitätssicherung und Evaluation	105

## **1. Das Fach Physik in der gymnasialen Oberstufe der Gesamtschule Aachen-Brand: Rahmenbedingungen der fachlichen Arbeit**

In der Gesamtschule Aachen-Brand unterrichten zurzeit ca. 120 Lehrerinnen und Lehrer etwa 1300 Schülerinnen und Schüler, die teils aus dem Stadtteil des Schulstandorts, teils aus einem größeren Einzugsbereich stammen, der auch Stolberg und Roetgen umfasst. In den Jahrgängen der Oberstufe sind jeweils ca. 100 Schülerinnen und Schüler. Die Schülerschaft ist heterogen zusammengesetzt. Etwa ein Drittel jedes Oberstufenjahrgangs kommt mit dem mittleren Schulabschluss FORQ meist von Realschulen, seltener Hauptschulen oder nach Klasse 9 von Gymnasien in unsere Oberstufe. Die Vorkenntnisse dieser Schülerinnen und Schüler im Fach Physik sind sehr unterschiedlich.

Umso wichtiger ist die individuelle Förderung, die zu den wesentlichen Leitziele der Schule gehört. Die Fachgruppe Physik versucht, alle Lernenden mit ihren unterschiedlichen Voraussetzungen in ihrer Kompetenzentwicklung möglichst weit zu bringen und bei ihnen Interesse an einem naturwissenschaftlich geprägten Studium oder Beruf zu wecken, insbesondere im Bereich der Physik und der Ingenieurwissenschaften. Dabei ist uns die Förderung von Mädchen und jungen Frauen ein besonderes Anliegen. Die Bildung von geschlechtshomogenen Lerngruppen im Wahlpflichtfach Naturwissenschaften der Sekundarstufe I (Stufe 6 bis 10) soll dazu beitragen, dass Mädchen Selbstbewusstsein und Vertrauen in ihre Stärken auf diesen Gebieten entwickeln.

Unterrichts- und Erziehungsfragen werden in jahrgangsbezogenen Lehrerteams abgestimmt. Fachteams erarbeiten gemeinsam Materialien für die Fächer auf Stufenebene. Der Unterricht wird – soweit möglich – auf der Stufenebene parallelisiert. Die Fachkolleg/innen tauschen sich regelmäßig aus über Inhalte, methodische Herangehensweisen und fachdidaktische Probleme. Dazu nutzen sie die digitale Plattform im schulinternen Netz.

Die Ausstattung mit experimentiergeeigneten Fachräumen und mit Materialien ist gut. Der Etat für Neuanschaffungen und Reparaturen ist in den meisten Jahren ausreichend. Fast alle der im Lehrplan der Sekundarstufe II vorgesehenen Demonstrationsexperimente sind vorhanden. Die Experimente können ergänzt werden durch computergestützte Simulationen und Animationen. Die Ausstattung mit neuen Medien in den Fachräumen ist zufriedenstellend: Es gibt ein Smartboard und 4 individuelle Computerarbeitsplätze in den Unterrichtsräumen sowie einen NW- EDV-Raum mit 16 Arbeitsplätzen. Bei einer Reihe von Versuchen ist die Erfassung von Daten und Messwerten mit modernen digitalen Medien möglich. Für die graphische Auswertung steht ein grafikfähiger Taschenrechner zur Verfügung.

Das Fach Physik ist in der Einführungsphase in der Regel mit zwei Grundkursen, in der Qualifikationsphase meist mit einem Grundkurs und einem Leistungskurs vertreten.

## 2. Entscheidungen zum Unterricht

### 2.1 Unterrichtsvorhaben

Die Darstellung der Unterrichtsvorhaben im schulinternen Lehrplan besitzt den Anspruch, sämtliche im Kernlehrplan angeführten Kompetenzen abzudecken. 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 im schulinternen Lehrplan erfolgt auf zwei Ebenen: der Übersichts- und der Konkretisierungsebene.

Das Kapitel „Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben“ stellt die für alle Lehrerinnen und Lehrer gemäß Fachkonferenzbeschluss verbindliche Verteilung der Unterrichtsvorhaben im Physikunterricht der Sekundarstufe 2 dar. Es dient dazu, den Kolleginnen und Kollegen einen schnellen Überblick über die Zuordnung der Unterrichtsvorhaben zu den einzelnen Jahrgangsstufen sowie den im Kernlehrplan genannten Kompetenzen, Inhaltsfeldern und inhaltlichen Schwerpunkten sowie in der Fachkonferenz verabredeten verbindlichen Kontexten zu verschaffen.

Um Klarheit für die Lehrkräfte herzustellen und die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, werden in der Kategorie „Kompetenzen“ an dieser Stelle nur die übergeordneten Kompetenzerwartungen ausgewiesen, während die konkretisierten Kompetenzerwartungen erst auf der Ebene konkretisierter Unterrichtsvorhaben Berücksichtigung finden. Der ausgewiesene Zeitbedarf versteht sich als grobe Orientierungsgröße, die nach Bedarf über- oder unterschritten werden kann. Um Spielraum für Vertiefungen, besondere Schülerinteressen, aktuelle Themen bzw. die Erfordernisse anderer besonderer Ereignisse (z.B. Praktika, Kursfahrten o.ä.) zu erhalten, wurden im Rahmen dieses schulinternen Lehrplans ca. 75 Prozent der Bruttounterrichtszeit verplant.

## 2.1.1 Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben

### Verteilung der Inhaltsfelder auf die Halbjahre in der EF

EF 1	IF1: Mechanik
EF 2	IF1: Mechanik

### Verteilung der Inhaltsfelder auf die Halbjahre in Q1 und Q2

	GK	LK
Q1.1	IF2: Quantenobjekte	IF3: Elektrik IF2: Relativitätstheorie
Q1.2	IF3: Elektrodynamik	
Q2.1	IF4: Strahlung und Materie	IF4: Quantenphysik IF5: Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik
Q2.2	IF5: Relativität von Raum und Zeit	

### Übersicht über die Kontexte und inhaltlichen Schwerpunkte in der Einführungsphase

	Kontexte	Inhaltliche Schwerpunkte
EF 1	Bewegungen im Straßenverkehr und im Sport	Kräfte und Bewegungen, Energie und Impuls
EF 2	Bewegungen im Weltraum Bewegungen im Wasser und in der Erde	Gravitation, Kräfte und Bewegungen, Energie und Impuls Schwingungen und Wellen, Kräfte und Bewegungen

Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q1) – GRUNDKURS		
Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
<p><i>Erforschung des Photons</i></p> <p>Wie kann das Verhalten von Licht beschrieben und erklärt werden?</p> <p>Zeitbedarf: 14 Ustd.</p>	<p><i>Quantenobjekte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Photon (Wellenaspekt)</li> </ul>	<p>E2 Wahrnehmung und Messung</p> <p>E5 Auswertung</p> <p>K3 Präsentation</p>
<p><i>Erforschung des Elektrons</i></p> <p>Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden?</p> <p>Zeitbedarf: 15 Ustd.</p>	<p><i>Quantenobjekte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektron (Teilchenaspekt)</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe</p> <p>UF3 Systematisierung</p> <p>E5 Auswertung</p> <p>E6 Modelle</p>
<p><i>Photonen und Elektronen als Quantenobjekte</i></p> <p>Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?</p> <p>Zeitbedarf: 5 Ustd.</p>	<p><i>Quantenobjekte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektron und Photon (Teilchenaspekt, Wellenaspekt)</li> <li>• Quantenobjekte und ihre Eigenschaften</li> </ul>	<p>E6 Modelle</p> <p>E7 Arbeits- und Denkweisen</p> <p>K4 Argumentation</p> <p>B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><i>Energieversorgung und Transport mit Generatoren und Transformatoren</i></p> <p>Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden?</p> <p>Zeitbedarf: 18 Ustd.</p>	<p><i>Elektrodynamik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spannung und elektrische Energie</li> <li>• Induktion</li> <li>• Spannungswandlung</li> </ul>	<p>UF2 Auswahl</p> <p>UF4 Vernetzung</p> <p>E2 Wahrnehmung und Messung</p> <p>E5 Auswertung</p> <p>E6 Modelle</p> <p>K3 Präsentation</p> <p>B1 Kriterien</p>
<p><i>Wirbelströme im Alltag</i></p> <p>Wie kann man Wirbelströme technisch nutzen?</p> <p>Zeitbedarf: 4 Ustd.</p>	<p><i>Elektrodynamik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Induktion</li> </ul>	<p>UF4 Vernetzung</p> <p>E5 Auswertung</p> <p>B1 Kriterien</p>
<p><u>Summe Qualifikationsphase (Q1) – GRUNDKURS: 56 Stunden</u></p>		

<b>Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q2) – GRUNDKURS</b>		
Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
<p><i>Erforschung des Mikro- und Makrokosmos</i>  Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie?  Zeitbedarf: 13 Ustd.</p>	<p><i>Strahlung und Materie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energiequantelung der Atomhülle</li> <li>• Spektrum der elektromagnetischen Strahlung</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe  E5 Auswertung  E2 Wahrnehmung und Messung</p>
<p><i>Mensch und Strahlung</i>  Wie wirkt Strahlung auf den Menschen?  Zeitbedarf: 9 Ustd.</p>	<p><i>Strahlung und Materie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kernumwandlungen</li> <li>• Ionisierende Strahlung</li> <li>• Spektrum der elektromagnetischen Strahlung</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe  B3 Werte und Normen  B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><i>Forschung am CERN und DESY</i>  Was sind die kleinsten Bausteine der Materie?  Zeitbedarf: 6 Ustd.</p>	<p><i>Strahlung und Materie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Standardmodell der Elementarteilchen</li> </ul>	<p>UF3 Systematisierung  E6 Modelle</p>
<p><i>Navigationssysteme</i>  Welchen Einfluss hat Bewegung auf den Ablauf der Zeit?  Zeitbedarf: 5 Ustd.</p>	<p><i>Relativität von Raum und Zeit</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konstanz der Lichtgeschwindigkeit</li> <li>• Zeitdilatation</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe  E6 Modelle</p>
<p><i>Teilchenbeschleuniger</i>  Ist die Masse bewegter Teilchen konstant?  Zeitbedarf: 6 Ustd.</p>	<p><i>Relativität von Raum und Zeit</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Veränderlichkeit der Masse</li> <li>• Energie-Masse Äquivalenz</li> </ul>	<p>UF4 Vernetzung  B1 Kriterien</p>
<p><i>Das heutige Weltbild</i>  Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt?  Zeitbedarf: 2 Ustd.</p>	<p><i>Relativität von Raum und Zeit</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konstanz der Lichtgeschwindigkeit</li> <li>• Zeitdilatation</li> <li>• Veränderlichkeit der Masse</li> <li>• Energie-Masse Äquivalenz</li> </ul>	<p>E7 Arbeits- und Denkweisen  K3 Präsentation</p>
<p><u>Summe Qualifikationsphase (Q2) – GRUNDKURS: 41 Stunden</u></p>		

### Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q1) – LEISTUNGSKURS

Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
<p><i>Untersuchung von Elektronen</i></p> <p>Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden?</p> <p>Zeitbedarf: 24 Ustd.</p>	<p><i>Elektrik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eigenschaften elektrischer Ladungen und ihrer Felder</li> <li>Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe</p> <p>UF2 Auswahl</p> <p>E6 Modelle</p> <p>K3 Präsentation</p> <p>B1 Kriterien</p> <p>B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><i>Aufbau und Funktionsweise wichtiger Versuchs- und Messapparaturen</i></p> <p>Wie und warum werden physikalische Größen meistens elektrisch erfasst und wie werden sie verarbeitet?</p> <p>Zeitbedarf: 22 Ustd.( - ca. 8)</p>	<p><i>Elektrik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eigenschaften elektrischer Ladungen und ihrer Felder</li> <li>Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern</li> <li>OHNE KONDENSATOR!</li> </ul>	<p>UF2 Auswahl</p> <p>UF4 Vernetzung</p> <p>E1 Probleme und Fragestellungen</p> <p>E5 Auswertung</p> <p>E6 Modelle</p> <p>K3 Präsentation</p> <p>B1 Kriterien</p> <p>B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><i>Teilchenbeschleuniger - Warum Teilchen aus dem Takt geraten</i></p> <p>Ist die Masse bewegter Teilchen konstant?</p> <p>Zeitbedarf: 8 Ustd.</p>	<p><i>Relativitätstheorie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Relativistische Massenzunahme</li> <li>Energie-Masse-Beziehung</li> </ul>	<p>UF4 Vernetzung</p> <p>B1 Kriterien</p>
<p><i>Satellitenavigation – Zeitmessung ist nicht absolut</i></p> <p>Welchen Einfluss hat Bewegung auf den Ablauf der Zeit?</p> <p>Zeitbedarf: 4 Ustd.</p>	<p><i>Relativitätstheorie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Konstanz der Lichtgeschwindigkeit</li> <li>Problem der Gleichzeitigkeit</li> </ul>	<p>UF2 Auswahl</p> <p>E6 Modelle</p>



<p><i>Höhenstrahlung</i></p> <p>Warum erreichen Myonen aus der oberen Atmosphäre die Erdoberfläche?</p> <p>Zeitbedarf: 4 Ustd.</p>	<p><i>Relativitätstheorie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitdilatation und Längenkontraktion</li> </ul>	<p>E5 Auswertung</p> <p>K3 Präsentation</p>
<p><i>Satellitenavigation – Zeitmessung unter dem Einfluss von Geschwindigkeit und Gravitation</i></p> <p>Beeinflusst Gravitation den Ablauf der Zeit?</p> <p>Zeitbedarf: 4 Ustd.</p>	<p><i>Relativitätstheorie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung</i></li> </ul> <p><i>Video: Quarks&amp;Co!</i></p>	<p>K3 Präsentation</p>
<p><i>Das heutige Weltbild</i></p> <p>Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt?</p> <p>Zeitbedarf: 4 Ustd.</p>	<p><i>Relativitätstheorie</i></p>	<p>B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><i>Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie</i></p> <p>Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden?</p> <p>Zeitbedarf: 22 Ustd.(+ ca.8)</p>	<p><i>Elektrik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Kondensator als Speicher für elektrische Energie</li> <li>• Elektromagnetische Induktion</li> </ul>	<p>UF2 Auswahl</p> <p>E6 Modelle</p> <p>B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><i>Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübermittlung</i></p> <p>Wie können Nachrichten ohne Materietransport übermittelt werden?</p> <p>Zeitbedarf: 28 Ustd.</p>	<p><i>Elektrik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektromagnetische Schwingungen und Wellen</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe</p> <p>UF2 Auswahl</p> <p>E4 Untersuchungen und Experimente</p> <p>E5 Auswertung</p> <p>E6 Modelle</p> <p>K3 Präsentation</p> <p>B1 Kriterien</p> <p>B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><u>Summe Qualifikationsphase (Q1) – LEISTUNGSKURS: 120 Stunden</u></p>		

### Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q2) – LEISTUNGSKURS

Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
<p><i>Erforschung des Photons</i> Besteht Licht doch aus Teilchen? Zeitbedarf: 10 Ustd.</p>	<p><i>Quantenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Licht und Elektronen als Quantenobjekte</li> <li>• Welle-Teilchen-Dualismus</li> <li>• Quantenphysik und klassische Physik</li> </ul>	<p>UF2 Auswahl E6 Modelle E7 Arbeits- und Denkweisen</p>
<p><i>Röntgenstrahlung, Erforschung des Photons</i> Was ist Röntgenstrahlung? Zeitbedarf: 9 Ustd.</p>	<p><i>Quantenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Licht und Elektronen als Quantenobjekte</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe E6 Modelle</p>
<p><i>Erforschung des Elektrons</i> Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden? Zeitbedarf: 6 Ustd.</p>	<p><i>Quantenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Welle-Teilchen-Dualismus</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe K3 Präsentation</p>
<p><i>Die Welt kleinster Dimensionen – Mikroobjekte und Quantentheorie</i> Was ist anders im Mikrokosmos? Zeitbedarf: 10 Ustd.</p>	<p><i>Quantenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Welle-Teilchen-Dualismus und Wahrscheinlichkeitsinterpretation</li> <li>• Quantenphysik und klassische Physik</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe E7 Arbeits- und Denkweisen</p>
<p><i>Geschichte der Atommodelle, Lichtquellen und ihr Licht</i> Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie? Zeitbedarf: 10 Ustd.</p>	<p><i>Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atomaufbau</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe E5 Auswertung E7 Arbeits- und Denkweisen</p>
<p><i>Physik in der Medizin (Bildgebende Verfahren, Radiologie)</i> Wie nutzt man Strahlung in der Medizin? Zeitbedarf: 14 Ustd.</p>	<p><i>Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ionisierende Strahlung</li> <li>• Radioaktiver Zerfall</li> </ul>	<p>UF3 Systematisierung E6 Modelle UF4 Vernetzung</p>
<p><i>(Erdgeschichtliche) Altersbestimmungen</i> Wie funktioniert die 14C-Methode? Zeitbedarf: 10 Ustd.</p>	<p><i>Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Radioaktiver Zerfall</li> </ul>	<p>UF2 Auswahl E5 Auswertung</p>

<p><i>Energiegewinnung durch nukleare Prozesse</i>  Wie funktioniert ein Kernkraftwerk?  Zeitbedarf: 9 Ustd.</p>	<p><i>Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kernspaltung und Kernfusion</li> <li>• Ionisierende Strahlung</li> </ul>	<p>B1 Kriterien  UF4 Vernetzung</p>
<p><i>Forschung am CERN und DESY – Elementarteilchen und ihre fundamentalen Wechselwirkungen</i>  Was sind die kleinsten Bausteine der Materie?  Zeitbedarf: 11 Ustd.</p>	<p><i>Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen</li> </ul>	<p>UF3 Systematisierung  K2 Recherche</p>
<p><u>Summe Qualifikationsphase (Q2) – LEISTUNGSKURS: 89 Stunden</u></p>		

## 2.1.2 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben

### 2.1.2.1 Einführungsphase

Einführungsphase	Inhaltsfeld: Mechanik	Zugrundeliegendes Schulbuch Dorn Bader
<b>Kontext 1: Bewegungen im Straßenverkehr und im Sport</b>		
<b>Inhaltliche Schwerpunkte: Kräfte und Bewegungen, Energie und Impuls</b>		

<b>Zeitraum</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...</b>	<b>Experimente/ Medien</b>	<b>Vorhabenbezogene Absprachen und Empfehlungen und Instrumente der Leistungsbewertung</b>
1 UE	Beschreiben von Bewegungen	<p>... unterscheiden gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen und unterscheiden zugrundeliegende Ursachen. (UF2)</p> <p>... planen selbstständig Experimente zur quantitativen und qualitativen Untersuchung einfacher Bewegungen. (E1)</p> <p>... beachten kriteriengeleitet. (E2)</p>	<p><i>Bewegungsdiagramm als Modell der Wirklichkeit</i></p> <p>Einstieg: Bewegungen nach vereinfachten t-s- und t-v-Diagrammen ausführen und kritisch hinterfragen.</p> <p>Unterscheidung der Bewegungstypen</p> <p>Entwicklung von Messkonzepten</p>	

	<p><b>Analyse von linearen Bewegungen</b></p>	<p>... erläutern die Größen Position, Strecke, Geschwindigkeit und Beschleunigung und ihre Beziehungen zueinander an unterschiedlichen Beispielen. (UF2,UF4)</p> <p>... stellen Daten in Tabellen und sinnvollen skalierten Diagrammen von Hand und mit digitalen Werkzeugen angemessen präzise dar. (K1, K3)</p> <p>... erschließen und überprüfen mit Messdaten und Diagrammen funktionale Beziehungen zwischen mechanischen Größen. (E5)</p> <p>... bestimmen mechanische Größen mit mathematischen Verfahren und mithilfe digitaler Werkzeuge. (E6)</p> <p>... entscheiden begründet, welche Größen bei der Analyse von Bewegungen zu berücksichtigen und zu vernachlässigen sind. (E1,E4)</p>	<p>Unterscheidung von gleichförmiger und beschleunigter Bewegung.</p> <p>Einführung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung.</p> <p>t-s-Diagramme interpretieren und selber erstellen</p> <p>Realisierung einer möglichst idealen Bewegung.</p>	<p>Alle Erkenntnisse in diesem Kapitel werden auf Schwingungen angewendet und von den Schülern in Form eines Portfolios über Schwingungen festgehalten.</p> <p>„per Hand“ und mit Excel Hilfsmittel: Videoanalyse</p>
--	---	--	--	---

Ursache von Bewegungen	<p>... erläutern die Größen Masse und Kraft. (UF2)</p> <p>... berechnen mithilfe des Newtonschen Kraftgesetzes Wirkungen einzelner oder mehrerer Kräfte auf Bewegungszustände und sagen sie unter dem Aspekt der Kausalität vorher (E6).</p> <p>... vereinfachen komplexe Bewegungs- und Gleichgewichtszustände durch Komponentenzerlegung bzw. Vektoraddition. (E1)</p> <p>... reflektieren Regeln des Experimentierens in der Planung und Auswertung von Versuchen. (E2, E4)</p> <p>... entnehmen Kernaussagen zu naturwissenschaftlichen Positionen zu Beginn der Neuzeit aus einfachen historischen Texten. (K2, K4)</p> <p>... beschreiben Schwingungen als Störung eines Gleichgewichtszustandes.</p>	<p>Freier Fall <math>F=m \cdot a</math></p> <p>Historischer Ansatz: Trägheit</p> <p>Reibung</p> <p>Newtonsche Axiome</p> <p>Kräfte am Hang</p> <p>Kräftezerlegung/ Superposition</p>	<p>Verwendung der Luftkissenbahn</p> <p>Erneute Anwendung auf Schwingungen.</p>
Überlagerung von Bewegungen und Analyse von Wurf- und Stoßbewegungen.	<p>... erläutern die Größen Energie und Impuls. (UF2)</p> <p>... verwenden Erhaltungssätze, um Bewegungszustände zu erklären und Bewegungsgrößen zu berechnen. (E3,E6)</p> <p>... begründen argumentativ Sachaussagen, Behauptungen und Vermutungen zu mechanischen Vorgängen und ziehen dabei erarbeitetes Wissen sowie Messergebnisse und andere objektive Daten heran. (K4)</p>	<p>Wurfbewegungen: horizontaler und senkrechter Wurf</p> <p>Bewegungszerlegung und Energieansatz.</p> <p>Impuls</p>	<p>Kontext: Katapult, Sprungschanze, Pfeil/Bogen</p> <p>Anwendung auf Schwingungen (Sinus)</p> <p>Nutzung von Excel</p>

**Kontext 2: Bewegungen im Weltraum****Inhaltliche Schwerpunkte: Gravitation, Kräfte und Bewegungen, Energie und Impuls**

<b>Zeitraum</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...</b>	<b>Experimente/ Medien</b>	<b>Vorhabenbezogene Absprachen und Empfehlungen und Instrumente der Leistungsbewertung</b>
	Historischer Ansatz	... beschreiben an Beispielen Veränderungen im Weltbild und in der Arbeitsweise der Naturwissenschaften, die durch die Arbeiten Kopernikus, Kepler, Galilei und Newton initiiert wurden. (E7,B3) ...	Geozentrischen und heliozentrisches Weltbild im Wandel der Zeit Planetenmodelle	
	Planetenbewegungen und Kepler-Gesetze	... ermitteln mithilfe der Kepler'schen Gesetze und des Gravitationsgesetzes astronomische Größen. (E6)	Kepler-Gesetze Animation zur Darstellung der Planetenbewegungen	
	Gravitationsgesetz/ Gravitationsfeld	... beschreiben Wechselwirkungen im Gravitationsfeld und verdeutlichen den Unterschied zwischen Feldkonzept und Kraftkonzept. UF2, E6)	Feldbegriff	Anwendung der Gravitationswaage
	Kreisbewegung	... analysieren und berechnen auftretende Kräfte bei Kreisbewegungen. (E6)	Kontext: Satelliten, System Erde-Sonne, Erde-Mond	Schriftliche Übung

**Kontext 3: Bewegungen im Wasser und in der Erde**

**Inhaltliche Schwerpunkte: Schwingungen und Wellen, Kräfte und Bewegungen**

Zeitraum	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experimente/ Medien	Vorhabenbezogene Absprachen und Empfehlungen und Instrumente der Leistungsbewertung
	Beschreibung und Analyse von Wellen	... erklären qualitativ die Ausbreitung mechanischer Wellen mit den Eigenschaften des Ausbreitungsmediums. (E6) ... beschreiben Schwingungen und Wellen als Störungen des Gleichgewichtes und identifizieren dabei auftretende Kräfte. (UF1, UF4) ...	Einstieg: Erdbeben sind messbar! Warum? Ausbreitung von Wellen Unterscheidung von longitudinalen und transversalen Wellen Empfänger und Sender Ausbreitungsmedium	
	Wellenphänomene			Verwendung der Wellenwanne
	Resonanzphänomene	... erläutern das Auftreten von Resonanz mithilfe von Wechselwirkung und Energie.(UF1)		



## 2.1.2.2 Qualifikationsphase: Grundkurs

### Inhaltsfeld: Quantenobjekte (GK)

**Kontext:** *Erforschung des Photons*

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

Inhaltliche Schwerpunkte: Photon (Wellenaspekt)

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,

(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Beugung und Interferenz Lichtwellenlänge, Lichtfrequenz, Kreiswellen, ebene	veranschaulichen mithilfe der <i>Wellenwanne</i> qualitativ unter Verwendung von Fachbegriffen auf der Grundlage des Huygens'schen Prin-	<b>Doppelspalt</b> und <b>Gitter, Wellenwanne</b>	Ausgangspunkt: Beugung von Laserlicht Modellbildung mit Hilfe der Wellen-

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Wellen, Beugung, Brechung (7 Ustd.)	<p>zips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Beugung, Interferenz, Reflexion und Brechung (K3),</p> <p>bestimmen Wellenlängen und Frequenzen von Licht mit <i>Doppelspalt</i> und <i>Gitter</i> (E5),</p>	quantitative Experimente mit Laserlicht	<p>wanne (ggf. als Schülerpräsentation)</p> <p>Bestimmung der Wellenlängen von Licht mit Doppelspalt und Gitter</p> <p>Sehr schön sichtbare Beugungsphänomene finden sich vielfach bei Meereswellen (s. Google-Earth)</p>
Quantelung der Energie von Licht, Austrittsarbeit (7 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),	<p><b>Photoeffekt</b></p> <p>Hallwachsversuch</p> <p>Vakuumphotозelle</p>	<p>Roter Faden: Von Hallwachs bis Elektronenbeugung</p> <p>Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums und der Austrittsarbeit Hinweis: Formel für die max. kinetische Energie der Photoelektronen wird zunächst vorgegeben.</p> <p>Der Zusammenhang zwischen Spannung, Ladung und Überführungsarbeit wird ebenfalls vorgegeben und nur plausibel gemacht. Er muss an dieser Stelle nicht grundlegend hergeleitet werden</p>
<b>14 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

## Inhaltsfeld: Quantenobjekte (GK)

### 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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Elementarladung (5 Ustd.)	erläutern anhand einer vereinfachten Version des <i>Millikanversuchs</i> die grundlegenden Ideen und Ergebnisse zur Bestimmung der	schwebender Wattebausch <b>Millikanversuch</b>	Begriff des elektrischen Feldes in Analogie zum Gravitationsfeld besprechen, Definition der Feldstärke über die Kraft auf einen Probekörper, in diesem Fall

	<p>Elementarladung (UF1, E5), untersuchen, ergänzend zum Realexperiment, Computersimulationen zum Verhalten von Quantenobjekten (E6).</p>	<p>Schwebe- und Sinkphase mit Stokes'scher Reibung) Auch als Simulation möglich</p>	<p>die Ladung Homogenes elektrisches Feld im Plattenkondensator, Zusammenhang zwischen Feldstärke im Plattenkondensator, Spannung und Abstand der Kondensatorplatten vorgeben und durch Auseinanderziehen der geladenen Platten demonstrieren</p>
<p>Elektronenmasse (7 Ustd.)</p>	<p>beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern deren Definitionsgleichungen. (UF2, UF1), bestimmen die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer elektrischen Spannung (UF2), 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><b><i>e/m</i>-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr und Helmholtzspulenpaar</b>  auch Ablenkung des Strahls mit Permanentmagneten (Lorentzkraft)  evtl. Stromwaage bei hinreichend zur Verfügung stehender Zeit  Messung der Stärke von Magnetfeldern mit der Hallsonde</p>	<p>Einführung der 3-Finger-Regel und Angabe der Gleichung für die Lorentzkraft:  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.  Vertiefung des Zusammenhangs zwischen Spannung, Ladung und Überföhrungsarbeit am Beispiel Elektronenkanone.</p>
<p>Streuung von Elektronen an Festk6rpern, de Broglie-</p>	<p>erläutern die Aussage der de Broglie-Hypothese, wenden diese zur Erkl6rung des</p>	<p><b>J6nsson-Versuch (Simulation)</b></p>	

Wellenlänge (3 Ustd.)	Beugungsbildes beim <i>Elektronenbeugungsexperiment</i> an und bestimmen die Wellenlänge der Elektronen (UF1, UF2, E4).		
<b>15 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

## Inhaltsfeld: Quantenobjekte (GK)

### 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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
Licht und Materie (5 Ustd.)	Die Schülerinnen und Schüler... erläutern am Beispiel der Quantenobjekte Elektron und Photon die Bedeutung von Modellen als grundlegende Erkennt-	Computersimulation	Reflexion der Bedeutung der Experimente für die Entwicklung der Quantenphysik

	<p>niswerkzeuge in der Physik (E6, E7),</p> <p>verdeutlichen die Wahrscheinlichkeitsinterpretation für Quantenobjekte unter Verwendung geeigneter Darstellungen (Graphiken, Simulationsprogramme) (K3).</p> <p>zeigen an Beispielen die Grenzen und Gültigkeitsbereiche von Wellen- und Teilchenmodellen für Licht und Elektronen auf (B4, K4),</p> <p>beschreiben und diskutieren die Kontroverse um die Kopenhagener Deutung und den Welle-Teilchen-Dualismus (B4, K4).</p>	<p><b>Doppelspalt</b></p> <p><b>Photoeffekt</b></p>	
<b>5 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

## **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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
<p><b>Wandlung von mechanischer in elektrische Energie:</b></p> <p>Elektromagnetische Induktion</p> <p>Induktionsspannung</p> <p>(5 Ustd.)</p>	<p>erläutern am Beispiel der <i>Leiterschaukel</i> das Auftreten einer Induktionsspannung durch die Wirkung der Lorentzkraft auf bewegte Ladungsträger (UF1, E6),</p> <p>definieren die Spannung als Verhältnis von Energie und Ladung und bestimmen damit Energien bei elektrischen Leitungsvorgängen (UF2),</p> <p>bestimmen die relative Orientierung von Bewegungsrichtung eines Ladungsträgers, Magnetfeldrichtung und resultierender Kraftwirkung mithilfe einer Drei-Finger-Regel (UF2, E6),</p> <p>werten Messdaten, die mit einem <i>Oszilloskop</i> bzw. mit einem <i>Messwertfassungssystem</i> gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequen-</p>	<p>bewegter Leiter im (homogenen) Magnetfeld - „<b>Leiterschaukelversuch</b>“</p> <p>Messung von Spannungen mit diversen Spannungsmessgeräten (nicht nur an der <b>Leiterschaukel</b>)</p> <p>Gedankenexperimente zur Überführungsarbeit, die an einer Ladung verrichtet wird.</p> <p>Deduktive Herleitung der Beziehung zwischen <math>U</math>, <math>v</math> und <math>B</math>.</p>	<p>Definition der Spannung und Erläuterung anhand von Beispielen für Energieumwandlungsprozesse bei Ladungstransporten, Anwendungsbeispiele.</p> <p>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.</p> <p>Die an der Leiterschaukel registrierten (zeitabhängigen) Induktionsspannungen werden mit Hilfe der hergeleiteten Beziehung auf das Zeit-Geschwindigkeit-Gesetz des bewegten Leiters zurückgeführt.</p>

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler... zen und Spannungen aus (E2, E5).		
<b>Technisch praktikable Generatoren:</b>  Erzeugung sinusförmiger Wechselspannungen  (4 Ustd.)	recherchieren bei vorgegebenen Fragestellungen historische Vorstellungen und Experimente zu Induktionserscheinungen (K2),  erläutern adressatenbezogenen Zielsetzungen, Aufbauten und Ergebnisse von Experimenten im Bereich der Elektrodynamik jeweils sprachlich angemessen und verständlich (K3),	Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen, Filme und Applets zum Generatorprinzip  Experimente mit drehenden Leiterschleifen in (näherungsweise homogenen) Magnetfeldern, Wechselstromgeneratoren	Hier bietet es sich an, arbeitsteilige Präsentationen auch unter Einbezug von Realexperimenten anfertigen zu lassen.
	erläutern das Entstehen sinusförmiger Wechselspannungen in Generatoren (E2, E6),  werten Messdaten, die mit einem <i>Oszilloskop</i> bzw. mit einem <i>Messwertfassungssystem</i> gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5).  führen Induktionserscheinungen an einer <i>Leiterschleife</i> auf die beiden grundlegenden Ursachen „zeitlich veränderliches Magnetfeld“ bzw.	Messung und Registrierung von Induktionsspannungen mit <b>Oszilloskop</b> und <b>digitalem Messwertfassungssystem</b>	Der Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und zeitlicher Veränderung der senkrecht vom Magnetfeld durchsetzten Fläche wird „deduktiv“ erschlossen.

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
	„zeitlich veränderliche (effektive) Fläche“ zurück (UF3, UF4),		
<p><b>Nutzbarmachung elektrischer Energie durch „Transformation“</b></p> <p>Transformator</p> <p>(5 Ustd.)</p>	<p>erläutern adressatenbezogen Zielsetzungen, Aufbauten und Ergebnisse von Experimenten im Bereich der Elektrodynamik jeweils sprachlich angemessen und verständlich (K3),</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>Messwertfassungssystem</i> gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5).</p> <p>führen Induktionserscheinungen an einer <i>Leiterschleife</i> auf die beiden</p>	<p>diverse „Netzteile“ von Elektrokleingeräten (mit klassischem Transformator)</p> <p>Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen Demo-</p> <p>Aufbautransformator mit geeigneten Messgeräten</p> <p>ruhende Induktionsspule in wechselstromdurchflossener Feldspule - mit <b>Messwertfassungssystem</b> zur zeitaufgelösten Registrierung der Induktionsspannung und des zeitlichen Verlaufs der Stärke des magnetischen Feldes</p>	<p>Der Transformator wird 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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</p> <p>grundlegenden Ursachen „zeitlich veränderliches Magnetfeld“ bzw. „zeitlich veränderliche (effektive) Fläche“ zurück (UF3, UF4),</p>		
<p>Energieerhaltung</p> <p>Ohm'sche „Verluste“</p> <p>(4 Ustd.)</p>	<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 Über-</p>	<p><b>Modellexperiment</b> (z.B. mit Hilfe von Aufbautransformatoren) zur Energieübertragung und zur Bestimmung der „Ohm'schen Verluste“ bei der Übertragung elektrischer Energie bei unterschiedlich hohen Spannungen</p>	<p>Hier bietet sich ein arbeitsteiliges Gruppenpuzzle an, in dem Modellexperimente einbezogen werden.</p>

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler... tragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B2, B1, B4).		
<b>18 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

# Inhaltsfeld: Elektrodynamik (GK)

## 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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Lenz'sche Regel (4 Ustd.)	erläutern anhand des <i>Thomson'schen Ringversuchs</i> die Lenz'sche Regel (E5, UF4),  bewerten bei technischen Prozessen das Auftreten erwünschter	Freihandexperiment: Untersuchung der Relativbewegung eines aufgehängten Metallrings und eines starken Stabmagneten  <b>Spulenpendel, Thomson'scher Ringversuch (ggf. als Simulation)</b>	Ausgehend von kognitiven Konflikten bei den Ringversuchen wird die Lenz'sche Regel erarbeitet  Erarbeitung von Anwendungsbeispielen zur Lenz'schen Regel (z.B. Wirbelstrombremse)

	bzw. nicht erwünschter Wirbelströme (B1),	diverse technische und spielerische Anwendungen, z.B. Dämpfungselement an einer Präzisionswaage, Wirbelstrombremse, „fallender Magnet“ im Alu-Rohr.	bei Fahrzeugen oder an der Kreissäge)
4 Ustd.	Summe		

## Inhaltsfeld: Strahlung und Materie (GK)

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

Leitfrage: Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie?

Inhaltliche Schwerpunkte: Energiequantelung der Atomhülle, Spektrum der elektromagnetischen Strahlung

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,

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

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Kern-Hülle-Modell (2 Ustd.)	erläutern, vergleichen und beurteilen Modelle zur Struktur von Atomen und Materiebausteinen (E6, UF3, B4),	Literaturrecherche, Schulbuch	Ausgewählte Beispiele für Atommodelle: Thomson (Rosinenkuchen), Rutherford (Planeten), Bohr (diskrete Bahnen)
Energieniveaus der Atomhülle (2 Ustd.)	erklären die Energie absorbierter und emittierter Photonen mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (UF1, E6),	Erzeugung von <b>Linienpektren</b> mit Hilfe von Gasentladungslampen	Deutung der Linienpektren
Quantenhafte Emission und Absorption von Photonen (3 Ustd.)	erläutern die Bedeutung von <i>Flammenfärbung</i> und <i>Linienpektren bzw. Spektralanalyse</i> und die Ergebnisse des <i>Franck-Hertz-Versuches</i> für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7),	<b>Franck-Hertz-Versuch</b> (auch mit Simulation)	Es kann das Bohr'sche Atommodell angesprochen werden (ohne Rechnungen)
Sternspektren und Fraunhoferlinien (3 Ustd.)	interpretieren Spektraltafeln des <i>Sonnenspekt-rums</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),	<b>Flammenfärbung</b>  Darstellung des <b>Sonnenspekt-rums</b> mit seinen <b>Fraunhoferli-nien</b>  <b>Spektralanalyse</b>	u. a. Durchstrahlung einer Na-Flamme mit Na- und Hg-Licht (Schattenbildung)



Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Röntgenstrahlung (3 Ustd.)	erläutern das Auftreten der <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> (kann mit interaktiven Bildschirm-experimenten (IBE) oder Lehrbuch geschehen, falls keine Schulröntgeneinrichtung vorhanden ist)	Röntgenstrahlung als Umkehrung des Photoeffekts (hier kann der Photoeffekt wiederholt werden)  Mögliche Ergänzungen: Bremspektrum mit h-Bestimmung / Bragg-Reflexion
<b>13 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

# Inhaltsfeld: Strahlung und Materie (GK)

## 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.

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Strahlungsarten (2 Ustd.)	unterscheiden $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -Strahlung und Röntgenstrahlung sowie Neutronen- und Schwerionenstrahlung (UF3),  erläutern den Nachweis unterschiedlicher Arten ionisierender Strahlung mithilfe von Absorpti-	Recherche  <b>Absorptionsexperimente zu</b>	Absorptionsgesetz

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
	<p>konstruieren und durchführen von Experimenten (E4, E5),</p> <p>bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik (B1, B3),</p>	<b>Gamma-Strahlung</b>	Absorptionskoeffizient und Halbwertsdicke
<p>Detektoren</p> <p>(3 Ustd.)</p>	<p>erläutern den Aufbau und die Funktionsweise von Nachweisgeräten für ionisierende Strahlung (<i>Geiger-Müller-Zählrohr</i>) und bestimmen Halbwertszeiten und Zählraten (UF1, E2),</p>	<b>Geiger-Müller-Zählrohr</b>	<p>Zerfallsgesetz</p> <p>Zerfallskonstante und Halbwertszeit</p> <p>An dieser Stelle können Hinweise auf Halbleiterdetektoren gegeben werden.</p>
<p>Elementumwandlung</p> <p>(1 Ustd.)</p>	<p>erläutern den Begriff Radioaktivität und beschreiben zugehörige Kernumwandlungsprozesse (UF1, K1),</p>	Nuklidkarte	Zerfallsgleichungen
<p>Biologische Wirkung ionisierender Strahlung und Energieaufnahme im menschlichen Gewebe</p> <p>Dosimetrie</p> <p>(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>	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 technischer Anlagen.</p> <p>Erläuterung von einfachen dosimetrischen Begriffen: Aktivität, Energiedosis, Äquivalentdosis</p>

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</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>		<p>sis</p>
9 Ustd.	Summe		

## Inhaltsfeld: Strahlung und Materie (GK)

**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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
(Ustd. à 45 min)	Die Schülerinnen und Schüler...		
Kernbausteine und Elementarteilchen (4 Ustd.)	erläutern mithilfe des aktuellen Standardmodells den Aufbau der Kernbausteine und erklären mit ihm Phänomene der Kernphysik (UF3, E6),  erklären an einfachen Beispielen Teilchenumwandlungen im Standardmodell (UF1).  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.  Es z.B. kann auf Internetseiten des CERN und DESY zurückgegriffen werden.  CERN-Comic!	Mögliche Schwerpunktsetzung:  Paarerzeugung, Paarvernichtung,

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
(Ustd. à 45 min)	Die Schülerinnen und Schüler...		
(Virtuelles) Photon als Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung  Konzept der Austauschteilchen vs. Feldkonzept  (2 Ustd.)	vergleichen in Grundprinzipien das Modell des Photons als Austauschteilchen für die elektromagnetische Wechselwirkung exemplarisch für fundamentale Wechselwirkungen mit dem Modell des Feldes (E6).	Lehrbuch, Animationen	Veranschaulichung der Austauschwechselwirkung mithilfe geeigneter mechanischer Modelle, auch Problematik dieser Modelle thematisieren
<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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Relativität der Zeit (5 Ustd.)	interpretieren das <i>Michelson-Morley-Experiment</i> als ein Indiz für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit (UF4),  erklären anschaulich mit der <i>Lichtuhr</i> grundlegende Prinzipien der speziellen Relativitätstheorie und ermitteln quantitativ die Formel für die Zeitdilatation (E6, E7),	<b>Experiment von Michelson und Morley</b> (Computersimulation)  <b>Lichtuhr</b> (Gedankenexperiment / Computersimulation)  <b>Myonenerfall</b> (Experimentepool der Universität Wuppertal)	Ausgangsproblem: Exaktheit der Positionsbestimmung mit Navigationssystemen  Begründung der Hypothese von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit mit dem Ausgang des Michelson-Morley-Experiments  Herleitung der Formel für die Zeitdilatation

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</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>begründen mit der Lichtgeschwindigkeit als Obergrenze für Geschwindigkeiten von Objekten, dass eine additive Überlagerung von Geschwindigkeiten nur für „kleine“ Geschwindigkeiten gilt (UF2),</p> <p>erläutern die Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie (UF1),</p>		<p>on 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> <p>Die Formel für die Längenkontraktion wird angegeben.</p>
<b>5 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		



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

**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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
(Ustd. à 45 min)	Die Schülerinnen und Schüler...		
„Schnelle“ Ladungsträger in E- und B-Feldern (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-Geräten“ eines beschleunigten Teilchens im Zyklotron ohne Rechnung veranschaulicht.  (Wdh. Lorentzkraft als Zentralkraft → T ist nur unabhängig von r, solange $m = \text{const}$ )

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
(Ustd. à 45 min)	Die Schülerinnen und Schüler...		
Ruhemasse und dynamische Masse  (4 Ustd.)	erläutern die Energie-Masse Äquivalenz (UF1).  bewerten die Bedeutung der Beziehung $E=mc^2$ für die Kernspaltung und Kernfusion (B1, B3)  beschreiben Kernspaltung und Kernfusion unter Berücksichtigung des Massendefekts (UF4)	Film / Video	Die Formeln für die dynamische Masse und $E=mc^2$ werden als deduktiv herleitbar angegeben.  Beispielrechnungen: Energiegewinnung durch Kernspaltung und Kernfusion  Erzeugung und Vernichtung von Teilchen,  Hier können Texte und Filme zu Hiroshima und Nagasaki eingesetzt werden.
<b>6 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

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

### 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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
(Ustd. à 45 min)	Die Schülerinnen und Schüler...		
Gegenseitige Bedingung von Raum und Zeit  (2 Ustd.)	diskutieren die Bedeutung von Schlüsselexperimenten bei physikalischen Paradigmenwechseln an Beispielen aus der Relativitätstheorie (B4, E7),  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: Relativitätstheorie (LK)

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

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

Inhaltliche Schwerpunkte: Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Problem der Gleichzeitigkeit

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,

(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und Problem der Gleichzeitigkeit	begründen mit dem Ausgang des Michelson-Morley-Experiments die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit (UF4, E5, E6), erläutern das Problem der relativen Gleichzeitigkeit mit in zwei verschiedenen Inertialsystemen jeweils	Experiment von Michelson und Morley (Computersimulation) Relativität der	Ausgangsproblem: Exaktheit der Positionsbestimmung mit Navigationssystemen Begründung der Hypothese von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit mit dem Ausgang des Michelson- und Morley-

Inertialsysteme	synchronisierten Uhren (UF2),	Gleichzeitigkeit (Video / Film)	Experiments (Computersimulation).
Relativität der Gleichzeitigkeit (4 Ustd.)	begründen mit der Lichtgeschwindigkeit als Obergrenze für Geschwindigkeiten von Objekten Auswirkungen auf die additive Überlagerung von Geschwindigkeiten (UF2).		Das Additionstheorem für relativistische Geschwindigkeiten kann ergänzend ohne Herleitung angegeben werden.
<b>4 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

## Inhaltsfeld: Relativitätstheorie (LK)

### Kontext: Höhenstrahlung

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

Inhaltliche Schwerpunkte: Zeitdilatation und Längenkontraktion

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,

(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Zeitdilatation und relativistischer Faktor  (2 Ustd., zusätzlich Exkursion)	leiten mithilfe der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und des Modells Lichtuhr quantitativ die Formel für die Zeitdilatation her (E5),  reflektieren die Nützlichkeit des Modells Lichtuhr hinsichtlich der Herleitung des relativistischen Faktors (E7).  erläutern die Bedeutung der Konstanz der	Lichtuhr (Gedankenexperiment / Computersimulation)  Myonenzerfall (Experimentepool der Universität – ggfs. Exkursion an eine Universität)	Mit der Lichtuhr wird der relativistische Faktor $\gamma$ hergeleitet.  Der Myonenzerfall in der Erdatmosphäre dient als eine experimentelle Bestätigung der Zeitdilatation.

	Lichtgeschwindigkeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie (UF1)		
Längenkontraktion (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 anschaulicher und einfacher Abbildungen (K3),</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>
<b>4 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

## Inhaltsfeld: Relativitätstheorie (LK)

**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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
„Schnelle“ Ladungsträger in E- und B-Feldern  (4 Ustd.)	erläutern auf der Grundlage historischer Dokumente ein Experiment (Bertozzi-Versuch) zum Nachweis der relativistischen Massenzunahme (K2, K3),	Bertozzi-Experiment (anhand von Literatur)	Hier würde sich eine Schülerpräsentation des Bertozzi-Experiments anbieten.  Der Einfluss der Massenzunahme wird in einer Simulation durch das „Aus-dem-Takt-Geraten“ eines beschleunigten Teilchens im Zyklotron ohne Rechnung veranschaulicht.  Die Formel für die dynamische Masse wird als deduk-



			tiv herleitbar angegeben.
Ruhemasse und dynamische Masse (2 Ustd.)	erläutern die Energie-Masse-Beziehung (UF1)  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.
Bindungsenergie im Atomkern  Annihilation (2 Ustd.)	beschreiben die Bedeutung der Energie-Masse-Äquivalenz hinsichtlich der Annihilation von Teilchen und Antiteilchen (UF4),  bestimmen und bewerten den bei der Annihilation von Teilchen und Antiteilchen frei werdenden Energiebetrag (E7, B1),  beurteilen die Bedeutung der Beziehung $E=mc^2$ für Erforschung und technische Nutzung von Kernspaltung und Kernfusion (B1, B3),	Historische Aufnahme von Teilchenbahnen	Interpretation des Zusammenhangs zwischen Bindungsenergie pro Nukleon und der Kernspaltungs- bzw. Kernfusionsenergie bei den entsprechenden Prozessen.  Es können Filme zu Hiroshima und Nagasaki eingesetzt werden.  Erzeugung und Vernichtung von Teilchen
<b>8 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

## Inhaltsfeld: Relativitätstheorie (LK)

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

Leitfrage: Beeinflusst Gravitation den Ablauf der Zeit?

Inhaltliche Schwerpunkte: Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
(Ustd. à 45 min)	Die Schülerinnen und Schüler...		
Gravitation und Zeitmessung (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)  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.  Elemente des Kontextes Satellitenavigation 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)  (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  Das Zwillingsparadoxon (mit Beschleunigungsphasen und Phasen der gleichförmigen Bewegung  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>		

## Inhaltsfeld: Relativitätstheorie (LK)

**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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
(Ustd. à 45 min)	Die Schülerinnen und Schüler...		
Gegenseitige Bedingung von Raum und Zeit  (2 Ustd.)	bewerten Auswirkungen der Relativitätstheorie auf die Veränderung des physikalischen Weltbilds (B4).	Lehrbuchtexte, Internet-recherche	Ggf. Schülervortrag
<b>2 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

## Inhaltsfeld: Elektrik (LK)

### **Kontext:** *Untersuchung von Elektronen*

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

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

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

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

(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,

(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,

(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
<b>Grundlagen:</b> Ladungstrennung, Ladungsträger (4 Ustd.)	erklären elektrostatische Phänomene und Influenz mithilfe grundlegender Eigenschaften elektrischer Ladungen (UF2, E6),	einfache Versuche zur Reibungselektrizität – Anziehung / Abstoßung,  halbquantitative Versuche mit Hilfe eines Elektrometerverstärkers: Zwei aneinander geriebene Kunststoffstäbe aus unterschiedlichen Materialien tragen betragsmäßig gleiche, aber entgegengesetzte Ladungen, Influenzversuche	An dieser Stelle sollte ein Rückgriff auf die S I erfolgen.  Das Elektron soll als (ein) Träger der negativen Ladung benannt und seine Eigenschaften untersucht werden.
<b>Bestimmung der Elementarladung:</b> elektrische Felder, Feldlinien  potentielle Energie im elektrischen Feld, Spannung	beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der entsprechenden Feldstärken (UF2, UF1),  erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschaulichung typischer Felder und interpretieren Feldlinienbilder	Skizzen zum prinzipiellen Aufbau des Millikanversuchs, realer Versuchsaufbau oder entsprechende Medien (z. B: RCL (remote control laboratory),  einfache Versuche und visuelle Medien zur Veranschaulichung elektrischer Felder im Feldlinienmodell,	Die Versuchsidee „eines“ Millikanversuchs wird erarbeitet.  Der Begriff des elektrischen Feldes und das Feldlinienmodell werden eingeführt.  Die elektrische Feldstärke in einem Punkt eines elektrischen Feldes, der Begriff „homogenes Feld“ und die Spannung werden definiert.

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Kondensator Elementarladung (10 Ustd.)	(K3, E6, B4),	Plattenkondensator (homogenes E-Feld),	
	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),  entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrizität, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),	evtl. Apparatur zur Messung der Feldstärke gemäß der Definition,  Spannungsmessung am Plattenkondensator,  Bestimmung der Elementarladung mit dem Millikanversuch	Zusammenhang zwischen E und U im homogenen Feld  Bestimmung der Elementarladung mit Diskussion der Messgenauigkeit  An dieser Stelle sollten Übungsaufgaben erfolgen, z.B. auch zum Coulomb'schen Gesetz. Dieses kann auch nur per Plausibilitätsbetrachtung eingeführt werden.
<b>Bestimmung der Masse eines Elektrons:</b>  magnetische Felder, Feldlinien,  potentielle Energie im elektrischen	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),  treffen im Bereich Elektrizität Entscheidungen	Fadenstrahlrohr (zunächst) zur Erarbeitung der Versuchsidee,  (z.B.) Stromwaage zur Demonstration der Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld sowie zur Veranschaulichung der Definition der	Die Frage nach der Masse eines Elektrons führt zu weiteren Überlegungen.  Als Versuchsidee wird (evtl. in Anlehnung an astronomischen Berechnungen in der EF) die Auswertung der Daten einer erzwungenen Kreisbewegung des Teilchens erarbeitet.  Dazu wird der Begriff des magnetischen Feldes

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Feld, Energie bewegter Ladungsträger, Elektronenmasse (10 Ustd.)	<p>gen 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>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>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>
	<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 Elektrizität, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),</p> <p>erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von</p>		Ein Verfahren zur Beschleunigung der Elektronen sowie zur Bestimmung ihrer Geschwindigkeit wird erarbeitet.



Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</p> <p>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 Bahnkurvenden bei der <math>e/m</math>-Bestimmung und beim</p>		

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
	Massenspektrometer auf wirkende Kräfte sowie Eigenschaften von Feldern und bewegten Ladungsträgern (E5, UF2),		
<b>24 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

## Inhaltsfeld: Elektrik (LK)

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

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

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

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,

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

(E1) in unterschiedlichen Kontexten physikalische Probleme identifizieren, analysieren und in Form physikalischer Fragestellungen präzisieren,

(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,

(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,

(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
<b>Anwendungen in Forschung und Technik:</b> Bewegung von Ladungsträgern in Feldern (12 Ustd.)	beschreiben qualitativ und quantitativ die Bewegung von Ladungsträgern in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern sowie in gekreuzten Feldern (Wien-Filter, Hall-Effekt) (E1, E2, E3, E4, E5 UF1, UF4), erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten aus dem Bereich der Elektrizität (K1, K3,	Hallsonde, Halleffektgerät, diverse Spulen, deren Felder vermessen werden (insbesondere lange Spulen und Helmholtzspulen),	Das Problem der Messung der Stärke des magnetischen Feldes der Helmholtzspulen ( $e/m$ – Bestimmung) wird wieder aufgegriffen, Vorstellung des Aufbaus einer Hallsonde und Erarbeitung der Funktionsweise einer Hallsonde, Veranschaulichung mit dem Halleffekt-

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</p> <p>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 Defi-</p>	<p>Elektronenstrahlröhre</p> <p>visuelle Medien und Computersimulationen (ggf. RCLs) zum Massenspektrometer, Zyklotron und evtl. weiteren Teilchenbeschleunigern</p>	<p>gerät (Silber),</p> <p>Kalibrierung einer Hallsonde, 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>

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler... nitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),		
	entscheiden für Problemstellungen aus der Elekt- rik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),  wählen Definitionsgleichungen zusammengesetz- ter 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),		
<b>Moderne messtech- nische Verfahren sowie Hilfsmittel zur Mathematisierung:</b>  Auf- und Entladung von Kondensatoren,  Energie des elektri- schen Feldes  (10 Ustd.)	erläutern an Beispielen den Stellenwert experi- menteller Verfahren bei der Definition physikali- scher Größen (elektrische und magnetische Feld- stärke) und geben Kriterien zu deren Beurteilung an (z.B. Genauigkeit, Reproduzierbarkeit, Unab- hängigkeit von Ort und Zeit) (B1, B4),  erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmo- dellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschau- lichung typischer Felder und interpretieren Feld- linienbilder (K3, E6, B4),	diverse Kondensatoren (als La- dungs-/ Energiespeicher),  Aufbaukondensatoren mit der Möglichkeit die Plattenfläche und den Plattenabstand zu vari- ieren,  statische Voltmeter bzw. Elekt- rometermessverstärker,  Schülerversuche zur Auf- und Entladung von Kondensatoren	Kondensatoren werden als Ladungs-/ Energiespeicher vorgestellt (z.B. bei elektronischen Geräten wie Compu- tern).  Die (Speicher-) Kapazität wird definiert und der Zusammenhang zwischen Ka- pazität, Plattenabstand und Plattenflä- che für den Plattenkondensator (de- duktiv mit Hilfe der Grundgleichung des elektrischen Feldes) ermittelt.  Plausibilitätsbetrachtung zur Grund-

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</p> <p>entscheiden für Problemstellungen aus der Elek- trik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),</p> <p>wählen Definitionsgleichungen zusammengesetz- ter 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 (UF2),</p> <p>leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Defi- nitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),</p> <p>ermitteln die in elektrischen bzw. magnetischen Feldern gespeicherte Energie (Kondensator) (UF2),</p> <p>beschreiben qualitativ und quantitativ, bei vorge- gebenen Lösungsansätzen, Ladungs- und Entla- dungsvorgänge in Kondensatoren (E4, E5, E6),</p>	<p>sowohl mit großen Kapazitäten (Messungen mit Multimeter) als auch mit kleineren Kapazitäten (Messungen mit Hilfe von Mess- werterfassungssystemen),</p> <p>Computer oder GTR/CAS- Rechner zur Messwertverarbei- tung</p>	<p>gleichung des elektrischen Feldes im Feldlinienmodell,</p> <p>Ermittlung der elektrischen Feldkon- stante (evtl. Messung),</p> <p>Auf- und Entladevorgänge bei Konden- satoren werden messtechnisch erfasst, computerbasiert ausgewertet und mit- hilfe von Differentialgleichungen be- schrieben.</p> <p>deduktive Herleitung der im elektri- schen Feld eines Kondensators gespei- cherten elektrischen Energie</p>
	<p>treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Ge- nauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick</p>		

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</p> <p>auf eine vorgegebene Problemstellung (B1),</p> <p>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),</p>		
<b>22 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

## Inhaltsfeld: Elektrik (LK)

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

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

Inhaltliche Schwerpunkte: Elektromagnetische Induktion

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,

(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
<b>Induktion, das grundlegende Prinzip bei der Versorgung mit elektrischer Energie:</b>	entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1), wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische	Medien zur Information über prinzipielle Verfahren zur Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie, Bewegung eines Leiters im	Leiterschaukelversuch evtl. auch im Hinblick auf die Registrierung einer gedämpften mechanischen Schwingung auswertbar, Gleich- und Wechselspannungsgenera-



Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Induktionsvorgänge, Induktionsgesetz, Lenz'sche Regel,  Energie des magnetischen Feldes  (22 Ustd.)	<p>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</p>	<p>Magnetfeld - Leiterschaukel, einfaches elektrodynamisches Mikrofon,  Gleich- und Wechselspannungsgeneratoren (vereinfachte Funktionsmodelle für Unterrichtszwecke)  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>,  „Aufbau-“ Transformatoren zur Spannungswandlung</p>	<p>toren werden nur qualitativ behandelt.</p> <p>Das Induktionsgesetz in seiner allgemeinen Form wird erarbeitet:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Flächenänderung (deduktive Herleitung)</li> <li>2. Änderung der Feldgröße <math>B</math> (quantitatives Experiment)</li> </ol> <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>

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</p> <p>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>wählen begründet mathematische Werkzeuge zur Darstellung und Auswertung von Messwerten im Bereich der Elektrizität (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 Wirbelströ-</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>

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...	men, diverse „Ringversuche“	
<b>22 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

## Inhaltsfeld: Elektrik (LK)

**Kontext:** *Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübermittlung*

Leitfrage: Wie können Nachrichten ohne Materietransport übermittelt werden?

Inhaltliche Schwerpunkte: Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,

(E4) Experimente mit komplexen Versuchsplänen und Versuchsaufbauten, auch historisch bedeutsame Experimente, mit Bezug auf ihre Zielsetzungen erläutern und diese zielbezogen unter Beachtung fachlicher Qualitätskriterien durchführen,

(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,

(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,

(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
(Ustd. à 45 min)	Die Schülerinnen und Schüler...		
<p><b>Der elektromagnetische Schwingkreis – das Basiselement der Nachrichtentechnik:</b></p> <p>Elektromagnetische Schwingungen im RLC-Kreis, Energieumwandlungsprozesse im RLC-Kreis</p> <p>(12 Ustd.)</p>	<p>erläutern die Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen, erstellen aussagekräftige Diagramme und werten diese aus (E2, E4, E5, B1), treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1), erläutern qualitativ die bei einer ungedämpften elektromagnetischen Schwingung in der Spule und am Kondensator ablaufenden physikalischen Prozesse (UF1, UF2), beschreiben den Schwingvorgang im</p>	<p>MW-Radio aus Aufbauteilen der Elektriksammlung mit der Möglichkeit, die modulierte Trägerschwingung (z.B. oszilloskopisch) zu registrieren, 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 „abgestimmt“ werden kann, dass (z.B. oszilloskopisch) eine modulierte Trägerschwingung registriert werden kann, also der Schwingkreis „von außen“ angeregt wird.</p> <p>Die Analogie zu mechanischen Resonanzversuchen wird aufgezeigt.</p>

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
(Ustd. à 45 min)	Die Schülerinnen und Schüler...		
	RLC-Kreis qualitativ als Energieumwandlungsprozess und benennen wesentliche Ursachen für die Dämpfung (UF1, UF2, E5),		
	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),  entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),	RLC - Serienschwingkreis insbesondere mit registrierenden Messverfahren und computer-gestützten Auswerteverfahren,  ggf. Meißner- oder Dreipunkt-Rückkopplungsschaltung zur Erzeugung / Demonstration entdämpfter elektromagnetischer Schwingungen	Die zentrale Funktionseinheit „Schwingkreis“ wird genauer untersucht.  Spannungen und Ströme im RCL – Kreis werden zeitaufgelöst registriert, die Diagramme sind Grundlage für die qualitative Beschreibung der Vorgänge in Spule und Kondensator.  Quantitativ wird nur die ungedämpfte Schwingung beschrieben (inkl. der Herleitung der Thomsonformel).
	wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze problembezogen aus (UF2),  leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekann-		Die Möglichkeiten zur mathematischen Beschreibung gedämpfter Schwingungen sowie Möglichkeiten der Entdämpfung / Rückkopplung können kurz und rein qualitativ angesprochen werden.

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
(Ustd. à 45 min)	Die Schülerinnen und Schüler... ten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2).		
<p><b>Materiefreie Übertragung von Information und Energie:</b></p> <p>Entstehung und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen,</p> <p>Energietransport und Informationsübertragung durch elektromagnetische 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 <i>B</i>- bzw. <i>E</i>-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 Interferen...</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 E- und B-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 Veran-</p>	<p>Erinnerung an die Anregung des MW-Radio-Schwingkreises durch „Radiowellen“ zur Motivation der Erforschung sogenannter elektromagnetischer Wellen,</p> <p>Das Phänomen der elektromagnetische Welle, ihre Erzeugung und Ausbreitung werden erarbeitet.</p> <p>Übergang vom Schwingkreis zum Hertz'schen Dipol durch Verkleinerung von L und C,</p> <p>Überlegungen zum „Ausbreitungsmechanismus“ elektromagnetischer Wellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Induktion findet auch ohne Leiter („Induktionsschleife“) statt!</li> <li>· (Z.B.) Versuch zur Demonstration des Magnetfeldes um stromdurchflossene Leiter, über die ein Kon-</li> </ul>

Inhalt (Ustd. à 45 min)	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</p> <p>renzerscheinungen (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>schaulichung der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle, entsprechende Computersimulationen,</p> <p>Versuche mit dem dm-Wellensender (s.o.),</p>	<p>densator aufgeladen wird.</p> <p>· Auch im Bereich zwischen den Kondensatorplatten existiert ein magnetisches Wirbelfeld.</p>
	<p>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),</p> <p>leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),</p> <p>beschreiben die Interferenz an Doppelspalt und Gitter im Wellenmodell</p>	<p>Visuelle Medien zur Veranschaulichung der Ausbreitung einer linearen (harmonischen) Welle, auch Wellenmaschine zur Erinnerung an mechanische Wellen, entsprechende Computersimulationen,</p> <p>Wellenwanne</p> <p>Mikrowellensender / -</p>	<p>Beugungs-, Brechungs- und Interferenzerscheinungen zum Nachweis des Wellencharakters elektromagnetischer Wellen,</p>



Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
(Ustd. à 45 min)	Die Schülerinnen und Schüler...		
	<p>und leiten die entsprechenden Terme für die Lage der jeweiligen Maxima n-ter Ordnung her (E6, UF1, UF2),</p> <p>wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze problembezogen aus (UF2),</p> <p>erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten (K1, K3, UF3).</p>	<p>empfänger mit Gerätesatz für Beugungs-, Brechungs- und Interferenzexperimente,</p> <p>Interferenz-, Beugungs- und Brechungsexperimente mit (Laser-) Licht an Doppelspalt und Gitter (quantitativ) – sowie z.B. an Kanten, dünnen Schichten,... (qualitativ)</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

**Kompetenschwerpunkte:** 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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Lichtelektrischer Effekt (1 Ustd.)	diskutieren und begründen das Versagen der klassischen Modelle bei der Deutung quantenphysikalischer Prozesse (K4, E6)  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-Dampflampe (ohne und mit UV-absorbierender Glasscheibe)	Qualitative Demonstration des Photoeffekts

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
<p>Teilcheneigenschaften von Photonen Planck'sches Wirkungsquantum (7 Ustd.)</p>	<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>1. Versuch zur h-Bestimmung: Gegenspannungsmethode (Hg-Linien mit Cs-Diode)</p> <p>2. 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>		

## Inhaltsfeld: Quantenphysik(LK)

**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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Röntgenröhre Röntgenspektrum (2 Ustd.)	beschreiben den Aufbau einer Röntgenröhre (UF1),	Röntgenröhre der Schulröntgeneinrichtung  Sollte keine Röntgenröhre zur Verfügung stehen, kann mit einem interaktiven Bildschirmexperiment (IBE) gearbeitet werden (z.B. <a href="http://www.mackspace.de/unterricht/sim">http://www.mackspace.de/unterricht/sim</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 müssen kurze Sachinfor-

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
		<a href="http://www.unidue.de/physik/quantenphysik/sv/roentgen.php">ulationen_physik/quantenphysik/sv/roentgen.php</a> oder <a href="http://www.unidue.de/physik/ap/iabe/roentgen_b10/roentgen_b10_uebersicht.html">http://www.unidue.de/physik/ap/iabe/roentgen_b10/roentgen_b10_uebersicht.html</a>	mationen zum Aufbau der Atomhülle und den Energiezuständen der Hüllelektronen gegeben (recherchiert) werden.  Das IBE sollte für die häusliche Arbeit genutzt werden.
Bragg'sche Reflexionsbedingung (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 (1 Ustd.)	deuten die Entstehung der kurzwelligen Röntgenstrahlung als Umkehrung des Photoeffekts (E6),		Eine zweite Bestimmungsmethode für das Planck'sche Wirkungsquantum
Strukturanalyse mithilfe der Drehkristallmethode  Strukturanalyse nach Debye-Scherrer (2 Ustd.)			Schülerreferate mit Präsentationen zur Debye-Scherrer-Methode

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
Röntgenröhre in Medizin und Technik (2 Ustd.)	Die Schülerinnen und Schüler... führen Recherchen zu komplexeren Fragestellungen der Quantenphysik durch und präsentieren die Ergebnisse (K2, K3),	Film / Video / Foto  Schülervorträge auf fachlich angemessenem Niveau (mit adäquaten fachsprachlichen Formulierungen)	Schülerreferate mit Präsentationen anhand Literatur- und Internetrecherchen  Ggf. Exkursion zum Röntgenmuseum in Lennep  Ggf. Exkursion zur radiologischen Abteilung des Krankenhauses (die aber auch in Rahmen der Kernphysik (s. dort: „Biologische Wirkung ionisierender Strahlung“) durchgeführt werden kann)
<b>9 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

# Inhaltsfeld: Quantenphysik(LK)

## 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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Wellencharakter von Elektronen (2 Ustd.)	interpretieren experimentelle Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre mit den Welleneigenschaften von Elektronen (E1, E5, E6),	Qualitative Demonstrationen mit der Elektronenbeugungsröhre  Qualitative Demonstrationen mithilfe RCL (Uni Kaiserslautern: <a href="http://rcl-munich.informatik.unibw-">http://rcl-munich.informatik.unibw-</a>	Hinweise auf erlaubte nichtrelativistische Betrachtung (bei der verwendeten Elektronenbeugungsröhre der Schule)

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
		<a href="http://muenchen.de/">muenchen.de/</a> )	
Streuung und Beugung von Elektronen  De Broglie-Hypothese  (4 Ustd.)	beschreiben und erläutern Aufbau und Funktionsweise von komplexen Versuchsaufbauten (u.a. zur $h$ -Bestimmung und zur Elektronenbeugung) (K3, K2),  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  Dabei Betonung der herausragenden Bedeutung der de Broglie-Gleichung für die quantitative Beschreibung der (lichtschnellen und nicht lichtschneller) Quantenobjekte
<b>6 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		



# Inhaltsfeld: Quantenphysik(LK)

**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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
linearer Potentialtopf  Energiewerte im linearen Potentialtopf  (4 Ustd.)	deuten das Quadrat der Wellenfunktion qualitativ als Maß für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen (UF1, UF4),  ermitteln die Wellenlänge und die Energiewerte von im linearen Potentialtopf gebundenen Elektronen (UF2, E6).		Auf die Anwendbarkeit des Potentialtopf-Modells bei Farbstoffmolekülen wird hingewiesen.  Die Anwendbarkeit des (mechanischen) Modells der stehenden Welle kann insofern bestätigt werden, als dass die für die stehenden Wellen sich erge-

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		<p>bende DGI mit derjenigen der (zeitunabhängigen) Schrödinger-DGI strukturell übereinstimmt.</p> <p>Ein Ausblick auf die Schrödinger-Gleichung genügt.</p>
<p>Wellenfunktion und Aufenthaltswahrscheinlichkeit (4 Ustd.)</p>	<p>erläutern die Aufhebung des Welle-Teilchen-Dualismus durch die Wahrscheinlichkeitsinterpretation (UF1, UF4),</p> <p>erläutern die Bedeutung von Gedankenexperimenten und Simulationsprogrammen zur Erkenntnisgewinnung bei der Untersuchung von Quantenobjekten (E6, E7).</p> <p>erläutern bei Quantenobjekten das Auftreten oder Verschwinden eines Interferenzmusters mit dem Begriff der 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>	<p>Demonstration des Durchgangs eines einzelnen Quantenobjekts durch einen Doppelspalt mithilfe eines Simulationsprogramms und mithilfe von Videos</p>	

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
Heisenberg'sche Unschärferelation  (2 Ustd.)	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</p> <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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
<b>Atomaufbau:</b> Kern-Hülle-Modell (2 Ustd.)	geben wesentliche Schritte in der historischen Entwicklung der Atommodelle bis hin zum Kern-Hülle-Modell wieder (UF1),	Recherche in Literatur und Internet	Diverse Atommodelle (Antike bis Anfang 20. Jhd.)

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
		Rutherford'scher Streuversuch	Per Arbeitsblatt oder Applet (z.B. <a href="http://www.schulphysik.de/java/physlet/applets/rutherford.html">http://www.schulphysik.de/java/physlet/applets/rutherford.html</a> )
Energiequantelung der Hüllelektronen (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 (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
Bohr'sche Postulate (2 Ustd.)	formulieren geeignete Kriterien zur Beurteilung des Bohr'schen Atommodells aus der Perspektive der klassischen und der Quantenphysik (B1, B4),	Literatur, Arbeitsblatt	Berechnung der Energieniveaus, Bohr'scher Radius
<b>10 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		

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

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

Leitfrage: Wie nutzt man Strahlung in der Medizin?

Inhaltliche Schwerpunkte: Ionisierende Strahlung, Radioaktiver Zerfall

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

(UF3) physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse nach fachlichen Kriterien ordnen und strukturieren,

(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

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

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
<b>Ionisierende Strahlung:</b> Detektoren (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 Nebelkammer	Ggf. Schülermessungen mit Zählrohren (Alltagsgegenstände, Nulleffekt, Präparate etc.)  Demonstration der Nebelkammer, ggf. Schülerbausatz

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
			Material zu Halbleiterdetektoren
Strahlungsarten (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 (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>	

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
Bildgebende Verfahren (4 Ustd.)	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</p> <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>	<p>Nutzung von Strahlung zur Diagnose und zur Therapie bei Krankheiten des Menschen (von Lebewesen) sowie zur Kontrolle bei technischen Anlagen</p>
<b>14 Ustd.</b>	<b>Summe</b>		



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

**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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
<b>Radioaktiver Zerfall:</b> Kernkräfte (1 Ustd.)	benennen Protonen und Neutronen als Kernbausteine, identifizieren Isotope und erläutern den Aufbau einer Nuklidkarte (UF1),	Ausschnitt aus Nuklidkarte	Aufbauend auf Physik- und Chemieunterricht der S I
Zerfallsprozesse	identifizieren natürliche Zerfallsreihen sowie künstlich herbeigeführte Kernumwandlungs-	Elektronische Nuklidkarte	Umgang mit einer Nuklidkarte

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
(7 Ustd.)	prozesse mithilfe der Nuklidkarte (UF2), entwickeln Experimente zur Bestimmung der Halbwertszeit radioaktiver Substanzen (E4, E5),	Radon-Messung im Schulkeller (Zentralabitur 2008)	Siehe <a href="http://www.physik-box.de/radon/radonseite.html">http://www.physik-box.de/radon/radonseite.html</a>  Ggf. Auswertung mit Tabellenkalkulation durch Schüler
	nutzen Hilfsmittel, um bei radioaktiven Zerfällen den funktionalen Zusammenhang zwischen Zeit und Abnahme der Stoffmenge sowie der Aktivität radioaktiver Substanzen zu ermitteln (K3),	Tabellenkalkulation	Linearisierung, Quotientenmethode, Halbwertszeitabschätzung, ggf. logarithmische Auftragung
	leiten das Gesetz für den radioaktiven Zerfall einschließlich eines Terms für die Halbwertszeit her (E6),	Ggf. CAS	Ansatz analog zur quantitativen Beschreibung von Kondensatorentladungen
Altersbestimmung (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>		

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

**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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
<b>Kernspaltung und Kernfusion:</b>  Massendefekt, Äquivalenz von Masse und Energie, Bindungsenergie  (2 Ustd.)	bewerten den Massendefekt hinsichtlich seiner Bedeutung für die Gewinnung von Energie (B1),  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

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Kettenreaktion (2 Ustd.)	erläutern die Entstehung einer Kettenreaktion als relevantes Merkmal für einen selbstablaufenden Prozess im Nuklearbereich (E6),  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 (5 Ustd.)	beschreiben Kernspaltung und Kernfusion unter Berücksichtigung von Bindungsenergien (quantitativ) und Kernkräften (qualitativ) (UF4),	Diagramm $B/A$ gegen $A$ , Tabellenwerk, ggf. Applet	Z.B. <a href="http://www.leifiphysik.de">http://www.leifiphysik.de</a>
	hinterfragen Darstellungen in Medien hinsichtlich technischer und sicherheitsrelevanter Aspekte der Energiegewinnung durch Spaltung und Fusion (B3, K4).	Recherche in Literatur und Internet  Schülerdiskussion, ggf. Fish Bowl, Amerikanische Debatte, Pro-Kontra-Diskussion	Siehe <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>		

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

**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	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
Kernbausteine und Elementarteilchen (4 Ustd.)	systematisieren mithilfe des heutigen Standardmodells den Aufbau der Kernbausteine und erklären mit ihm Phänomene der Kernphysik (UF3),	Existenz von Quarks (Video)  Internet (CERN / DESY)	Da in der Schule kaum Experimente zum Thema „Elementarteilchenphysik“ vorhanden sind, sollen besonders Rechercheaufgaben und Präsentationen im Unterricht genutzt werden.  Internet: <a href="http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/">http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/</a>

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
			Ggf. Schülerreferate
<p>Kernkräfte</p> <p>Austauschteilchen der fundamentalen Wechselwirkungen</p> <p>(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).</p> <p>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</p> <p>Die Bedeutung der Gleichung <math>E=mc^2</math> (den SuS bekannt aus Relativitätstheorie) in Verbindung mit der Heisenberg'schen Unschärferelation in der Form (den SuS bekannt aus Elementen der Quantenphysik) für die Möglichkeit des kurzzeitigen Entstehens von Austauschteilchen ist herauszustellen.</p>
<p>Aktuelle Forschung und offene Fragen der Elementarteilchenphysik</p> <p>(z.B. Higgs-Teilchen, Dunkle Materie, Dunkle Energie, Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie, ...)</p> <p>(3 Ustd.)</p>	<p>recherchieren in Fachzeitschriften, Zeitungsartikeln bzw. Veröffentlichungen von Forschungseinrichtungen zu ausgewählten aktuellen Entwicklungen in der Elementarteilchenphysik (K2),</p>	<p>Literatur und Recherche im Internet</p> <p>„CERN-Rap“:  <a href="http://www.youtube.com/watch?v=7Vs_hToyoGI8">http://www.youtube.com/watch?v=7Vs_hToyoGI8</a></p>	<p>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, ...)</p> <p>Der CERN-Rap gibt eine für Schülerinnen und Schüler motivierend dargestellte Übersicht über die aktuelle Forschung im Bereich der Elementarteilchenphysik</p>

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	Die Schülerinnen und Schüler...		
<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-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/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-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/>

· Übungen zur Teilchenphysik in der Realität:

<http://physicsmasterclasses.org/neu/>

<http://www.teilchenwelt.de/>

· Naturphänomene und Anregungen für den Physikunterricht:

<http://www.solstice.de>

· ... und vieles mehr:

<http://www.teilchenwelt.de/material/materialien-zur-teilchenphysik/>



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

In Absprache mit der Lehrerkonferenz sowie unter Berücksichtigung des Schulprogramms hat die Fachkonferenz Physik die folgenden fachmethodischen und fachdidaktischen Grundsätze beschlossen. Die Grundsätze 1 bis 14 beziehen sich auf fachübergreifende Aspekte, die Grundsätze 15 bis 26 sind fachspezifisch angelegt.

### **Überfachliche Grundsätze:**

1. Geeignete Problemstellungen zeichnen die Ziele des Unterrichts vor und bestimmen die Struktur der Lernprozesse.
2. Inhalt und Anforderungsniveau des Unterrichts berücksichtigen das Leistungsvermögen der Schülerinnen und Schüler.
3. Die Unterrichtsgestaltung ist auf die Ziele und Inhalte abgestimmt.
4. Medien und Arbeitsmittel sind lernernah gewählt.
5. Die Schülerinnen und Schüler erreichen einen Lernzuwachs.
6. Der Unterricht fördert und fordert eine aktive Teilnahme der Lernenden.
7. Der Unterricht fördert die Zusammenarbeit zwischen den Lernenden und bietet ihnen Möglichkeiten zu eigenen Lösungen.
8. Der Unterricht berücksichtigt die individuellen Lernwege der einzelnen Schülerinnen und Schüler.
9. Die Lernenden erhalten Gelegenheit zu selbstständiger Arbeit und werden dabei unterstützt.
10. Der Unterricht fördert strukturierte und funktionale Einzel-, Partner- bzw. Gruppenarbeit sowie Arbeit in kooperativen Lernformen. Konkrete Empfehlungen zu einzelnen Unterrichtsabschnitten werden allen Fachkolleg/innen auf der digitalen Plattform im schulinternen Netz zur Verfügung gestellt.
11. Der Unterricht fördert strukturierte und funktionale Arbeit im Plenum.
12. Die Lernumgebung ist vorbereitet; der Ordnungsrahmen wird eingehalten.
13. Die Lehr- und Lernzeit wird intensiv für Unterrichtszwecke genutzt.
14. Es herrscht ein positives pädagogisches Klima im Unterricht.

### **Fachliche Grundsätze:**

15. Der Physikunterricht ist problemorientiert und an Kontexten ausgerichtet.
16. Der Physikunterricht ist kognitiv aktivierend und verständnisfördernd.
17. Der Physikunterricht unterstützt durch seine experimentelle Ausrichtung Lernprozesse bei Schülerinnen und Schülern.

18. Der Physikunterricht knüpft an die Vorerfahrungen und das Vorwissen der Lernenden an.
19. Der Physikunterricht stärkt über entsprechende Arbeitsformen kommunikative Kompetenzen.
20. Der Physikunterricht bietet nach experimentellen oder deduktiven Erarbeitungsphasen immer auch Phasen der Reflexion, in denen der Prozess der Erkenntnisgewinnung bewusst gemacht wird.
21. Der Physikunterricht fördert das Einbringen individueller Lösungsideen und den Umgang mit unterschiedlichen Ansätzen. Dazu gehört auch eine positive Fehlerkultur.
22. 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.
23. Der Physikunterricht ist in seinen Anforderungen und im Hinblick auf die zu erreichenden Kompetenzen und deren Teilziele für die Schülerinnen und Schüler transparent. Sie erhalten zu jedem Unterrichtsabschnitt eine Zusammenstellung der Kompetenzen mit konkretem Bezug zu den fachlichen Inhalten (Experimente, Geräte, Fragestellungen, Formeln, ...).
24. Der Physikunterricht bietet immer wieder auch Phasen der Übung und des Transfers auf neue Aufgaben und Problemstellungen.
25. Der Physikunterricht bietet die Gelegenheit zum regelmäßigen wiederholenden Üben sowie zu selbstständigem Aufarbeiten von Unterrichtsinhalten.
26. Im Physikunterricht wird ein GTR oder ein CAS verwendet. Die Messwertauswertung kann auf diese Weise oder per PC erfolgen.

Die im Kernlehrplan vorgesehenen Demonstrationsexperimente sollten im Unterricht durchgeführt und (im Leistungskurs nach Möglichkeit quantitativ) ausgewertet werden. Die Untersuchungen können unter Anleitung auch von Schülerinnen und Schülern (z.B. in arbeitsteiligen Gruppen) vorgenommen, ausgewertet und vorgestellt werden, etwa im Rahmen eines als Praktikum gestalteten Unterrichtsabschnittes.

## 2.3 Grundsätze der Leistungsbewertung und Leistungsrückmeldung

Um sowohl Transparenz bei Bewertungen als auch in der Vergleichbarkeit von Leistungen zu gewährleisten, sind durch die Fachgruppe Vereinbarungen zu Bewertungskriterien und deren Gewichtung getroffen worden.

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. Diese 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.

### Überprüfungsformen

In Kapitel 3 des KLP Physik 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.

### 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.

### Beurteilungsbereich Sonstige Mitarbeit

Der Bewertungsbereich „Sonstige Leistungen im Unterricht/Sonstige Mitarbeit“ erfasst die im Unterrichtsgeschehen durch mündliche, schriftliche und ggf. praktische Beiträge sichtbare Kompetenzentwicklung der Schülerinnen und Schüler.

Der Stand der Kompetenzentwicklung wird durch Beobachtungen im Unterricht und durch punktuelle Überprüfungen festgestellt. Der nach einzelnen Unterrichtsabschnitten (in der Regel Quartale) beobachtete Stand muss in eine Note bzw. Punktzahl über-

setzt werden. Die folgende in der Fachkonferenz Physik abgestimmte Tabelle gibt Anhaltspunkte dazu an.

<b>Aspekte der Leistungsbeurteilung</b>	<b>Notenbereich „ausreichend“</b>	<b>Notenbereich „befriedigend“</b>	<b>Notenbereich „gut“</b>	<b>Notenbereich „sehr gut“</b>
Ist physikalisches Grundwissen (Größen, Formelzeichen, Einheiten, Formeln) verfügbar?	unvollständig	meist	sicher	nachhaltig
Wie wird die physikalische Fachsprache verwendet?	mit häufigen Hilfen	mit Hilfen	angemessen	Angemessen und umfassend
Wie gelingt das Veranschaulichen, Zusammenfassen und Beschreiben physikalischer Sachverhalte?	nur in Teilen richtig, oft unklar	mit einigen Fehlern	meist richtig	richtig, klar und umfassend
Können geübte fachspezifische Methoden und Verfahren angewendet werden (z.B. Messreihen graphisch darstellen, Zusammenhänge mathematisieren und Größen berechnen, ...)?	mit häufigen Hilfen	mit Hilfen	meist sicher	eigenständig, kreativ
Wie wird der Unterricht dokumentiert?	ungeordnet	geordnet	Vollständig geordnet	umfassend und übersichtlich
Wie ist der Beitrag zu Partner- oder Gruppenarbeit?	passiv	kooperativ	konstruktiv	initiativ
Wie gelingen Darstellung und Erläuterung von Lösungen (nach Einzel-, Partner-, Gruppenarbeit)?	mit häufigen Hilfen	mit Hilfen	richtig, gut verständlich	präzise, umfassend
Wie gelingen (auch mediengestützte) Präsentationen?	mit größeren Fehlern	mit einigen Fehlern	fachlich richtig	fachlich richtig, gut strukturiert, adressatengerecht
Wie ist der Umgang mit Experimentalmedien?	nur mit starker Anleitung	mit Hilfen sachgerecht	sachgerecht	zielgerichtet, sorgfältig

Wie gelingt der Umgang mit Modellen, Hilfsmitteln und Simulationen?	nur mit starker Anleitung	mit Hilfen fachlich sinnvoll	fachlich sinnvoll	zielgerichtet, eigenständig, kreativ
Wie gelingt die Informationsbeschaffung?	nur mit starker Anleitung	mit Hilfen sachgerecht	sachgerecht	initiativ, selbstständig

Neben der Beobachtung des Prozesses wird der Stand der Kompetenzentwicklung auch durch punktuelle Überprüfungen festgestellt. Außer in Klausuren erfolgt die Überprüfung kurzen schriftlichen, auf die Inhalte weniger vorangegangener Stunden beschränkten Abfragen.

Möglich sind zum Beispiel folgende Verfahren:

„Vokabeltests“	Abfrage neuer Größen, Formelzeichen, Einheiten, Formeln
Auswertung von Messreihen nach geübten Verfahren	z.B. zu einem Demonstrationsversuch
Herleitung von Formeln nach geübten Verfahren	z.B. als Hausaufgabenüberprüfung
Verwendung der Fachsprache	z.B. bei der Erklärung eines Aufbaus oder Zusammenhangs

Die Fachkonferenz Physik vereinbart, dass pro Halbjahr mindestens zwei dieser Abfragen durchgeführt werden.

### Beurteilungsbereich Klausuren

Die Aufgaben für Klausuren in parallelen Kursen werden im Vorfeld abgesprochen und nach Möglichkeit gemeinsam gestellt. Für Aufgabenstellungen mit experimentellem Anteil gelten die Regelungen, die in Kapitel 3 des KLP formuliert sind. Für **Dauer und Anzahl** der Klausuren gilt:

EF: 1 Klausur im ersten Halbjahr und 1 im zweiten Halbjahr (je 2 x 45 Minuten)

Q1: 2 Klausuren pro Halbjahr (je 3 x 45 Minuten im GK und je 4 x 45 Minuten im LK), wobei in einem Fach die letzte Klausur im 2. Halbjahr durch eine Facharbeit ersetzt werden kann bzw. muss.

Q 2.1: 2 Klausuren (je 3 x 45 Minuten im GK und je 4 x 45 Minuten im LK)

Q2.2: 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 wird den korrigierten Klausuren beigelegt und die Bewertung den Schülerinnen und Schülern auf diese Weise transparent gemacht.

Die Zuordnung der Punkte zu den Notenstufen orientiert sich in der Qualifikationsphase am Zuordnungsschema des Zentralabiturs. Die Note ausreichend soll bei Erreichen von ca. 50 % der Punkte 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.

### **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 an den Quartalsenden oder Eltern-/Schülersprechtagen. Auch hier erfolgt eine individuelle Beratung im Hinblick auf Stärken und Verbesserungsperspektiven.

### **Mündliche Abiturprüfungen**

Auch für die mündlichen Abiturprüfungen 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 sind an der Schule derzeit folgende Schulbücher eingeführt:

Einführungsphase: Dorn Bader Physik Einführungsphase (Schroedel-Verlag)

Qualifikationsphase: Dorn Bader Physik 12\_13 (Schroedel-Verlag)

Für die Grundkurse wird in den nächsten Jahren ein neues Schulbuch eingeführt werden, das der im neuen Kernlehrplan vorgesehenen Abfolge der Inhaltsfelder folgt.

Zusätzlich werden Internetangebote genutzt, insbesondere Simulationen und Zusammenfassungen von [www.leifiphysik.de](http://www.leifiphysik.de).

### **3 Entscheidungen zu fach- und unterrichtsübergreifenden Fragen**

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

#### **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 (z.B. Philosophie, Biologie, Chemie) genauere Kenntnisse mitbringen und den Unterricht dadurch bereichern.

#### **Projektkurse**

Der Fachbereich Physik bietet den Projektkurs „Astronomie und Raumfahrt“ an, der in den zwei Halbjahren der Q2 belegt werden kann. Referenzfächer für diesen Projektkurs sind Physik und Mathematik.

#### **Projektstage**

In der letzten Schulwoche vor den Sommerferien finden für die EF und Q1 fachübergreifende Projektstage statt. Die Fachkonferenz Physik versucht, in diesem Zusammenhang mindestens ein Projekt anzubieten (ggf. auch fachübergreifend).

#### **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 Rahmen der Projektwoche vor den Herbstferien ein Projekttag zur Facharbeit statt. An diesem Tag werden einer zentralen Veranstaltung Hinweise zur Themenfindung und Strukturierung einer Facharbeit gegeben. In fachbezogenen Gruppen haben die Schülerinnen und Schüler anschließend Gelegenheit, zu selbstgewählten Themen Gliederungsentwürfe anzufertigen. Dabei werden sie von Lehrer/innen der einzelnen Fachbereiche beraten und in die von der Schule erstellten Richtlinien zur Facharbeit sowie die spezifische Arbeitsweisen im jeweiligen wissenschaftlichen Fachbereich eingeführt.

#### **Exkursionen und Kooperationen**

Die Nähe zur RWTH Aachen und zum Forschungszentrum Jülich bietet Gelegenheiten zu verschiedenen Formen der Kooperation und zu Besuchen in Forschungsrichtungen. Im Leistungskurs wird das Angebot der „Physikwoche“ für besonders interessierte und begabte Schülerinnen und Schüler genutzt (angeboten für Q1, aber auch

möglich in Q2). In der Q2 führt der Leistungskurs eine Exkursion zum Forschungszentrum Jülich durch.

## **4 Qualitätssicherung und Evaluation**

### **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.

### **Fachgruppenarbeit**

Die „Checkliste Fachgruppenarbeit“ 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 Auffälligkeiten	Änderungen/ Konsequenzen/ Perspektivplanung	Wer (Verantwortlich)	Bis wann (Zeitraumen)
<b>Funktionen</b>					
Fachvorsitz					
Stellvertretung					
Sammlungsleitung					
Strahlenschutzbeauftragungen			Fristen beachten!	Alexandra Berg	SJ 2016/17
Sonstige Funktionen <small>(im Rahmen der schulprogrammatischen fächerübergreifenden Schwerpunkte)</small>				Sammlungsleitung: Dominik Renner	
<b>Ressourcen</b>					
personell	Fachlehrkräfte				
	fachfremd				
	Lerngruppen				
	Lerngruppengröße				
	...				
räumlich	Fachräume				
	Bibliothek				
	Computerraum				
	Raum für Fachteamarbeit				
	Sammlungsraum				
materiell/ sachlich	Lehrwerke				
	Fachzeitschriften				
	Ausstattung mit Demonstrationsexperimenten				
	Ausstattung mit Schülerexperimenten				

zeitlich	Abstände Fachteamarbeit				
	Dauer Fachteamarbeit				
<b>Unterrichtsvorhaben</b>					
<b>Leistungsbewertung/ 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				
...				