

**Schulinterner Lehrplan  
zum Kernlehrplan für die gymnasiale Oberstufe  
am Hermann-Vöchting-Gymnasium Blomberg**

**Physik (EF & Q1)**

# Inhalt

	Seite
<b>1 Die Fachgruppe Physik des HVG Blomberg</b>	<b>3</b>
<b>2 Entscheidungen zum Unterricht</b>	<b>5</b>
2.1 Unterrichtsvorhaben	5
2.1.1 <i>Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben (Einführungsphase)</i>	7
2.1.2 <i>Konkretisierte Unterrichtsvorhaben</i>	8
2.1.2.1 <i>Einführungsphase</i>	8
2.1.1 <i>Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben (Q-Phase)</i>	18
2.1.2 <i>Qualifikationsphase: Grundkurs</i>	21
2.1.3 <i>Qualifikationsphase: Leistungskurs</i>	39
2.2 <i>Grundsätze der fachmethodischen und fachdidaktischen Arbeit im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe</i>	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
2.3 <i>Grundsätze der Leistungsbewertung und Leistungsrückmeldung</i>	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
2.4 <i>Lehr- und Lernmittel</i>	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
<b>3 Entscheidungen zu fach- und unterrichtsübergreifenden Fragen</b>	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

## 1 Die Fachgruppe Physik des HVG Blomberg

Das HVG Blomberg befindet sich in einer Kleinstadt im ländlichen Raum. Zurzeit unterrichten ca. 90 Lehrerinnen und Lehrer etwa 1000 Schülerinnen und Schüler, die aus dem Umfeld von Blomberg stammen.

Mit Blick auf heterogene Zusammensetzung der Lerngruppen besteht ein wesentliches Leitziel der Schule in der individuellen Förderung. Die Fachgruppe Physik versucht in besonderem Maße, jeden Lernenden in seiner Kompetenzentwicklung möglichst weit zu bringen. Außerdem wird angestrebt, Interesse an einem naturwissenschaftlich geprägten Studium oder Beruf zu wecken. In diesem Rahmen sollen u.a. Schülerinnen und Schüler mit besonderen Stärken im Bereich Physik unterstützt werden. Dieses drückt sich in AG-Angeboten (Physik-AG, Technik-AG, Roboter-AG) ebenso aus wie in der regelmäßigen Teilnahme von Schülergruppen an Wettbewerben wie *Jugend forscht*. Diese finden in enger Kooperation mit dem Großunternehmen Phoenix Contact, dem größten Arbeitgeber der Region, statt. Hiermit wird besonders begabten Lernenden die Teilnahme an einem Projektkurs „Elektrotechnik“ ermöglicht. Hier können sie sogar eine besondere Lernleistung als Zusatzfach für das Abitur erzielen.

Der Unterricht wird – soweit möglich – auf der Stufenebene parallelisiert. Auch in der Oberstufe ist der Austausch zu Inhalten, methodischen Herangehensweisen und zu fachdidaktischen Problemen zwischen den eingesetzten Kolleginnen und Kollegen intensiv. Die Einführung des Doppelstundenmodells am HVG hat den Physikunterricht positiv beeinflusst. Insbesondere in Doppelstunden können Experimente in einer einzigen Unterrichtsphase gründlich vorbereitet und ausgewertet werden.

Die Ausstattung mit experimentiergeeigneten Fachräumen und mit Materialien ist zufriedenstellend. Der Etat für Neuanschaffungen und Reparaturen ist, auch durch das Engagement außerschulischer Partner, relativ gut. Schrittweise sollen mehr Möglichkeiten für Schülerversuche an geeigneten Stellen geschaffen werden und die entsprechenden Materialien angeschafft werden. Darüber hinaus setzen wir Schwerpunkte in der Nutzung von neuen Medien. Im Fach Physik gehört dazu auch die Erfassung von Daten und Messwerten mit modernen digitalen Medien (z.B. Cassy). An der Schule existieren zwei Computerräume, die nach Reservierung auch von Physikkursen für bestimmte Unterrichtsprojekte genutzt werden können.

In der Oberstufe wird das Fach Physik in der Einführungsphase in der Regel mit zwei Grundkursen, in der Qualifikationsphase je Jahrgangsstufe mit einem Grundkurs und einem Leistungskurs vertreten. Der Leistungskurs findet ggf. in Kooperation mit dem städtischen Gymnasium Barntrup

statt. Die Lehrerbesetzung in Physik ermöglicht einen ordnungsgemäßen Fachunterricht in der Sekundarstufe I, auch die Kursangebote in der Oberstufe sind gesichert. Dazu gehört auch die Betreuung in den AGs, dem Projektkurs und bei der Erstellung von Arbeiten zum Wettbewerb „Jugend forscht“.

## 2 Entscheidungen zum Unterricht

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

### 2.1 Unterrichtsvorhaben

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

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

(z.B. Praktika, Kursfahrten o.ä.) zu erhalten, wurden im Rahmen dieses schulinternen Lehrplans ca. 75 Prozent der Bruttounterrichtszeit verplant.

Während der Fachkonferenzbeschluss zum „Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben“ einschließlich der dort genannten Kontexte zur Gewährleistung vergleichbarer Standards sowie zur Absicherung von Lerngruppenübertritten und Lehrkraftwechseln für alle Mitglieder der Fachkonferenz Bindekraft entfalten soll, besitzt die exemplarische Ausweisung „konkretisierter Unterrichtsvorhaben“ (Kapitel 2.1.2, Tabellenspalten 3 und 4) empfehlenden Charakter, es sei denn, die Verbindlichkeit bestimmter Aspekte ist dort, markiert durch Fettdruck, explizit angegeben. Insbesondere Referendarinnen und Referendaren sowie neuen Kolleginnen und Kollegen dienen die konkretisierten Unterrichtsvorhaben vor allem zur standardbezogenen Orientierung in der neuen Schule, aber auch zur Verdeutlichung von unterrichtsbezogenen fachgruppeninternen Absprachen zu didaktisch-methodischen Zugängen, fächerübergreifenden Kooperationen, Lernmitteln und -orten sowie vorgesehenen Leistungsüberprüfungen, die im Einzelnen auch den Kapiteln 2.2 bis 2.4 zu entnehmen sind. Abweichungen von den empfohlenen Vorgehensweisen bezüglich der konkretisierten Unterrichtsvorhaben sind im Rahmen der pädagogischen Freiheit der Lehrkräfte jederzeit möglich. Sicherzustellen bleibt allerdings auch hier, dass im Rahmen der Umsetzung der Unterrichtsvorhaben insgesamt alle Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans Berücksichtigung finden.

## 2.1.1 Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben (Einführungsphase)

Unterrichtsvorhaben der Einführungsphase		
Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
<p><i>Physik im Straßenverkehr und im Sport</i>            Wie lassen sich Bewegungen vermessen und analysieren?            Zeitbedarf: ca. 20 Wochen</p>	<p><i>Mechanik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kräfte und Bewegungen</li> <li>• Energie und Impuls</li> </ul>	<p>E7 Arbeits- und Denkweisen            K4 Argumentation            E5 Auswertung            E6 Modelle            UF2 Auswahl</p>
<p><i>Auf dem Weg in den Weltraum</i>            Wie kommt man zu physikalischen Erkenntnissen über unser Sonnensystem?            Zeitbedarf: ca. 14 Wochen</p>	<p><i>Mechanik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gravitation</li> <li>• Kräfte und Bewegungen</li> <li>• Energie und Impuls</li> </ul>	<p>UF4 Vernetzung            E3 Hypothesen            E6 Modelle            E7 Arbeits- und Denkweisen</p>
<p><i>Physik und Musik</i>            Wie lassen sich Schwingungen und Wellen physikalisch untersuchen?            Zeitbedarf: ca. 6 Wochen</p>	<p><i>Mechanik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwingungen und Wellen</li> <li>• Kräfte und Bewegungen</li> <li>• Energie und Impuls</li> </ul>	<p>E2 Wahrnehmung und Messung            UF1 Wiedergabe            K1 Dokumentation</p>
<p><b>Summe Einführungsphase: ca. 40 Wochen</b></p>		

## 2.1.2 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben

### 2.1.2.1 Einführungsphase

**Inhaltsfeld: *Mechanik***

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

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

Inhaltliche Schwerpunkte: Kräfte und Bewegungen, Energie und Impuls

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können ...

(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen

(K4) physikalische Aussagen und Behauptungen mit sachlich fundierten und überzeugenden Argumenten begründen bzw. kritisieren.

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

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

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



Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
Physik im Straßenverkehr	Beschreibung und Analyse von linearen Bewegungen	<p>erläutern die Größen Position, Strecke, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse, Kraft, Arbeit, Energie, Impuls und ihre Beziehungen zueinander an unterschiedlichen Beispielen (UF2, UF4),</p> <p>planen selbstständig Experimente zur quantitativen und qualitativen Untersuchung einfacher Zusammenhänge (u.a. zur Analyse von Bewegungen), führen sie durch, werten sie aus und bewerten Ergebnisse und Arbeitsprozesse (E2, E5, B1),</p> <p>unterscheiden gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen und erklären zugrundeliegende Ursachen (UF2),</p> <p>stellen Daten in Tabellen und sinnvoll skalierten Diagrammen (u. a. <i>t-s</i>- und <i>t-v</i>-Diagramme, Vektordiagramme) 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 (u.a. Tabellenkalkulation, GTR) (E6),</p> <p>geben Kriterien (u.a. Objektivität, Reproduzierbarkeit, Widerspruchsfreiheit, Überprüfbarkeit) an, um die Zuverlässigkeit von Messergebnissen und physikalischen Aussagen zu beurteilen, und nutzen diese bei der Bewertung von eigenen und fremden Untersuchungen (B1),</p> <p>reflektieren Regeln des Experimentierens in der Planung und Auswertung von Versuchen (u.a. Zielorientierung, Sicherheit, Variablenkontrolle, Kontrolle von Störungen und Fehlerquellen) (E2, E4),</p>	<p>Fahrbahnexperimente mit (digitaler) Messwerterfassung:</p> <p>Messreihen zur gleichförmigen und zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung</p>	<p>Grüne Welle</p> <p>Geschwindigkeit als indirekte Messgröße</p> <p>Durchschnitts-/ Momentangeschwindigkeit</p> <p>Blitzer</p> <p>Tacho/ Tachoscheibe</p> <p>Beschleunigungsvorgänge/ Bremsweg</p>

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
Physik im Sport	<p>Beschreibung und Analyse der Fallbewegung</p> <p>Beschreibung und Analyse von Wurfbewegungen</p>	<p>vereinfachen komplexe Bewegungs- und Gleichgewichtszustände durch Komponentenerlegung bzw. Vektoraddition (E1),</p> <p>entscheiden begründet, welche Größen bei der Analyse von Bewegungen zu berücksichtigen oder zu vernachlässigen sind (E1, E4),</p> <p>planen selbstständig Experimente zur quantitativen und qualitativen Untersuchung einfacher Zusammenhänge (u.a. zur Analyse von Bewegungen), führen sie durch, werten sie aus und bewerten Ergebnisse und Arbeitsprozesse (E2, E5, B1),</p> <p>stellen Daten in Tabellen und sinnvoll skalierten Diagrammen (u. a. <math>t</math>-<math>s</math>- und <math>t</math>-<math>v</math>-Diagramme, Vektordiagramme) 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>Versuche zum freien Fall</p> <p>Wurfbewegungen: Wurfgerät für senkrechten und waagerechten Wurf <i>Schiefer Wurf</i></p>	<p>Ballwurf beim Aufschlag im Tischtennis Messung der Reaktionszeit mit Lineal</p> <p>Ballwurf bei rhythmischer Sportgymnastik Trampolinsprung Fallschirmsprung Turmspringen Abstoß beim Fußball Kugelstoßen (günstigster Abwurfwinkel)</p>

<b>Fachlicher Kontext</b> (Kontextbausteine)	<b>Inhalt</b>	<b>Kompetenzen</b> Die Schülerinnen und Schüler...	<b>Experiment / Medium</b>	<b>Kommentar/didaktische Hinweise</b>
Physik im Straßenverkehr	Newton'sche Gesetze, Kraft als Ursache von Bewegungsänderung	<p>erläutern die Größen Position, Strecke, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse, Kraft, Arbeit, Energie, Impuls und ihre Beziehungen zueinander an unterschiedlichen Beispielen (UF2, UF4),</p> <p>berechnen mithilfe des Newton'schen Kraftgesetzes Wirkungen einzelner oder mehrerer Kräfte auf Bewegungszustände und sagen sie unter dem Aspekt der Kausalität vorher (E6),</p> <p>reflektieren Regeln des Experimentierens in der Planung und Auswertung von Versuchen (u. a. Zielorientierung, Sicherheit, Variablenkontrolle, Kontrolle von Störungen und Fehlerquellen) (E2, E4),</p> <p>geben Kriterien (u.a. Objektivität, Reproduzierbarkeit, Widerspruchsfreiheit, Überprüfbarkeit) an, um die Zuverlässigkeit von Messergebnissen und physikalischen Aussagen zu beurteilen, und nutzen diese bei der Bewertung von eigenen und fremden Untersuchungen (B1),</p> <p>entnehmen Kernaussagen zu naturwissenschaftlichen Positionen zu Beginn der Neuzeit aus einfachen historischen Texten (K2, K4).</p>	<p>Fahrbahnversuche mit (digitaler) Messwerverfassung:</p> <p>Messung der Beschleunigung eines Körpers in Abhängigkeit von der beschleunigenden Kraft</p>	<p>Kraft als zusammengesetzte Größe (im Vergleich zur SI)</p> <p>Das SI-Einheitensystem</p> <p>Beschleunigung eines Autos</p>

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
<p>Physik im Straßenverkehr (Auto in Kurve)</p> <p>Physik im Sport (Schleuderball, Hammerwurf)</p> <p><i>Alternativ: Auf dem Weg in den Weltraum (Sattelliten- und Planetenbahnen)</i></p>	<p>Kreisbewegungen</p>	<p>analysieren und berechnen auftretende Kräfte bei Kreisbewegungen (E6),</p> <p><i>entnehmen Kernaussagen zu naturwissenschaftlichen Positionen zu Beginn der Neuzeit aus einfachen historischen Texten (K2, K4)</i></p>	<p>Versuche mit dem Zentralkraftgerät</p> <p>Möglicher Schülerversuch: Messung der Zentripetalkraft nach Maey</p>	<p>An dieser Stelle können das induktive und das deduktive Verfahren zur Erkenntnisgewinnung am Beispiel der Zentripetalkraft als zwei wesentliche Erkenntnismethoden der Physik erörtert werden.</p> <p>Beschreibung von gleichförmigen Kreisbewegungen</p> <p>Winkelgeschwindigkeit, Periodendauer, Bahngeschwindigkeit, Frequenz</p> <p>Zentripetalkraft und Zentripetalbeschleunigung</p> <p>Scheinkräfte (Fliehkraft)</p> <p>Corioliskraft</p> <p><b>Hinweis: Die Kreisbewegung kann chronologisch auch im Kontext „Auf dem Weg in den Weltraum“ behandelt werden.</b></p> <p><i>ISS</i></p> <p><i>Newtons Idee vom waagerechten Wurf zur Kreisbewegung</i></p>

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
Physik im Straßenverkehr  Physik im Sport         <i>Alternativ: Auf dem Weg in den Weltraum</i>	Energie und Energieerhaltung Leistung Impuls und Impulserhaltung Rückstoß	erläutern die Größen Position, Strecke, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse, Kraft, Arbeit, Energie, Impuls und ihre Beziehungen zueinander an unterschiedlichen Beispielen (UF2, UF4), analysieren in verschiedenen Kontexten Bewegungen qualitativ und quantitativ sowohl aus einer Wechselwirkungsperspektive als auch aus einer energetischen Sicht (E1, UF1), stellen Daten in Tabellen und sinnvoll skalierten Diagrammen (u. a. <i>t-s</i> - und <i>t-v</i> -Diagramme, Vektordiagramme) von Hand und mit digitalen Werkzeugen angemessen präzise dar (K1, K3), verwenden Erhaltungssätze (Energie- und Impulsbilanzen), um Bewegungszustände zu erklären sowie Bewegungsgrößen zu berechnen (E3, E6), beschreiben eindimensionale Stoßvorgänge mit Wechselwirkungen und Impulsänderungen (UF1), begründen argumentativ Sachaussagen, Behauptungen und Vermutungen zu mechanischen Vorgängen und ziehen dabei erarbeitetes Wissen sowie Messergebnisse oder andere objektive Daten heran (K4), bewerten begründet die Darstellung bekannter mechanischer und anderer physikalischer Phänomene in verschiedenen Medien (Printmedien, Filme, Internet) bezüglich ihrer Relevanz und Richtigkeit (K2, K4),	Faden- oder Federpendel      qualitative Fahrbahnversuche zu elastischen und unelastischen Stößen  Simulationsprogramme  <i>Wasserrakete</i>	Energie als Erhaltungsgröße: Pendel, Achterbahn, Halfpipe, Hochsprung, Turmspringen, Turnen, Stabhochsprung, Bobfahren, Skisprung  Leistungsbegriff: Energieverbrauch/ Leistung eines PKWs  Begriff des Impulses und Impuls als Erhaltungsgröße Elastischer und inelastischer Stoß: Kopplung zweier Wagons, Segelboot mit Ventilator, Rudern, Auffahrunfall, Autoscooter  <b>Hinweis: Eine Erweiterung des Impulsbegriffs kann auch am Ende des Kontextes „Auf dem Weg in den Weltraum“ am Beispiel des Raketenantriebs erfolgen. Damit kann ein Übergang zum Thema Gravitation erfolgen.</b>

**Kontext: Auf dem Weg in den Weltraum**

Leitfrage: Wie kommt man zu physikalischen Erkenntnissen über unser Sonnensystem?

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

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

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

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

(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
Auf dem Weg in den Weltraum	Aristotelisches Weltbild, Kopernikanische Wende	stellen Änderungen in den Vorstellungen zu Bewegungen und zum Sonnensystem beim Übergang vom Mittelalter zur Neuzeit dar (UF3, E7),  erläutern unterschiedliche Positionen zum Sinn aktueller Forschungsprogramme (z.B. Raumfahrt, Mobilität) und beziehen Stellung dazu (B2, B3).	Recherche: Geozentrisches und heliozentrisches Planetenmodell  Recherche zu aktuellen Themen der Astronomie und Raumfahrt	Vom Beobachter auf der Erde zum Beobachter im Weltall.
Auf dem Weg in den Weltraum	Planetenbewegungen und Kepler'sche Gesetze	ermitteln mithilfe der Kepler'schen Gesetze und des Gravitationsgesetzes astronomische Größen (E6), beschreiben an Beispielen Veränderungen im Weltbild und in der Arbeitsweise der Naturwissenschaften, die durch die Arbeiten von Kopernikus, Kepler, Galilei und Newton initiiert wurden (E7, B3).	Animationen zur Darstellung der Planetenbewegungen	Himmelsmechanik Tycho Brahes Messungen und Keplers Schlussfolgerungen

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
Auf dem Weg in den Weltraum	Newton'sches Gravitationsgesetz, Gravitationsfeld	<p>beschreiben Wechselwirkungen im Gravitationsfeld und verdeutlichen den Unterschied zwischen Feldkonzept und Kraftkonzept (UF2, E6),</p> <p>beschreiben an Beispielen Veränderungen im Weltbild und in der Arbeitsweise der Naturwissenschaften, die durch die Arbeiten von Kopernikus, Kepler, Galilei und Newton initiiert wurden (E7, B3),</p> <p>analysieren und berechnen auftretende Kräfte bei Kreisbewegungen (E6),</p>	Gravitationswaage (qualitativ)	<p>Feldbegriff diskutieren, Definition der Feldstärke über Messvorschrift „Kraft auf Probekörper“ Feldlinien</p> <p>Homogenes/ radialsymmetrisches Feld</p> <p>Anwendung des Newton'schen Gravitationsgesetzes und der Kepler'schen Gesetze zur Berechnung von Satellitenbahnen</p> <p>Massenbestimmungen im Planetensystem, Fluchtgeschwindigkeiten</p> <p><i>Newton'sches Gravitationsgesetz als Zusammenfassung bzw. Äquivalent der Kepler'schen Gesetze</i></p>

## Kontext: *Physik und Musik*

Leitfrage: Wie lassen sich Schwingungen und Wellen physikalisch untersuchen?

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

### Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können

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

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

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

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
Physik und Musik  <i>Alternativ: Auf dem Weg in den Weltraum</i>	Entstehung und Ausbreitung von Schall  Grundbegriffe von Schwingungen (Pendel)  <i>Grundbegriffe von Schwingungen (Pendel) Schwingungsgleichung</i>	beschreiben Schwingungen und Wellen als Störungen eines Gleichgewichts und identifizieren die dabei auftretenden Kräfte (UF1, UF4),	Stimmgabeln, Lautsprecher, Frequenzgenerator, Frequenzmessgerät, Schallpegelmesser, rußgeschwärzte Glasplatte, Schreibstimmgabel, Klingel und Vakuumglocke  Feder- und Fadenpendel	Erarbeitung der Grundgrößen zur Beschreibung von Schwingungen und Wellen Harmonische Schwingungen Frequenz, Wellenlänge und Amplitude ausgehend von den Höreindrücken des Menschen Veranschaulichung der Rückstellkraft  <i>Historische Versuche zur Geophysik: Pendeluhren; Problem von Jean Richer; Foucault'sches Pendel</i>
Physik und Musik	Modelle der Wellenausbreitung Schallwellen (Geschwindigkeit)	beschreiben Schwingungen und Wellen als Störungen eines Gleichgewichts und identifizieren die dabei auftretenden Kräfte (UF1, UF4), erklären qualitativ die Ausbreitung mechanischer Wellen (Transversal- oder Longitudinalwelle) mit den Eigenschaften des Ausbreitungsmediums (E6),	Lange Schraubenfeder, Wellenmaschine, Simulationsprogramme, Wellenwanne	Longitudinal- und Transversalwellen Ausbreitungsmedium, Möglichkeit der Ausbreitung longitudinaler. bzw. transversaler Schallwellen in Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern <i>Reflexion, Beugung, Brechung in der Wellenwanne Stehende Wellen</i>
Physik und Musik	Erzwungene Schwingungen und Resonanz	erläutern das Auftreten von Resonanz mithilfe von Wechselwirkung und Energie (UF1).	Stimmgabeln Anregung eines Federpendels mit Hilfe eines Elektromotors	Eigenfrequenz Resonanz (auch Tacoma-Bridge, Millennium-Bridge, Glas „zersingen“) Resonanzkörper von Musikinstrumenten



<b>Fachlicher Kontext</b> (Kontextbausteine)	<b>Inhalt</b>	<b>Kompetenzen</b> Die Schülerinnen und Schüler...	<b>Experiment / Medium</b>	<b>Kommentar/didaktische Hinweise</b>
<i>Mögliche Variante mit Ergänzungen: Stoßdämpferprüfung</i>	<i>Gedämpfte/ ungedämpfte Schwingungen Erzwungene Schwingungen Resonanz</i>		<i>Gedämpfte Schwingung am U-Rohr; Anregung eines Federpendels mit Hilfe eines Elektromotors im Wasser</i>	

## 2.1.1 Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben (Q-Phase)

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

<b>Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q1) – LEISTUNGSKURS</b>		
Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
<p><i>Untersuchung von Elektronen</i> Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden? 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 UF2 Auswahl E6 Modelle K3 Präsentation B1 Kriterien B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><i>Aufbau und Funktionsweise wichtiger Versuchs- und Messapparaturen</i> Wie und warum werden physikalische Größen meistens elektrisch erfasst und wie werden sie verarbeitet? Zeitbedarf: 22 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>UF2 Auswahl UF4 Vernetzung E1 Probleme und Fragestellungen E5 Auswertung E6 Modelle K3 Präsentation B1 Kriterien B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><i>Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie</i> Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden? Zeitbedarf: 22 Ustd.</p>	<p><i>Elektrik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektromagnetische Induktion</li> </ul>	<p>UF2 Auswahl E6 Modelle B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><i>Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübermittlung</i> Wie können Nachrichten ohne Materietransport übermittelt werden? 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 UF2 Auswahl E4 Untersuchungen und Experimente E5 Auswertung E6 Modelle K3 Präsentation B1 Kriterien B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><i>Erforschung des Photons</i> <i>Besteht Licht doch aus Teilchen?</i> Zeitbedarf: 10 Ustd.</p>	<p><i>Quantenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Licht und Elektronen als Quantenobjekte</i></li> <li>• <i>Welle-Teilchen-Dualismus</i></li> <li>• <i>Quantenphysik und klassische Physik</i></li> </ul>	<p>UF2 Auswahl E6 Modelle E7 Arbeits- und Denkweisen</p>
<p><i>Röntgenstrahlung, Erforschung des Photons</i> <i>Was ist Röntgenstrahlung?</i> Zeitbedarf: 9 Ustd.</p>	<p><i>Quantenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Licht und Elektronen als Quantenobjekte</i></li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe E6 Modelle</p>

<p><i>Erforschung des Elektrons</i>  <i>Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?</i>  <i>Zeitbedarf: 6 Ustd.</i></p>	<p><i>Quantenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Welle-Teilchen-Dualismus</i></li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe  K3 Präsentation</p>
<p><i>Die Welt kleinster Dimensionen – Mikroobjekte und Quantentheorie</i>  <i>Was ist anders im Mikrokosmos?</i>  <i>Zeitbedarf: 10 Ustd.</i></p>	<p><i>Quantenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Welle-Teilchen-Dualismus und Wahrscheinlichkeitsinterpretation</i></li> <li>• <i>Quantenphysik und klassische Physik</i></li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe  E7 Arbeits- und Denkweisen</p>
<p><b>Summe Qualifikationsphase (Q1) – LEISTUNGSKURS:</b></p>		

## 2.1.2 Qualifikationsphase: Grundkurs

### Inhaltsfeld: *Elektrodynamik (GK)*

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

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

Inhaltliche Schwerpunkte: Spannung und elektrische Energie, Induktion, Spannungswandlung

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

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

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

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

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

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

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

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
Wandlung von mechanischer in elektrische Energie	<p>Wiederholung Wandlung von elektrischer in mechanische Energie</p> <p>Einführung und Messung von magnetischen Feldern mit der Hallsonde</p> <p>Elektromagnetische Induktion Induktionsspannung</p>	<p>bestimmen die relative Orientierung von Bewegungsrichtung des Leiters, Magnetfeldrichtung und resultierender Kraftwirkung mithilfe einer Drei-Finger-Regel</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, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5).</p>	<p>Strom in einem beweglichen Leiter im (homogenen) Magnetfeld - „<b>Leiterschaukelversuch I</b>“</p> <p>(evtl. Stromwaage) Messung von magnetischen Feldern von Spulen mit der Hallsonde</p> <p>„<b>Leiterschaukelversuch II</b>“ und Experimente mit Spulen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Messung von Spannungen mit diversen Spannungsmessgeräten</li> <li>- Messung von Spannungen, die durch Bewegung der Leiterschaukel bzw. Spulen im B-Feld entstehen</li> <li>- Messung von Spannungen, die durch B-Feldänderung entstehen</li> </ul> <p>Gedankenexperimente zur Überführungsarbeit, die an einer Ladung verrichtet wird, die in einem Magnetfeld bewegt wird.</p> <p>Deduktive Herleitung der Beziehung zwischen <math>U</math>, <math>v</math> und <math>B</math>.</p>	<p>Als Einführung empfiehlt sich eine Wiederholung der Leiterschaukelversuche, die die Umwandlung von elektrischer Energie in mechanische Energie (mit der dortigen Drei-Finger-Regel der linken Hand) zeigen und des Elektromotors als Anwendung.</p> <p>Einführung des Begriffs des magnetischen Feldes (in Analogie zum Gravitationsfeld durch Kraft auf Probemagnet, in diesem Fall stromdurchflossener Leiter) und des Zusammenhangs zwischen magnetischer Kraft, Leiterlänge und Stromstärke (<math>B \sim nI/l</math>).</p> <p>Definition der Spannung als Energie pro Ladung (<math>U = W_{el}/Q</math>).</p> <p>Das Entstehen einer Induktionsspannung bei bewegtem Leiter im Magnetfeld wird mit Hilfe der Lorentzkraft erklärt, eine Beziehung zwischen Induktionsspannung (<math>U_{ind} = Bvl</math>), Leitergeschwindigkeit und Stärke des Magnetfeldes wird (deduktiv) hergeleitet mit Angabe der Formel für die Lorentzkraft: <math>F_L = evB</math></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>

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
Technisch praktikable Generatoren	Erzeugung sinusförmiger Wechselspannungen	<p>recherchieren bei vorgegebenen Fragestellungen historische Vorstellungen und Experimente zu Induktionsercheinungen (K2),</p> <p>erläutern adressatenbezogen Zielsetzungen, Aufbauten und Ergebnisse von Experimenten im Bereich der Elektrodynamik jeweils sprachlich angemessen und verständlich (K3),</p>	<p>Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen, Filme und Applets zum Generatorprinzip</p> <p>Experimente mit <b>drehenden Leiterschleifen</b> in (näherungsweise homogenen) Magnetfeldern, <b>Wechselstromgeneratoren</b></p>	Hier bietet es sich an, arbeitsteilige Präsentationen auch unter Einbezug von Realexperimenten anfertigen zu lassen.
	Messung und Registrierung von Induktionsspannungen	<p>erläutern das Entstehen sinusförmiger Wechselspannungen in Generatoren (E2, E6),</p> <p>werten Messdaten, die mit einem <i>Oszilloskop</i> bzw. mit einem <i>Messwerterfassungssystem</i> gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5).</p> <p>führen Induktionsercheinungen an einer <i>Leiterschleife</i> auf die beiden grundlegenden Ursachen „zeitlich veränderliches Magnetfeld“ bzw. „zeitlich veränderliche (effektive) Fläche“ zurück (UF3, UF4),</p>	Messung und Registrierung von Induktionsspannungen mit <b>Oszilloskop</b> und <b>digitalem Messwerterfassungssystem</b>	Der Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und zeitlicher Veränderung der senkrecht vom Magnetfeld durchsetzten Fläche ( $U_{\text{ind}} = B \cdot \Delta A / \Delta t$ ) wird „deduktiv“ erschlossen.

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
Nutzbarmachung elektrischer Energie durch „Transformation“	Transformator	<p>erläutern adressatenbezogenen 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 grundlegenden Ursachen „zeitlich veränderliches Magnetfeld“ bzw. „zeitlich veränderliche (effektive) Fläche“ zurück (UF3, UF4),</p>	<p>diverse „Netzteile“ von Elektro-Kleingeräten (mit klassischem Transformator)</p> <p>Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen</p> <p>Demo-<b>Aufbautransformator</b> 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>



Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
<b>Freilandleitung</b>	<p>Energieerhaltung Ohm'sche „Verluste“</p> <p><i>Fakultativ: Wirkungsgrad eines Transformators</i></p>	<p>verwenden ein physikalisches <i>Modell-experiment zu Freileitungen</i>, um technologische Prinzipien der Bereitstellung und Weiterleitung von elektrischer Energie zu demonstrieren und zu erklären (K3),</p> <p>bewerten die Notwendigkeit eines geeigneten Transformierens der Wechselspannung für die effektive Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B1),</p> <p>zeigen den Einfluss und die Anwendung physikalischer Grundlagen in Lebenswelt und Technik am Beispiel der Bereitstellung und Weiterleitung elektrischer Energie auf (UF4),</p> <p>beurteilen Vor- und Nachteile verschiedener Möglichkeiten zur Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B2, B1, B4).</p>	<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>Messungen am Aufbautransformator, Berechnungen an diversen Netzteilen</p>	<p>Hier bietet sich ein arbeitsteiliges Gruppenpuzzle an, in dem Modellexperimente einbezogen werden.</p> <p>Eventuell als Schülervortrag</p>

## 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,

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
Wirbelströme im Alltag	Lenz'sche Regel	erläutern anhand des <i>Thomson'schen Ringversuchs</i> die Lenz'sche Regel (E5, UF4),  bewerten bei technischen Prozessen das Auftreten erwünschter bzw. nicht erwünschter Wirbelströme (B1),	Freihandexperiment: Untersuchung der Relativbewegung eines aufgehängten Metallrings und eines starken Stabmagneten  <b>Thomson'scher Ringversuch</b>  diverse technische und spielerische Anwendungen, z.B. Dämpfungselement an einer Präzisionswaage, Wirbelstrombremse, „fallender Magnet“ im Alu-Rohr.	Ausgehend von kognitiven Konflikten bei den Ringversuchen wird die Lenz'sche Regel erarbeitet  Erarbeitung von Anwendungsbeispielen zur Lenz'schen Regel (z.B. Wirbelstrombremse bei Fahrzeugen oder an der Kreissäge)

## 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,

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
Erforschung des Lichts	Kreiswellen, ebene Wellen, Beugung, Brechung, Beugung und Interferenz, Lichtwellenlänge, Lichtfrequenz	veranschaulichen mithilfe der <b>Wellenwanne</b> qualitativ unter Verwendung von Fachbegriffen auf der Grundlage des Huygens'schen Prinzips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Beugung, Interferenz, Reflexion und Brechung (K3),  bestimmen Wellenlängen und Frequenzen von Licht mit <i>Doppelspalt</i> und <i>Gitter</i> (E5),	<b>Wellenwanne, Doppelspalt und Gitter</b>  quantitative Experimente mit Laserlicht	Möglicher Einstieg: Beugung von Laserlicht Modellbildung mit Hilfe der Wellenwanne Bestimmung der Wellenlängen von Licht mit Doppelspalt und Gitter
	Quantelung der Energie von Licht, Austrittsarbeit	demonstrieren anhand eines <b>Experiments zum Photoeffekt</b> den Quantencharakter von Licht und bestimmen den Zusammenhang von Energie, Wellenlänge und Frequenz von Photonen sowie die Austrittsarbeit der Elektronen (E5, E2)	<b>Photoeffekt:</b> Hallwachsversuch Vakuumphotозelle	Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums und der Austrittsarbeit  Die Elementarladung für den Zusammenhang zwischen Spannung, Ladung und Überföhrungsarbeit wird vorgegeben und nur plausibel gemacht. Sie muss an dieser Stelle nicht grundlegend hergeleitet werden.

### 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,

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
Erforschung des Elektrons	Elementarladung	<p>beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern deren Definitionsgleichungen. (UF2, UF1),</p> <p>erläutern anhand einer vereinfachten Version des <b>Millikanversuchs</b> die grundlegenden Ideen und Ergebnisse zur Bestimmung der Elementarladung (UF1, E5),</p> <p><i>untersuchen, ergänzend zum Realexperiment, Computersimulationen zum Verhalten von Quantenobjekten (E6).</i></p>	<p><b>Millikanversuch</b> Schwebefeldmethode (keine Herleitung der Stokes'schen Reibung)</p>	<p>Begriff des elektrischen Feldes in Analogie zum Gravitationsfeld besprechen, Definition der Feldstärke über die Kraft auf einen Probekörper, in diesem Fall die Ladung</p> <p>Homogenes elektrisches Feld im Plattenkondensator, Zusammenhang zwischen Feldstärke im Plattenkondensator, Spannung und Abstand der Kondensatorplatten vorgeben und gegebenenfalls durch Auseinanderziehen der geladenen Platten demonstrieren</p>

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
	Elektronenmasse	<p>beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern deren Definitionsgleichungen. (UF2, UF1),</p> <p>bestimmen die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer elektrischen Spannung (UF2),</p> <p>modellieren Vorgänge im <i>Fadenstrahlrohr</i> (Energie der Elektronen, Lorentzkraft) mathematisch, variieren Parameter und leiten dafür deduktiv Schlussfolgerungen her, die sich experimentell überprüfen lassen, und ermitteln die Elektronenmasse (E6, E3, E5),</p>	<p><b><i>e/m</i>-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr und Helmholtzspulenpaar</b></p> <p><i>Ablenkung des Strahls mit Permanentmagneten (Lorentzkraft)</i></p>	<p>Vertiefung des Zusammenhangs zwischen Spannung, Ladung und Überführungsarbeit am Beispiel Elektronenkanone</p> <p><b>Hinweis: Die Inhalte Elementarladung und Elektronenmasse können auch vor dem Inhaltsfeld Elektrodynamik behandelt werden. Dadurch werden das elektrische und magnetische Feld bereits vor dem Inhaltsfeld Elektrodynamik eingeführt.</b></p>
	Streuung von Elektronen an Festkörpern, de Broglie-Wellenlänge	<p>erläutern die Aussage der de Broglie-Hypothese, wenden diese zur Erklärung des Beugungsbildes beim <i>Elektronenbeugungsexperiment</i> an und bestimmen die Wellenlänge der Elektronen (UF1, UF2, E4).</p>	<p><b>Experiment zur Elektronenbeugung an polykristallinem Graphit</b></p>	<p>Veranschaulichung der Bragg-Bedingung analog zur Gitterbeugung</p> <p><b>Hinweis: Die Erforschung des Elektrons kann auch vor der Erforschung des Lichts erfolgen.</b></p>

## 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.

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
Photonen und Elektronen als Quantenobjekte	Licht und Materie	<p>zeigen an Beispielen die Grenzen und Gültigkeitsbereiche von Wellen- und Teilchenmodellen für Licht und Elektronen auf (B4, K4),</p> <p>verdeutlichen die Wahrscheinlichkeitsinterpretation für Quantenobjekte unter Verwendung geeigneter Darstellungen (Graphiken, Simulationsprogramme) (K3).</p> <p>beschreiben und diskutieren die Kontroverse um die Kopenhagener Deutung und den Welle-Teilchen-Dualismus (B4, K4),</p> <p>erläutern am Beispiel der Quantenobjekte Elektron und Photon die Bedeutung von Modellen als grundlegende Erkenntniswerkzeuge in der Physik (E6, E7).</p>	<i>Film oder Computersimulation zum Doppelspaltversuch mit Elektronen</i>	Reflexion der Bedeutung der Experimente mit Photonen und Elektronen für die Entwicklung der Quantenphysik

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

### Kontext: *Aufbau der Materie*

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,

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
Aufbau der Materie	Kern-Hülle-Modell	erläutern, vergleichen und beurteilen Modelle zur Struktur von Atomen und Materiebausteinen (E6, UF3, B4),	<i>Literaturrecherche, Schulbuch</i>	Ausgewählte Beispiele für Atommodelle
	Energieniveaus der Atomhülle anhand von Linienspektren	erklären die Energie absorbierter und emittierter Photonen mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (UF1, E6),  erläutern die Bedeutung von <i>Flammenfärbung und Linienspektren</i> bzw. <i>Spektralanalyse</i> , die Ergebnisse des <i>Franck-Hertz-Versuches</i> sowie die <i>charakteristischen Röntgenspektren</i> für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7),	Erzeugung von <b>Linienspektren</b> mithilfe von Gasentladungslampen	Deutung der Linienspektren <b>Hinweis: Die Linienspektren können auch nach dem Franck-Hertz-Versuch behandelt werden.</b>
	Quantenhafte Emission und Absorption von Photonen beim Franck-Hertz-Versuch	erläutern die Bedeutung von <i>Flammenfärbung und Linienspektren</i> bzw. <i>Spektralanalyse</i> , die Ergebnisse des <b>Franck-Hertz-Versuches</b> sowie die <i>charakteristischen Röntgenspektren</i> für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7),	<b>Franck-Hertz-Versuch</b>	Zum Bohr'schen Atommodell können die Formeln zur Berechnung der Quantensprünge ohne Herleitungen angegeben werden.

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
	Röntgenstrahlung	erläutern die Bedeutung von <i>Flammenfärbung und Linienspektren bzw. Spektralanalyse</i> , die Ergebnisse des <i>Franck-Hertz-Versuches</i> sowie die <b>charakteristischen Röntgenspektren</b> für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7),	Aufnahme von <b>Röntgenspektren</b>	Die Röntgenstrahlung kann im Rückblick auf die Quantenobjekte als Umkehrung des Photoeffekts aufgefasst werden. <i>Bremsspektrum mit <math>h</math>-Bestimmung / Bragg-Reflexion</i>
	Sternspektren und Fraunhoferlinien	erläutern die Bedeutung von <b>Flammenfärbung und Linienspektren bzw. Spektralanalyse</b> , die Ergebnisse des <i>Franck-Hertz-Versuches</i> sowie die <i>charakteristischen Röntgenspektren</i> für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7),  interpretieren Spektraltafeln des <b>Sonnenspektrums</b> 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>Sonnenspektrums</b> mit seinen <b>Fraunhoferlinien</b> <b>Spektralanalyse</b>	z. B. Durchstrahlung einer Na-Flamme mit Na- und Hg-Licht (Schattenbildung)



**Kontext: Radioaktivität und ihre Wirkung auf den Menschen**

Leitfrage: Wie wirkt radioaktive 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.

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktischer Kommentar
Radioaktivität und ihre Wirkung auf den Menschen	Ionisierende Strahlung	beschreiben Wirkungen von ionisierender und elektromagnetischer Strahlung auf Materie und lebende Organismen (UF1),		Wiederholung und Vertiefung aus der Sek. I
	Detektoren	erläutern den Aufbau und die Funktionsweise von Nachweisgeräten für ionisierende Strahlung ( <i>Geiger-Müller-Zählrohr</i> ) und bestimmen Halbwertszeiten und Zählraten (UF1, E2),	<b>Geiger-Müller-Zählrohr</b>	An dieser Stelle können Hinweise auf Halbleiterdetektoren gegeben werden.
	Strahlungsarten und Elementumwandlungen	unterscheiden $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -Strahlung und Röntgenstrahlung sowie Neutronen- und Schwerionenstrahlung (UF3), erläutern den Nachweis unterschiedlicher Arten ionisierender Strahlung mithilfe von Absorptionsexperimenten (E4, E5), erläutern den Begriff Radioaktivität und beschreiben zugehörige Kernumwandlungsprozesse (UF1, K1), <i>bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik (B1, B3),</i>	<b>Absorptionsexperimente zu <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>-, <math>\gamma</math>-Strahlung</b>  Nuklidkarte	Wiederholung und Vertiefung aus der Sek. I

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktischer Kommentar
	<p>Biologische Wirkung ionisierender Strahlung und Energieaufnahme im menschlichen Gewebe</p> <p>Dosimetrie</p>	<p>beschreiben Wirkungen von ionisierender und elektromagnetischer Strahlung auf Materie und lebende Organismen (UF1),</p> <p>bereiten Informationen über wesentliche biologisch-medizinische Anwendungen und Wirkungen von ionisierender Strahlung für unterschiedliche Adressaten auf (K2, K3, B3, B4),</p> <p>begründen in einfachen Modellen wesentliche biologisch-medizinische Wirkungen von ionisierender Strahlung mit deren typischen physikalischen Eigenschaften (E6, UF4),</p> <p>erläutern das Vorkommen künstlicher und natürlicher Strahlung, ordnen deren Wirkung auf den Menschen mithilfe einfacher dosimetrischer Begriffe ein und bewerten Schutzmaßnahmen im Hinblick auf die Strahlenbelastungen des Menschen im Alltag (B1, K2).</p> <p>bewerten Gefahren und Nutzen der Anwendung physikalischer Prozesse, u. a. von ionisierender Strahlung, auf der Basis medizinischer, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Gegebenheiten (B3, B4)</p> <p>bewerten Gefahren und Nutzen der Anwendung ionisierender Strahlung unter Abwägung unterschiedlicher Kriterien (B3, B4),</p>	<p><i>Einsatz eines Films / eines Videos</i></p> <p><i>Referate</i></p>	<p>Sinnvolle Beispiele sind die Nutzung von ionisierender Strahlung zur Diagnose und zur Therapie bei Krankheiten des Menschen (von Lebewesen) sowie zur Kontrolle technische Anlagen.</p> <p>Erläuterung von einfachen dosimetrischen Begriffe: Aktivität, Energiedosis, Äquivalentdosis</p>

### 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
Kernbausteine und Elementarteilchen	Die Schülerinnen und Schüler... 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.	Mögliche Schwerpunktsetzung: Paarerzeugung, Paarvernichtung,
(Virtuelles) Photon als Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung Konzept der Austauschteilchen vs. Feldkonzept	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

## 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,

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

### 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,

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
<b>Teilchenbeschleuniger</b>	„Schnelle“ Ladungsträger in E- und B-Feldern	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.
<b>Kernspaltung und Kernfusion</b> (kann alternativ im Inhaltsfeld Strahlung und Materie behandelt werden)	Ruhemasse und dynamische Masse	erläutern die Energie-Masse Äquivalenz (UF1). zeigen die Bedeutung der Beziehung $E=mc^2$ für die Kernspaltung und -fusion auf (B1, B3)	Film / Video	Die Formeln für die dynamische Masse und $E=mc^2$ werden als deduktiv herleitbar angegeben.  Erzeugung und Vernichtung von Teilchen,  Hier können Texte und Filme zu Hiroshima und Nagasaki eingesetzt werden.

**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
Gegenseitige Bedingung von Raum und Zeit	Die Schülerinnen und Schüler... 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	

## 2.1.3 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,

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
Satellitennavigation – Zeitmessung ist nicht absolut	Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und Problem der Gleichzeitigkeit  Inertialsysteme  Relativität 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 synchronisierten Uhren (UF2),  begründen mit der Lichtgeschwindigkeit als Obergrenze für Geschwindigkeiten von Objekten Auswirkungen auf die additive Überlagerung von Geschwindigkeiten (UF2).	Experiment von Michelson und Morley (Computersimulation)  Relativität der Gleichzeitigkeit (Video / Film)	Ausgangsproblem: Exaktheit der Positionsbestimmung mit Navigationssystemen  Begründung der Hypothese von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit mit dem Ausgang des Michelson- und Morley-Experiments (Computersimulation).  Das Additionstheorem für relativistische Geschwindigkeiten kann ergänzend ohne Herleitung angegeben werden.

### 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,

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
Höhenstrahlung	Zeitdilatation und relativistischer Faktor  (2 Ustd., zusätzlich Exkursion)	Die Schülerinnen und Schüler...  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 Lichtgeschwindigkeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie (UF1)	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.
	Längenkontraktion	begründen den Ansatz zur Herleitung der Längenkontraktion (E6),  erläutern die relativistischen Phänomene Zeitdilatation und Längenkontraktion anhand des Nachweises von in der oberen Erdatmosphäre entstehenden Myonen (UF1),  beschreiben Konsequenzen der relativistischen Einflüsse auf Raum und Zeit anhand anschaulicher und einfacher Abbildungen (K3),	Myonenzerfall (Experimentepool der Universität – ggfs. Exkursion an eine Universität) – s. o.	Der Myonenzerfall dient als experimentelle Bestätigung der Längenkontraktion (im Vergleich zur Zeitdilatation) – s. o.  Herleitung der Formel für die Längenkontraktion



**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,

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
<b>Teilchenbeschleuniger</b>	„Schnelle“ Ladungsträger in E- und B-Feldern	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 deduktiv herleitbar angegeben.
	Ruhemasse und dynamische Masse	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	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

## 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 Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
Grundlagen: Ladungstrennung, Ladungsträger	erklären elektrostatische Phänomene und Influenz mithilfe grundlegender Eigenschaften elektrischer	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.

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
<p><b>Bestimmung der Elementarladung:</b></p> <p>elektrische Felder, Feldlinien</p> <p>potentielle Energie im elektrischen Feld, Spannung</p> <p>Kondensator</p> <p>Elementarladung</p>	<p>beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der entsprechenden Feldstärken (UF2, UF1),</p> <p>erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschaulichung typischer Felder und interpretieren Feldlinienbilder (K3, E6, B4),</p>	<p>Skizzen zum prinzipiellen Aufbau des Millikanversuchs, realer Versuchsaufbau oder entsprechende Medien (z. B: RCL (remote control laboratory),</p> <p>einfache Versuche und visuelle Medien zur Veranschaulichung elektrischer Felder im Feldlinienmodell,</p> <p>Plattenkondensator (homogenes E-Feld),</p>	<p>Die Versuchsidee „eines“ Millikanversuchs wird erarbeitet.</p> <p>Der Begriff des elektrischen Feldes und das Feldlinienmodell werden eingeführt.</p> <p>Die elektrische Feldstärke in einem Punkt eines elektrischen Feldes, der Begriff „homogenes Feld“ und die Spannung werden definiert.</p>
	<p>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),</p> <p>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrizität, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),</p>	<p>evtl. Apparatur zur Messung der Feldstärke gemäß der Definition,</p> <p>Spannungsmessung am Plattenkondensator,</p> <p>Bestimmung der Elementarladung mit dem Millikanversuch</p>	<p>Zusammenhang zwischen E und U im homogenen Feld</p> <p>Bestimmung der Elementarladung mit Diskussion der Messgenauigkeit</p> <p>An dieser Stelle sollten Übungsaufgaben erfolgen, z.B. auch zum Coulomb'schen Gesetz. Dieses kann auch nur per Plausibilitätsbetrachtung eingeführt werden.</p>

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
<p><b>Bestimmung der Masse eines Elektrons:</b></p> <p>magnetische Felder, Feldlinien,</p> <p>potentielle Energie im elektrischen Feld, Energie bewegter Ladungsträger,</p> <p>Elektronenmasse</p>	<p>erläutern an Beispielen den Stellenwert experimenteller Verfahren bei der Definition physikalischer Größen (elektrische und magnetische Feldstärke) und geben Kriterien zu deren Beurteilung an (z.B. Genauigkeit, Reproduzierbarkeit, Unabhängigkeit von Ort und Zeit) (B1, B4),</p> <p>treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1),</p> <p>beschreiben qualitativ die Erzeugung eines Elektronenstrahls in einer Elektronenstrahlröhre (UF1, K3),</p> <p>ermitteln die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer Spannung (auch relativistisch) (UF2, UF4, B1),</p>	<p>Fadenstrahlrohr (zunächst) zur Erarbeitung der Versuchsidee,</p> <p>(z.B.) Stromwaage zur Demonstration der Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld sowie zur Veranschaulichung der Definition der magnetischen Feldstärke,</p> <p>Versuche mit z.B. Oszilloskop, Fadenstrahlrohr, altem (Monochrom-) Röhrenmonitor o. ä. zur Demonstration der Lorentzkraft,</p> <p>Fadenstrahlrohr zur <math>e/m</math> – Bestimmung (das Problem der Messung der magnetischen Feldstärke wird ausgelagert.)</p>	<p>Die Frage nach der Masse eines Elektrons führt zu weiteren Überlegungen.</p> <p>Als Versuchsidee wird (evtl. in Anlehnung an astronomischen Berechnungen in der EF) die Auswertung der Daten einer erzwungenen Kreisbewegung des Teilchens erarbeitet.</p> <p>Dazu wird der Begriff des magnetischen Feldes eingeführt sowie die Veranschaulichung magnetischer Felder (inkl. Feldlinienmodell) erarbeitet.</p> <p>Definition der magnetischen Feldstärke, Definition des homogenen Magnetfeldes,</p> <p>Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld, Herleitung der Formel für die Lorentzkraft,</p>

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium	Kommentar
	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</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 Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschaulichung typischer Felder und interpretieren Feldlinienbilder (K3, E6, B4),</p> <p>bestimmen die relative Orientierung von Bewegungsrichtung eines Ladungsträgers, Magnetfeldrichtung und resultierender Kraftwirkung mithilfe einer Drei-Finger-Regel (UF2, E6),</p> <p>leiten physikalische Gesetze (Term für die Lorentzkraft) aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),</p> <p>beschreiben qualitativ und quantitativ die Bewegung von Ladungsträgern in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern sowie in gekreuzten Feldern (Wien-Filter, Hall-Effekt) (E1, E2, E3, E4, E5 UF1, UF4),</p> <p>schließen aus spezifischen Bahnkurvendaten bei der e/m-Bestimmung und beim Massenspektrometer auf wirkende Kräfte sowie Eigenschaften von Feldern und bewegten Ladungsträgern (E5, UF2),</p>		<p>Ein Verfahren zur Beschleunigung der Elektronen sowie zur Bestimmung ihrer Geschwindigkeit wird erarbeitet.</p>

### **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 Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
<p><b>Anwendungen in Forschung und Technik:</b></p> <p>Bewegung von Ladungsträgern in Feldern</p>	<p>beschreiben qualitativ und quantitativ die Bewegung von Ladungsträgern in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern sowie in gekreuzten Feldern (Wien-Filter, Hall-Effekt) (E1, E2, E3, E4, E5 UF1, UF4),</p> <p>erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten aus dem Bereich der Elektrizität (K1, K3, UF3),</p> <p>beschreiben qualitativ die Erzeugung eines Elektronenstrahls in einer Elektronenstrahlröhre (UF1, K3),</p> <p>ermitteln die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer Spannung (auch relativistisch) (UF2, UF4, B1),</p> <p>schließen aus spezifischen Bahnkurvendaten beim Massenspektrometer auf wirkende Kräfte sowie Eigenschaften von Feldern und bewegten Ladungsträgern, (E5, UF2),</p> <p>erläutern den Feldbegriff und zeigen dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Gravitationsfeld, elektrischem und magnetischem Feld auf (UF3, E6),</p> <p>erläutern den Einfluss der relativistischen Massenzunahme auf die Bewegung geladener Teilchen im Zyklotron (E6, UF4),</p> <p>leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),</p>	<p>Hallsonde,</p> <p>Halleffektgerät,</p> <p>diverse Spulen, deren Felder vermessen werden (insbesondere lange Spulen und Helmholtzspulen),</p> <p>Elektronenstrahlableitkröhre</p> <p>visuelle Medien und Computersimulationen (ggf. RCLs) zum Massenspektrometer, Zyklotron und evtl. weiteren Teilchenbeschleunigern</p>	<p>Das Problem der Messung der Stärke des magnetischen Feldes der Helmholtzspulen (e/m – Bestimmung) wird wieder aufgegriffen,</p> <p>Vorstellung des Aufbaus einer Hallsonde und Erarbeitung der Funktionsweise einer Hallsonde,</p> <p>Veranschaulichung mit dem Halleffektgerät (Silber),</p> <p>Kalibrierung einer Hallsonde,</p> <p>Messungen mit der Hallsonde, u. a. nachträgliche Vermessung des Helmholtzspulenfeldes,</p> <p>Bestimmung der magnetischen Feldkonstante,</p> <p>Arbeits- und Funktionsweisen sowie die Verwendungszwecke diverser Elektronenröhren, Teilchenbeschleuniger und eines Massenspektrometers werden untersucht.</p>
	<p>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrizität, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),</p> <p>wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze (u.a. Coulomb'sches Gesetz, Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld, Lorentzkraft, Spannung im homogenen E-Feld) problembezogen aus (UF2),</p>		

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



**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 Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
<p><b>Induktion, das grundlegende Prinzip bei der Versorgung mit elektrischer Energie:</b></p> <p>Induktionsvorgänge, Induktionsgesetz, Lenz'sche Regel, Energie des magnetischen Feldes</p>	<p>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrizität, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),</p> <p>wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze (u.a. Coulomb'sches Gesetz, Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld, Lorentzkraft, Spannung im homogenen E-Feld) problembezogen aus (UF2),</p> <p>leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),</p> <p>planen und realisieren Experimente zum Nachweis der Teilaussagen des Induktionsgesetzes (E2, E4, E5),</p> <p>führen das Auftreten einer Induktionsspannung auf die zeitliche Änderung der von einem Leiter überstrichenen gerichteten Fläche in einem Magnetfeld zurück (u.a. bei der Erzeugung einer Wechselspannung) (E6),</p> <p>erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten aus dem Bereich der Elektrizität (K1, K3, UF3),</p> <p>treffen im Bereich Elektrizität Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1),</p> <p>identifizieren Induktionsvorgänge aufgrund der zeitlichen Änderung der magnetischen Feldgröße <math>B</math> in Anwendungs- und Alltagssituationen (E1, E6, UF4),</p>	<p>Medien zur Information über prinzipielle Verfahren zur Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie,</p> <p>Bewegung eines Leiters im Magnetfeld - Leiterschaukel,</p> <p>einfaches elektrodynamisches Mikrofon,</p> <p>Gleich- und Wechselspannungsgeneratoren (vereinfachte Funktionsmodelle für Unterrichtszwecke)</p> <p>quantitativer Versuch zur elektromagnetischen Induktion bei Änderung der Feldgröße <math>B</math>, registrierende Messung von <math>B(t)</math> und <math>U_{\text{ind}}(t)</math>,</p> <p>„Aufbau-“ Transformatoren zur Spannungswandlung</p>	<p>Leiterschaukelversuch evtl. auch im Hinblick auf die Registrierung einer gedämpften mechanischen Schwingung auswertbar,</p> <p>Gleich- und Wechselspannungsgeneratoren werden nur qualitativ behandelt.</p> <p>Das Induktionsgesetz in seiner allgemeinen Form wird erarbeitet:</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 Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
	<p>wählen begründet mathematische Werkzeuge zur Darstellung und Auswertung von Messwerten im Bereich der Elektrik (auch computer-gestützte graphische Darstellungen, Linearisierungsverfahren, Kurvenanpassungen), wenden diese an und bewerten die Güte der Messergebnisse (E5, B4),</p> <p>ermitteln die in magnetischen Feldern gespeicherte Energie (Spule) (UF2),</p> <p>bestimmen die Richtungen von Induktionsströmen mithilfe der Lenz'schen Regel (UF2, UF4, E6),</p> <p>begründen die Lenz'sche Regel mithilfe des Energie- und des Wechselwirkungskonzeptes (E6, K4),</p>	<p>Modellversuch zu einer „Überlandleitung“ (aus CrNi-Draht) mit zwei „Trafo-Stationen“, zur Untersuchung der Energieverluste bei unterschiedlich hohen Spannungen,</p> <p>Versuch (qualitativ und quantitativ) zur Demonstration der Selbstinduktion (registrierende Messung und Vergleich der Ein- und Ausschaltströme in parallelen Stromkreisen mit rein ohmscher bzw. mit induktiver Last),</p> <p>Versuche zur Demonstration der Wirkung von Wirbelströmen,</p> <p>diverse „Ringversuche“</p>	<p>Deduktive Herleitung des Terms für die Selbstinduktionsspannung einer langen Spule (ausgehend vom Induktionsgesetz), Interpretation des Vorzeichens mit Hilfe der Lenz'schen Regel</p> <p>Definition der Induktivität,</p> <p>messtechnische Erfassung und computerbasierte Auswertung von Ein- und Ausschaltvorgängen bei Spulen</p> <p>deduktive Herleitung der im magnetischen Feld einer Spule gespeicherten magnetischen Energie</p>

## 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
	Die Schülerinnen und Schüler...		
<p><b>Der elektromagnetische Schwingkreis – das Basiselement der Nachrichtentechnik:</b></p> <p>Elektromagnetische Schwingungen im RLC-Kreis,</p> <p>Energieumwandlungsprozesse im RLC-Kreis</p>	<p>erläutern die Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen, erstellen aussagekräftige Diagramme und werten diese aus (E2, E4, E5, B1),</p> <p>treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1),</p> <p>erläutern qualitativ die bei einer ungedämpften elektromagnetischen Schwingung in der Spule und am Kondensator ablaufenden physikalischen Prozesse (UF1, UF2),</p> <p>beschreiben den Schwingvorgang im RLC-Kreis qualitativ als Energieumwandlungsprozess und benennen wesentliche Ursachen für die Dämpfung (UF1, UF2, E5),</p>	<p>MW-Radio aus Aufbauteilen der Elektriksammlung mit der Möglichkeit, die modulierte Trägerschwingung (z.B. oszilloskopisch) zu registrieren,</p> <p>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 Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
	<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>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrizität, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),</p>	<p>RLC - Serienschwingkreis insbesondere mit registrierenden Messverfahren und computergestützten Auswertungsverfahren,</p> <p>ggf. Meißner- oder Dreipunkt-Rückkopplungsschaltung zur Erzeugung / Demonstration entdämpfter elektromagnetischer Schwingungen</p>	<p>Die zentrale Funktionseinheit „Schwingkreis“ wird genauer untersucht.</p> <p>Spannungen und Ströme im RCL – Kreis werden zeitaufgelöst registriert, die Diagramme sind Grundlage für die qualitative Beschreibung der Vorgänge in Spule und Kondensator.</p> <p>Quantitativ wird nur die ungedämpfte Schwingung beschrieben (inkl. der Herleitung der Thomsonformel).</p>
	<p>wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze problembezogen aus (UF2),</p> <p>leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2).</p>		<p>Die Möglichkeiten zur mathematischen Beschreibung gedämpfter Schwingungen sowie Möglichkeiten der Entdämpfung / Rückkopplung können kurz und rein qualitativ angesprochen werden.</p>

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
<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>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 Interferenzerscheinungen (mit Licht- und Mikrowellen) die Wellenlängen und die Lichtgeschwindigkeit (E2, E4, E5).</p> <p>beschreiben die Phänomene Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz im Wellenmodell und begründen sie qualitativ mithilfe des Huygens'schen Prinzips (UF1, E6).</p> <p>erläutern konstruktive und destruktive Interferenz sowie die entsprechenden Bedingungen mithilfe geeigneter Darstellungen (K3, UF1),</p>	<p>L-C-Kreis, der sich mit einem magnetischen Wechselfeld über eine „Antenne“ zu Schwingungen anregen lässt,</p> <p>dm-Wellen-Sender mit Zubehör (Empfängerdipol, Feldindikatorlampe),</p> <p>Visuelle Medien zur Veranschaulichung der zeitlichen Änderung der 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 Veranschaulichung der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle, entsprechende Computersimulationen,</p> <p>Versuche mit dem dm-Wellen-Sender (s.o.),</p>	<p>Erinnerung an die Anregung des MW-Radio-Schwingkreises durch „Radiowellen“ zur Motivation der Erforschung sogenannter elektromagnetischer Wellen,</p> <p>Das Phänomen der 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 Kondensator aufgeladen wird.</li> <li>• Auch im Bereich zwischen den Kondensatorplatten existiert ein magnetisches Wirbelfeld.</li> </ul>

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
	<p>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrizität, 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 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>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 / -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>	<p>Beugungs-, Brechungs- und Interferenzerscheinungen zum Nachweis des Wellencharakters elektromagnetischer Wellen,</p>

## Kontext: Röntgenstrahlung

Leitfrage: Wie entsteht Röntgenstrahlung?

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,

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

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
Röntgenstrahlung	Röntgenröhre Röntgenspektrum	beschreiben den Aufbau einer Röntgenröhre (UF1),	Röntgenröhre  Evtl. interaktives Bildschirmexperiment (z.B. <a href="http://www.mackspace.de/unterricht/simulationen_physik/quantenphysik/sv/roentgen.php">http://www.mackspace.de/unterricht/simulationen_physik/quantenphysik/sv/roentgen.php</a> oder <a href="http://www.uni-due.de/physik/ap/iabe/roentgen_b10/roentgen_b10_uebersicht.html">http://www.uni-due.de/physik/ap/iabe/roentgen_b10/roentgen_b10_uebersicht.html</a> )	Zu diesem Zeitpunkt können kurze Sachinformationen zum Aufbau der Atomhülle und den Energiezuständen der Hüllenelektronen gegeben werden. Andernfalls wird das Thema im Zuge der Atomphysik neu interpretiert.  <b>Hinweis: Die Behandlung der Röntgenstrahlung kann auch im Anschluss an die Elektronenbeugung im Inhaltsfeld „Quantenphysik“ oder im Inhaltsfeld zur Atomphysik erfolgen.</b>
	Bragg'sche Reflexionsbedingung	erläutern die Bragg-Reflexion an einem Einkristall und leiten die Bragg'sche Reflexionsbedingung her (E6),	Aufnahme eines Röntgenspektrums (Winkel-Intensitätsdiagramm oder Wellenlängen-Intensitätsdiagramm)	
	Strukturanalyse mithilfe der Drehkristallmethode  Strukturanalyse nach Debye-Scherrer			z.B. Schülerreferate mit Präsentationen zur Debye-Scherrer-Methode



Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar
	<i>Röntgenröhre in Medizin und Technik</i>	<i>führen Recherchen zu komplexeren Fragestellungen der Quantenphysik durch und präsentieren die Ergeb- nisse (K2, K3),</i>	<i>ggf. Film / Video / Foto/ Referat</i>	

## Inhaltsfeld: *Quantenphysik (LK)*

### Kontext: *Erforschung des Photons*

Leitfrage: Genügt das Wellenmodell zur vollständigen Erklärung aller Phänomene des Lichts?

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

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

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

(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
Erforschung des Photons	Lichtelektrischer Effekt	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-Dampf-Lampe (ohne und mit UV-absorbierender Glasscheibe)	Qualitative Demonstration des Photoeffekts

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
	Teilcheneigenschaften von Photonen Planck'sches Wirkungsquantum	<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>deuten die Entstehung der kurzwelligen Röntgenstrahlung als Umkehrung des Photoeffekts (E6).</p>	Versuch zur h-Bestimmung: Auflademethode	<p>Gegenfeldmethode erklären</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> <p>Eine zweite Bestimmungsmethode für das Planck'sche Wirkungsquantum.</p>

### **Kontext: Erforschung des Elektrons**

Leitfrage: Genügt das Teilchenmodell zur vollständigen Erklärung aller Phänomene des Elektrons?

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,

<b>Inhalt</b>	<b>Kompetenzen</b> Die Schülerinnen und Schüler...	<b>Experiment / Medium</b>	<b>Kommentar</b>
Wellencharakter von Elektronen	interpretieren experimentelle Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre mit den Welleneigenschaften von Elektronen (E1, E5, E6),	Qualitative Demonstrationen mit der Elektronenbeugungsröhre	Qualitative Simulationen und Demonstrationen finden sich auf der Internetseite: <a href="http://rcl-munich.informatik.unibw-muenchen.de/">http://rcl-munich.informatik.unibw-muenchen.de/</a>
Streuung und Beugung von Elektronen De Broglie-Hypothese	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 Elektronen mit Blick auf den Wellenaspekt von Quantenobjekten. Dabei Betonung der herausragenden Bedeutung der de Broglie-Gleichung für die quantitative Beschreibung der Quantenobjekte.

**Kontext: Quantenphysik - Die Theorie der Quantenobjekte**

Leitfrage: Wie lässt sich der Welle-Teilchen-Dualismus auflösen und das Verhalten von Quantenobjekten theoretisch beschreiben?

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.

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
Quantenphysik - Die Theorie der Quantenobjekte	Wellenfunktion und Aufenthaltswahrscheinlichkeit	<p>stellen anhand geeigneter Phänomene dar, wann Licht durch ein Wellenmodell bzw. ein Teilchenmodell beschrieben werden kann (UF1, K3, B1),</p> <p>erläutern die Aufhebung des Welle-Teilchen-Dualismus durch die Wahrscheinlichkeitsinterpretation (UF1, UF4),</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>erläutern die Bedeutung von Gedankenexperimenten und Simulationsprogrammen zur Erkenntnisgewinnung bei der Untersuchung von Quantenobjekten (E6, E7).</p>	<p>z.B. Taylor-Experiment oder Demonstration des Doppelspaltversuchs mit einzelnen Elektronen (Simulationsprogramm/ Video)</p> <p><i>evtl. Versuche mit Polarisationsfolien</i></p>	
	Heisenberg'sche Unschärferelation	<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 plausibel gemacht werden aufgrund des sich aus der Interferenzbedingung ergebenden Querimpulses eines Quantenobjekts, wenn dieses einen Spalt passiert.

Fachlicher Kontext (Kontextbausteine)	Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium	Kommentar/didaktische Hinweise
	linearer Potentialtopf  Energiewerte im linearen Potentialtopf	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).		Evtl. am Beispiel von Farbstoffmolekülen.  Die Anwendbarkeit des (mechanischen) Modells der stehenden Welle kann insofern bestätigt werden, als dass die für die stehenden Wellen sich ergebende DGI mit derjenigen der (zeitunabhängigen) Schrödinger-DGI strukturell übereinstimmt. Ein Ausblick auf die Schrödinger-Gleichung genügt.