

## Inhaltsfeld: Elektrizität (E)

### 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,

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

(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.

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
E1	<b>Grundlagen</b> Reibungselektrizität und Influenz:  Ladungstrennung durch Reibung  Nachweisgeräte für Ladungen Kräfte zwischen Ladungen Influenz und Polarisation	<b>Elektrostatik:</b> Reibungsversuche  Elektroskop, Glimmlampe  Versuch zur <b>Influenz</b>	erklären elektrostatische Phänomene und Influenz mithilfe grundlegender Eigenschaften elektrischer Ladungen (UF2, E6)

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
E2	<p><b>Bestimmung der Elementarladung:</b></p> <p>Darstellung und Eigenschaften elektrischer Felder</p> <p>Elektrische Feldstärke und elektrische Kraft</p> <p>Coulomb'sches Gesetz</p> <p>Energieumwandlung im elektrischen Feld</p> <p>Elektrisches Potential und elektrische Spannung</p> <p>potentielle Energie im elektrischen Feld, Energie bewegter Ladungsträger,</p> <p>Elektronenstrahlableitkröhre</p> <p>Kapazität und Kondensator als Energie-Speicher</p> <p>Entladungsvorgänge</p> <p>Elementarladung</p>	<p>Grießkornversuch</p> <p><b>Elektronenstrahlröhre</b></p> <p><b>Kondensator;</b></p> <p>Millikanversuch</p> <p>Aufnahme einer Messkurve</p>	<p>beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der entsprechenden Feldstärken (UF2, UF1),</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>ermitteln die in elektrischen bzw. magnetischen Feldern gespeicherte Energie (Kondensator, Spule) (UF2),</p> <p>leiten physikalische Gesetze (u.a. die im homogenen elektrischen Feld gültige Beziehung zwischen Spannung und Feldstärke) aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),</p> <p>beschreiben qualitativ und quantitativ, bei vorgegebenen Lösungsansätzen, Ladungs- und Entladungsvorgänge in Kondensatoren (E4, E5, E6),</p> <p>erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschaulichung typischer Felder und interpretieren Feldlinienbilder (K3, E6, B4),</p> <p>entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),</p>

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; <b>Erkenntnisgewinnung</b> ; <b>Kommunikation</b> ; <b>Bewertung</b>
E 3	<p><b>Bestimmung der Masse eines Elektrons:</b></p> <p>Darstellung und Eigenschaften magnetischer Felder</p> <p>magnetische Feldstärke</p> <p>Hall-Effekt, Hallsonde</p> <p>Lorentzkraft</p> <p>Elektronenmasse und spezifische Ladung eines Elektrons</p>	<p>Versuche zu Feldern:</p> <p>Stabmagnet, Hufeisenmagnet, Leiter, <b>Spule</b></p> <p><b>Hall-Effekt</b></p> <p>Leiterschaukel</p> <p>Fadenstrahlrohr</p>	<p>erläutern den Feldbegriff und zeigen dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Gravitationsfeld, elektrischem und magnetischem Feld auf (UF3, E6),</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>erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten aus dem Bereich der Elektrizität (K1, K3, UF3),</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>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>



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

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

Inhaltliche Schwerpunkte: Elektromagnetische Induktion

Methodische Schwerpunkte: Die SuS 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.

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
E5	<p><b>Induktion, das grundlegende Prinzip bei der Versorgung mit elektrischer Energie:</b></p> <p>Induktionsvorgänge, Induktionsgesetz,  Generator</p>	<p>Medien zur Information über prinzipielle Verfahren zur Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie,</p> <p><b>Leiterschaukel (Induktion)</b></p> <p>einfaches elektrodynamisches Mikrofon,</p> <p><b>Wechselspannungsgeneratoren</b> (vereinfachte Funktionsmodelle für Unterrichtszwecke)</p> <p><b>quantitativer Versuch zur elektromagnetischen Induktion</b> bei Änderung der Feldgröße <math>B</math>, registrierende Messung von <math>B(t)</math> und <math>U_{\text{ind}}(t)</math>,</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>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>

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
E6	Selbstinduktion, Definition der Induktivität Energie des magnetischen Feldes Interpretation des Vorzeichens mit Hilfe der Lenz'schen Regel  Lenz'sche Regel, Wirbelströme	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),  Versuche zur Demonstration der Wirkung von Wirbelströmen, diverse „Ringversuche“	ermitteln die in magnetischen Feldern gespeicherte Energie (Spule) (UF2), bestimmen die Richtungen von Induktionsströmen mithilfe der Lenz'schen Regel (UF2, UF4, E6), begründen die Lenz'sche Regel mithilfe des Energie- und des Wechselwirkungskonzeptes (E6, K4),

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

Inhaltlicher Schwerpunkt: Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

Leitfrage: Wie können Nachrichten ohne Materietransport übermittelt werden?

**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.

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
E7	<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>Wiederholung: Eigenschaften von mechanischen Schwingungen (aus EF)</p>	<p><b>Elektromagnetischer Schwingkreis</b></p>	<p>erläutern die Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen, erstellen aussagekräftige Diagramme und werten diese aus (E2, E4, E5, 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>

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
E8	<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><b>Hertz'scher Dipol</b></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 und Ausbreitung der einer Elektromagnetischen Wellen. (entsprechende Computersimulationen)</p>	<p>beschreiben den Hertz'schen Dipol als einen (offenen) Schwingkreis (UF1, UF2, E6),</p> <p>erläutern qualitativ die Entstehung eines elektrischen bzw. magnetischen Wirbelfelds bei <math>B</math>- bzw. <math>E</math>-Feldänderung und die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle (UF1, UF4, E6),</p> <p>beschreiben qualitativ die lineare Ausbreitung harmonischer Wellen als räumlich und zeitlich periodischen Vorgang (UF1, E6),</p> <p>erläutern anhand schematischer Darstellungen Grundzüge der Nutzung elektromagnetischer Trägerwellen zur Übertragung von Informationen (K2, K3, E6).</p> <p>ermitteln auf der Grundlage von Brechungs-, Beugungs- und Interferenzerscheinungen (mit Licht- und Mikrowellen) die Wellenlängen und die Lichtgeschwindigkeit (E2, E4, E5).</p> <p>beschreiben die Phänomene Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz im Wellenmodell und begründen sie qualitativ mithilfe des Huygens'schen Prinzips (UF1, E6).</p> <p>erläutern konstruktive und destruktive Interferenz sowie die entsprechenden Bedingungen mithilfe geeigneter Darstellungen (K3, UF1),</p>



LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
	<p>Wdh: Ausbreitung von mechanischen Wellen</p> <p>Beugung, Brechung, Interferenz mit Licht</p>	<p>Visuelle Medien zur Veranschaulichung der Ausbreitung einer linearen (harmonischen) Welle, auch Wellenmaschine zur Erinnerung an mechanische Wellen, entsprechende Computersimulationen, Wellenwanne</p> <p><b>Mikrowellensender / -empfänger mit Gerätesatz</b> für Beugungs-, Brechungs- und Interferenzexperimente,</p> <p><b>Interferenz-, Beugungs-Experimente mit (Laser-) Licht an Doppelspalt und Gitter</b> (quantitativ) – sowie z.B. an Kanten, dünnen Schichten,... (qualitativ)</p>	<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>

## Inhaltsfeld: Relativitätstheorie (RT)

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

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

**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,

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

(K1) bei der Dokumentation von Untersuchungen, Experimenten, theoretischen Überlegungen und Problemlösungen eine korrekte Fachsprache und fachübliche Darstellungsweisen verwenden,

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; <b>Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung</b>
RT1	Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und Problem der Gleichzeitigkeit  Inertialsysteme  Relativität der Gleichzeitigkeit	<b>Experiment von Michelson und Morley</b> (Computersimulation/Film)  Relativität der Gleichzeitigkeit (Video / Film)	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).

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
<p><b>Kontext: Höhenstrahlung</b>            Leitfrage: Warum erreichen Myonen aus der oberen Atmosphäre die Erdoberfläche?            Inhaltliche Schwerpunkte: Zeitdilatation und Längenkontraktion</p> <p><b>Kompetenzschwerpunkte:</b> Schülerinnen und Schüler können            (E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,            (E3) mit Bezug auf Modelle, Theorien und Gesetzmäßigkeiten auf deduktive Weise Hypothesen generieren sowie Verfahren zu ihrer Überprüfung ableiten,            (K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,            (K1) bei der Dokumentation von Untersuchungen, Experimenten, theoretischen Überlegungen und Problemlösungen eine korrekte Fachsprache und fachübliche Darstellungsweisen verwenden,</p>			
RT2	Zeitdilatation und relativistischer Faktor	<p><b>Lichtuhr</b>            (Gedankenexperiment / Computersimulation / Film)</p> <p>V3: Myonenzerfall            (Experimentepool der Universität – ggfs. Exkursion an eine Universität)</p>	<p>leiten mithilfe der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und des Modells Lichtuhr quantitativ die Formel für die Zeitdilatation her (E5),</p> <p>reflektieren die Nützlichkeit des Modells Lichtuhr hinsichtlich der Herleitung des relativistischen Faktors (E7).</p> <p>erläutern die Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie (UF1)</p>
	Längenkontraktion	<p>Film</p> <p><b>Myonenzerfall</b>            (Experimentepool der Universität – ggfs. Exkursion an eine Universität)</p>	<p>begründen den Ansatz zur Herleitung der Längenkontraktion (E6),</p> <p>erläutern die relativistischen Phänomene Zeitdilatation und Längenkontraktion anhand des Nachweises von in der oberen Erdatmosphäre entstehenden Myonen (UF1),</p> <p>beschreiben Konsequenzen der relativistischen Einflüsse auf Raum und Zeit anhand anschaulicher und einfacher Abbildungen (K3),</p>

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
<p><b>Kontext: Teilchenbeschleuniger – Warum Teilchen aus dem Takt geraten</b>  Leitfrage: Ist die Masse bewegter Teilchen konstant?  Inhaltliche Schwerpunkte: Relativistische Massenzunahme, Energie-Masse-Beziehung</p> <p><b>Kompetenzschwerpunkte:</b> 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,  (E3) mit Bezug auf Modelle, Theorien und Gesetzmäßigkeiten auf deduktive Weise Hypothesen generieren sowie Verfahren zu ihrer Überprüfung ableiten,</p>			
RT3	„Schnelle“ Ladungsträger in E- und B-Feldern	<b>Bertozzi-Experiment</b> (anhand von Literatur)	erläutern auf der Grundlage historischer Dokumente ein Experiment (Bertozzi-Versuch) zum Nachweis der relativistischen Massenzunahme (K2, K3),
	Ruhemasse und dynamische Masse	Film	erläutern die Energie-Masse-Beziehung (UF1) berechnen die relativistische kinetische Energie von Teilchen mithilfe der Energie-Masse-Beziehung (UF2) erläutern den Einfluss der relativistischen Massenzunahme auf die Bewegung geladener Teilchen im Zyklotron (E6, UF4), ermitteln die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer Spannung (auch relativistisch) (UF2, UF4, B1),
<p><b>Kontext: Satellitennavigation – Zeitmessung unter dem Einfluss von Geschwindigkeit und Gravitation</b>  Leitfrage: Beeinflusst Gravitation den Ablauf der Zeit?  Inhaltliche Schwerpunkte: Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung</p> <p><b>Kompetenzschwerpunkte:</b> Schülerinnen und Schüler können  (K1) bei der Dokumentation von Untersuchungen, Experimenten, theoretischen Überlegungen und Problemlösungen eine korrekte Fachsprache und fachübliche Darstellungsweisen verwenden,  (K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,  (K4) sich mit anderen über physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse kritisch-konstruktiv austauschen und dabei Behauptungen oder Beurteilungen durch Argumente belegen bzw. widerlegen</p>			
RT4	Gravitation und Zeitmessung	Film	beschreiben qualitativ den Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung (UF4)
	Die Gleichheit von träger und schwerer Masse (im Rahmen der heutigen Messgenauigkeit)  Das Zwillingsparadoxon	Film  Einsteins Fahrstuhl-Gedankenexperiment	veranschaulichen mithilfe eines einfachen gegenständlichen Modells den durch die Einwirkung von massebehafteten Körpern hervorgerufenen Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung sowie die „Krümmung des Raums“ (K3).

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
<p><b>Kontext: <i>Das heutige Weltbild</i></b>  Leitfrage: Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt?  Inhaltliche Schwerpunkte: Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Problem der Gleichzeitigkeit, Zeitdilatation und Längenkontraktion, Relativistische Massenzunahme, Energie-Masse-Beziehung, Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung</p> <p><b>Kompetenzschwerpunkte:</b> Schülerinnen und Schüler können  (K1) bei der Dokumentation von Untersuchungen, Experimenten, theoretischen Überlegungen und Problemlösungen eine korrekte Fachsprache und fachübliche Darstellungsweisen verwenden,  (K2) zu physikalischen Fragestellungen relevante Informationen und Daten in verschiedenen Quellen, auch in ausgewählten wissenschaftlichen Publikationen, recherchieren, auswerten und vergleichend beurteilen,  (K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,  (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.</p>			
RT5	Gegenseitige Bedingung von Raum und Zeit	Internetrecherche	bewerten Auswirkungen der Relativitätstheorie auf die Veränderung des physikalischen Weltbilds (B4).

## Inhaltsfeld: Quantenphysik (Q)

### Kontext: Erforschung des Photons

Leitfrage: Besteht Licht doch aus Teilchen?

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

**Kompetenschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

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

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

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
Q1	Lichtelektrischer Effekt	Hallwachsversuch	<p>diskutieren und begründen das Versagen der klassischen Modelle bei der Deutung quantenphysikalischer Prozesse (K4, E6)</p> <p>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),</p>
Q2	<p>Teilcheneigenschaften von Photonen</p> <p>Planck'sches Wirkungsquantum</p> <p>Impuls von Photonen</p>	<p><b>Photoeffekt,</b> Bestimmung von <math>h</math></p> <p>Evtl.:Comptoneffekt (ohne detaillierte Rechnung)</p>	<p>erläutern die qualitativen Vorhersagen der klassischen Elektrodynamik zur Energie von Photoelektronen (bezogen auf die Frequenz und Intensität des Lichts) (UF2, E3),</p> <p>ermitteln aus den experimentellen Daten eines Versuchs zum Photoeffekt das Planck'sche Wirkungsquantum (E5, E6),</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>beschreiben und erläutern Aufbau und Funktionsweise von komplexen Versuchsaufbauten (u.a. zur <math>h</math>-Bestimmung und zur Elektronenbeugung) (K3, K2),</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>

**Kontext: Erforschung des Elektrons (EE)**

Leitfrage: Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?

Inhaltliche Schwerpunkte: Welle-Teilchen-Dualismus

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

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

(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,

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; <b>Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung</b>
Q3	<p>Wellencharakter von Elektronen</p> <p>Bragg-Reflexion</p> <p>Streuung und Beugung von Elektronen</p> <p>De Broglie-Hypothese</p>	<p>Qualitative Demonstrationen und quantitative Messung: <b>Elektronenbeugungsröhre</b></p> <p>RCL (Uni Kaiserslautern: <a href="http://rcl-munich.informatik.unibw-muenchen.de/">http://rcl-munich.informatik.unibw-muenchen.de/</a> )</p>	<p>interpretieren experimentelle Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre mit den Welleneigenschaften von Elektronen (E1, E5, E6),</p> <p>beschreiben und erläutern Aufbau und Funktionsweise von komplexen Versuchsaufbauten (u.a. zur h-Bestimmung und zur Elektronenbeugung) (K3, K2),</p> <p>erklären die de Broglie-Hypothese am Beispiel von Elektronen (UF1),</p>

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

Leitfrage: Was ist anders im Mikrokosmos?

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

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

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

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
Q4	Wellenfunktion und Aufenthaltswahrscheinlichkeit:  Verteilung von Photonen und Elektronen	Demonstration des Durchgangs eines einzelnen Quantenobjekts durch einen Doppelspalt mithilfe eines Simulationsprogramms und mithilfe von Videos  z.B.: <a href="http://homepages.physik.uni-muenchen.de/~milq/milq_basiskursp01.html">http://homepages.physik.uni-muenchen.de/~milq/milq_basiskursp01.html</a>	deuten das Quadrat der Wellenfunktion qualitativ als Maß für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen (UF1, UF4),  erläutern die Aufhebung des Welle-Teilchen-Dualismus durch die Wahrscheinlichkeitsinterpretation (UF1, UF4),  erläutern bei Quantenobjekten das Auftreten oder Verschwinden eines Interferenzmusters mit dem Begriff der Komplementarität (UF1, E3),  stellen anhand geeigneter Phänomene dar, wann Licht durch ein Wellenmodell bzw. ein Teilchenmodell beschrieben werden kann (UF1, K3, B1),  <a href="#">erläutern die Bedeutung von Gedankenexperimenten und Simulationsprogrammen zur Erkenntnisgewinnung bei der Untersuchung von Quantenobjekten (E6, E7).</a>  <a href="#">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),</a>
Q5	Heisenberg'sche Unschärferelation	Internet, z.B.: <a href="http://homepages.physik.uni-muenchen.de/~milq/milq_basiskursp01.html">http://homepages.physik.uni-muenchen.de/~milq/milq_basiskursp01.html</a>	erläutern die Aussagen und die Konsequenzen der Heisenberg'schen Unschärferelation (Ort-Impuls, Energie-Zeit) an Beispielen (UF1, K3),  <a href="#">bewerten den Einfluss der Quantenphysik im Hinblick auf Veränderungen des Weltbildes und auf Grundannahmen zur physikalischen Erkenntnis (B4, E7).</a>



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

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

Leitfrage: Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie?

Inhaltliche Schwerpunkte: Atomaufbau

**Kompetenschwerpunkte:** 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,

(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,

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

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
AKE 1	<b>Atomaufbau:</b> Kern-Hülle-Modell	Recherche in Literatur und Internet, <b>Rutherford'scher Streuversuch</b>	geben wesentliche Schritte in der historischen Entwicklung der Atommodelle bis hin zum Kern-Hülle-Modell wieder (UF1),
AKE 2	Energiequantelung der Hüllelektronen	<b>Linienpektren</b> <b>Franck-Hertz-Versuch</b>	erklären Linienpektren in Emission und Absorption sowie den Franck-Hertz-Versuch mit der Energiequantelung in der Atomhülle (E5),
AKE 3	Linienpektren	Durchstrahlung einer Na-Flamme mit Na- und Hg-Licht (Schattenbildung), Linienpektren von H	stellen die Bedeutung des Franck-Hertz-Versuchs und der Experimente zu Linienpektren in Bezug auf die historische Bedeutung des Bohr'schen Atommodells dar (E7).
AKE 4	Bohr'sche Postulate	Literatur, Arbeitsblatt	formulieren geeignete Kriterien zur Beurteilung des Bohr'schen Atommodells aus der Perspektive der klassischen und der Quantenphysik (B1, B4),
Q6	linearer Potentialtopf Energiewerte im linearen Potentialtopf	Internet, Literatur	ermitteln die Wellenlänge und die Energiewerte von im linearen Potentialtopf gebundenen Elektronen (UF2, E6).

**Kontext: Röntgenstrahlung, Erforschung des Photons**

Leitfrage: Was ist Röntgenstrahlung?

Inhaltliche Schwerpunkte: Licht und Elektronen als Quantenobjekte

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

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

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
Q7	Röntgenröhre Röntgenspektrum Bragg'sche Reflexionsbedingung Planck'sches Wirkungsquantum	Röntgenröhre der Schulröntgeneinrichtung Sollte keine Röntgenröhre zur Verfügung stehen, kann mit einem interaktiven Bildschirmexperiment (IBE) gearbeitet werden <b>Aufnahme bzw. Interpretation eines Röntgenspektrums</b> (Winkel-Intensitätsdiagramm vs. Wellenlängen-Intensitätsdiagramm)	beschreiben den Aufbau einer Röntgenröhre (UF1), erläutern die Bragg-Reflexion an einem Einkristall und leiten die Bragg'sche Reflexionsbedingung her (E6), deuten die Entstehung der kurzwelligen Röntgenstrahlung als Umkehrung des Photoeffekts (E6), erklären die Entstehung des Bremsspektrums und des charakteristischen Spektrums der Röntgenstrahlung ( UF1)
	Röntgenröhre in Medizin und Technik	Film / Video / Foto Schülervorträge	führen Recherchen zu komplexeren Fragestellungen der Quantenphysik durch und präsentieren die Ergebnisse (K2, K3), stellen die physikalischen Grundlagen von Röntgenaufnahmen und Szintigrammen als bildgebende Verfahren dar (UF4)

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

Leitfrage: Wie nutzt man Strahlung in der Medizin?

Inhaltliche Schwerpunkte: Ionisierende Strahlung, Radioaktiver Zerfall

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

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

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

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
AKE 5	<b>Ionisierende Strahlung:</b> Detektoren	<b>Geiger-Müller-Zählrohr,</b> <b>Halbleiter-Detektor</b>  Nebelkammer	benennen Geiger-Müller-Zählrohr und Halbleiterdetektor als experimentelle Nachweismöglichkeiten für ionisierende Strahlung und unterscheiden diese hinsichtlich ihrer Möglichkeiten zur Messung von Energien (E6),
AKE 6	Strahlungsarten	<b>Absorption von <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>-, <math>\gamma</math>-Strahlung</b>  <b>Ablenkung von <math>\beta</math>-Strahlen im Magnetfeld</b>  Literatur (zur Röntgen-, Neutronen- und Schwerionenstrahlung)	erklären die Ablenkbarkeit von ionisierenden Strahlen in elektrischen und magnetischen Feldern sowie die Ionisierungsfähigkeit und Durchdringungsfähigkeit mit ihren Eigenschaften (UF3), erklären die Entstehung des Bremsspektrums und des charakteristischen Spektrums der Röntgenstrahlung (UF1), erläutern das Absorptionsgesetz für Gamma-Strahlung, auch für verschiedene Energien (UF3),
AKE 7	Dosimetrie	Video zur Dosimetrie	erläutern in allgemein verständlicher Form bedeutsame Größen der Dosimetrie (Aktivität, Energie- und Äquivalentdosis) auch hinsichtlich der Vorschriften zum Strahlenschutz (K3), beurteilen Nutzen und Risiken ionisierender Strahlung unter verschiedenen Aspekten (B4)

**Kontext: (Erdgeschichtliche) Altersbestimmungen**Leitfrage: Wie funktioniert die  $^{14}\text{C}$ -Methode?

Inhaltliche Schwerpunkte: Radioaktiver Zerfall

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

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

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
AKE 8	<b>Radioaktiver Zerfall:</b> Kernkräfte	Ausschnitt aus Nuklidkarte	benennen Protonen und Neutronen als Kernbausteine, identifizieren Isotope und erläutern den Aufbau einer Nuklidkarte (UF1),
AKE 9	Zerfallsprozesse	Elektronische Nuklidkarte Radon-Messung (Zentralabitur 2008) <b>Bestimmung der Halbwertszeit</b> Tabellenkalkulation Ggf. CAS	identifizieren natürliche Zerfallsreihen sowie künstlich herbeigeführte Kernumwandlungsprozesse mithilfe der Nuklidkarte (UF2), entwickeln Experimente zur Bestimmung der Halbwertszeit radioaktiver Substanzen (E4, E5), nutzen Hilfsmittel, um bei radioaktiven Zerfällen den funktionalen Zusammenhang zwischen Zeit und Abnahme der Stoffmenge sowie der Aktivität radioaktiver Substanzen zu ermitteln (K3), leiten das Gesetz für den radioaktiven Zerfall einschließlich eines Terms für die Halbwertszeit her (E6),
AKE 10	Altersbestimmung	Arbeitsblatt	bestimmen mithilfe des Zerfallsgesetzes das Alter von Materialien mit der $^{14}\text{C}$ -Methode (UF2),

**Kontext: Energiegewinnung durch nukleare Prozesse**

Leitfrage: Wie funktioniert ein Kernkraftwerk?

Inhaltliche Schwerpunkte: Kernspaltung und Kernfusion, Ionisierende Strahlung

**Kompetenschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

(B2) Auseinandersetzungen und Kontroversen in physikalisch technischen Zusammenhängen differenziert aus verschiedenen Perspektiven darstellen und eigene Standpunkte auf der Basis von Sachargumenten vertreten,

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

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

(K1) bei der Dokumentation von Untersuchungen, Experimenten, theoretischen Überlegungen und Problemlösungen eine korrekte Fachsprache und fachübliche Darstellungsweisen verwenden,

(K2) zu physikalischen Fragestellungen relevante Informationen und Daten in verschiedenen Quellen, auch in ausgewählten wissenschaftlichen Publikationen, recherchieren, auswerten und vergleichend beurteilen,

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

(K4) sich mit anderen über physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse kritisch-konstruktiv austauschen und dabei Behauptungen oder Beurteilungen durch Argumente belegen bzw. widerlegen

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
AKE 11	<b>Kernspaltung und Kernfusion:</b>  Massendefekt, Äquivalenz von Masse und Energie, Bindungsenergie	Video zu Kernwaffenexplosion	bewerten den Massendefekt hinsichtlich seiner Bedeutung für die Gewinnung von Energie (B1),  bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik (B1),
	Kettenreaktion	Mausefallenmodell, Video, Applet	erläutern die Entstehung einer Kettenreaktion als relevantes Merkmal für einen selbstablaufenden Prozess im Nuklearbereich (E6),  beurteilen Nutzen und Risiken von Kernspaltung und Kernfusion anhand verschiedener Kriterien (B4),
	Kernspaltung, Kernfusion	Diagramm $B/A$ gegen $A$ , Tabellenwerk, ggf. Applet  Recherche in Literatur und Internet  Schülerdiskussion, ggf. Pro-Kontra-Diskussion	beschreiben Kernspaltung und Kernfusion unter Berücksichtigung von Bindungsenergien (quantitativ) und Kernkräften (qualitativ) (UF4),  hinterfragen Darstellungen in Medien hinsichtlich technischer und sicherheitsrelevanter Aspekte der Energiegewinnung durch Spaltung und Fusion (B3, K4).  beurteilen die Bedeutung der Beziehung $E = mc^2$ für Erforschung und technische Nutzung von Kernspaltung und Kernfusion (B1, B3)
	Annihilation	Recherche, Arbeitsblatt	beschreiben die Bedeutung der Energie-Masse-Äquivalenz hinsichtlich der Annihilationen von Teilchen und Anti-Teilchen (UF4).  Bestimmen und bewerten den bei der Annihilation von Teilchen und Anti-Teilchen frei werdenden Energiebetrag (E7,B1).

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

Leitfrage: Was sind die kleinsten Bausteine der Materie?

Inhaltliche Schwerpunkte: Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

(K2) zu physikalischen Fragestellungen relevante Informationen und Daten in verschiedenen Quellen, auch in ausgewählten wissenschaftlichen Publikationen, recherchieren, auswerten und vergleichend beurteilen,

LK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
AKE 12	Kernbausteine und Elementarteilchen	Existenz von Quarks (Video) Internet (CERN / DESY)	systematisieren mithilfe des heutigen Standardmodells den Aufbau der Kernbausteine und erklären mit ihm Phänomene der Kernphysik (UF3),
	Kernkräfte Austauschteilchen der fundamentalen Wechselwirkungen	Darstellung der Wechselwirkung mit Feynman-Graphen (anhand von Literatur)	vergleichen das Modell der Austauschteilchen im Bereich der Elementarteilchen mit dem Modell des Feldes (Vermittlung, Stärke und Reichweite der Wechselwirkungskräfte) (E6). erklären an Beispielen Teilchenumwandlungen im Standardmodell mithilfe der Heisenberg'schen Unschärferelation und der Energie-Masse-Äquivalenz (UF1).
	Aktuelle Forschung und offene Fragen der Elementarteilchenphysik (z.B. Higgs-Teilchen, Dunkle Materie, Dunkle Energie, Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie, ...)	Literatur und Recherche im Internet	recherchieren in Fachzeitschriften, Zeitungsartikeln bzw. Veröffentlichungen von Forschungseinrichtungen zu ausgewählten aktuellen Entwicklungen in der Elementarteilchenphysik (K2),

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

- CERN-Film zum Standardmodell (sehr übersichtlich):
  - <http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/kurzvideos/film6.wmv>
  - Weiter Filme zum Standardmodell im netz verfügbar (z.B. bei YouTube)
- Einführung in Teilchenphysik (DESY):
  - <http://teilchenphysik.desy.de/>
  - <http://kworkquark.desy.de/1/index.html>
- Übungen und Erklärungen zu Ereignisidentifikation (umfangreiche CERN-Internetseite zum Analysieren von (Original-) Eventdisplays) am Computer:

- <http://kiende.web.cern.ch/kiende/de/wpath.htm>
- Ausgezeichnete Unterrichtsmaterialien des CERN zur Teilchenphysik:
  - <http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/>
- Übungen zur Teilchenphysik in der Realität:
  - <http://physicsmasterclasses.org/neu/>
  - <http://www.teilchenwelt.de/>
- Naturphänomene und Anregungen für den Physikunterricht:
  - <http://www.solstice.de>
- ... und vieles mehr:
  - <http://www.teilchenwelt.de/material/materialien-zur-teilchenphysik/>

## Curriculum für den GK

### Inhaltsfeld: Quantenobjekte (Q)

#### **Kontext: Erforschung des Elektrons – Elektronen im elektrischen Feld**

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,

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

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

(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.

GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
Wdh	<b>Grundlagen:</b> <i>Reibungselektrizität und Ladungstrennung, Kräfte zwischen Ladungen</i>	<i>Elektrostatik:  Reibungsversuche  Elektroskop, Glimmlampe</i>	
Q1	<b>Bestimmung der Elementarladung</b> Darstellung und Eigenschaften elektrischer Felder Elektrische Feldstärke und elektrische Kraft Energieumwandlung im elektrischen Feld elektrische Spannung Elektronenkanone Elementarladung	<i>Grießkornversuch</i>  <i>Kondensator,  Elektronenstrahlröhre</i> <b>Millikanversuch</b>	beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern deren Definitionsgleichungen (UF2, UF1)  bestimmen die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer elektrischen Spannung (UF2)  definieren die Spannung als Verhältnis von Energie und Ladung und bestimmen damit Energien bei elektrischen Leitungsvorgängen (UF2),  erläutern anhand einer vereinfachten Version des Millikanversuchs die grundlegenden Ideen und Ergebnisse zur Bestimmung der Elementarladung (UF1, E5)



GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
Q2	<p><b>Bestimmung der Elektronenmasse:</b></p> <p>Darstellung und Eigenschaften magnetischer Felder</p> <p>magnetische Feldstärke</p> <p>Lorentzkraft</p> <p>Elektronenmasse und spezifische Ladung eines Elektrons</p> <p><i>Massenspektrometer</i></p> <p>Zyklotron</p>	<p>Versuche zu Feldern:</p> <p>Stabmagnet, Hufeisenmagnet, Leiter, Spule</p> <p><b>Leiterschaukel</b></p> <p><b>Fadenstrahlrohr</b></p>	<p>bestimmen die relative Orientierung von Bewegungsrichtung eines Ladungsträgers, Magnetfeldrichtung und resultierender Kraftwirkung mithilfe einer Drei-Finger-Regel (UF2, E6),</p> <p><i>modellieren Vorgänge im Fadenstrahlrohr (Energie der Elektronen, Lorentzkraft) mathematisch, variieren Parameter und leiten dafür deduktiv Schlussfolgerungen her, die sich experimentell überprüfen lassen, und ermitteln die Elektronenmasse (E6, E3, E5),</i></p> <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>

## Inhaltsfeld: *Elektrodynamik (E)*

### Kontext: *Energieversorgung und Transport mit Generatoren und Transformatoren (ET)*

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,

(K2) zu physikalischen Fragestellungen relevante Informationen und Daten in verschiedenen Quellen, auch in ausgewählten wissenschaftlichen Publikationen, recherchieren, auswerten und vergleichend beurteilen,

(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,

(B2) Auseinandersetzungen und Kontroversen in physikalisch-technischen Zusammenhängen differenziert aus verschiedenen Perspektiven darstellen und eigene Standpunkte auf der Basis von Sachargumenten vertreten.

GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
E1	<p><b>Wandlung von mechanischer in elektrische Energie:</b></p> <p>Elektromagnetische Induktion</p> <p>Induktionsspannung</p> <p>(5 Ustd.)</p>	<p>bewegter Leiter im (homogenen) Magnetfeld - <b>Leiterschaukel</b></p> <p>Messung von Stromstärke mit Demo-Multimeter</p> <p>Cassy: Sinusförmige Spannung beim Schwingen der Schaukel</p> <p><b>Leiterschleife</b> (bewegt sich unter Einwirkung einer Kraft gleichförmig ins B-Feld)</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>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>Messwerterfassungssystem</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. „<b>zeitlich veränderliche (effektive) Fläche</b>“ zurück (UF3, UF4),</p>

GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; <b>Erkenntnisgewinnung</b> ; <b>Kommunikation</b> ; <b>Bewertung</b>
E2	<p><b>Technisch praktikable Generatoren:</b></p> <p>Erzeugung sinusförmiger Wechselspannungen (4 Ustd.)</p>	<p>Experiment mit Kurbelgenerator und 30W-Lämpchen</p> <p>Internetquellen, Lehrbücher, Filme und Applets zum Generatorprinzip</p> <p><b>Generator</b></p> <p>Experimente mit drehenden Leiterschleifen in Magnetfeldern, Wechselstromgeneratoren</p> <p>Messung und Registrierung von Induktionsspannungen mit <b>Oszilloskop</b> oder <b>Cassy</b></p>	<p>recherchieren bei vorgegebenen Fragestellungen historische Vorstellungen und Experimente zu Induktionerscheinungen (K2)</p> <p>erläutern adressatenbezogen Zielsetzungen, Aufbauten und Ergebnisse von Experimenten im Bereich der Elektrodynamik jeweils sprachlich angemessen und verständlich (K3)</p> <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>

GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
E3	<p><b>Nutzbarmachung elektrischer Energie durch „Transformation“</b></p> <p>Transformator</p> <p>Energieerhaltung</p> <p>Ohm'sche „Verluste“</p> <p>(9 Ustd.)</p>	<p><b>Transformator</b></p> <p>Experimente mit Aufbau-Transformatoren zur Spannungswandlung</p> <p><b>Freileitungen</b></p> <p>Modellexperiment (z.B. mit Hilfe von Aufbau-Transformatoren) zur Energieübertragung und zur Bestimmung der „Ohm'schen Verluste“ bei der Übertragung elektrischer Energie bei unterschiedlich hohen Spannungen</p>	<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>Messwerterfassungssystem</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>verwenden ein physikalisches <i>Modellexperiment zu Freileitungen</i>, um technologische Prinzipien der Bereitstellung und Weiterleitung von elektrischer Energie zu demonstrieren und zu erklären (K3)</p> <p>bewerten die Notwendigkeit eines geeigneten Transformierens der Wechselspannung für die effektive Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B1)</p> <p>zeigen den Einfluss und die Anwendung physikalischer Grundlagen in Lebenswelt und Technik am Beispiel der Bereitstellung und Weiterleitung elektrischer Energie auf (UF4)</p> <p>beurteilen Vor- und Nachteile verschiedener Möglichkeiten zur Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B2, B1, B4)</p>

**Kontext: Wirbelströme im Alltag**

Leitfrage: Wie kann man Wirbelströme technisch nutzen?

Inhaltliche Schwerpunkte: Induktion, Lenz'sche Regel

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

(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,

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

GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
E4	Die Wirbelstrombremse  Lenz'sche Regel	<b>Thomson'scher Ringversuch</b>  Freihandexperiment: Untersuchung der Relativbewegung eines aufgehängten Metallrings und eines starken Stabmagneten / E-Magneten  diverse technische und spielerische Anwendungen, z.B. Wirbelstrombremse, „fallender Magnet“ im Alu-Rohr, Waltenhof'sches Pendel, ...	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)

**Kontext: Welleneigenschaften des Lichts**

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

**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.

GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
Q3	Beugung und Interferenz Lichtwellenlänge und -frequenz Kreiswellen, ebene Wellen, Beugung und Brechung	Ausgangspunkt: Beugung von Laserlicht Bestimmung der Wellenlängen von Licht mit Doppelspalt und Gitter <b>Doppelspalt</b> <b>Gitter</b> <b>Wellenwanne</b> Modellbildung mit Hilfe der Wellenwanne	veranschaulichen mithilfe der <i>Wellenwanne</i> qualitativ unter Verwendung von Fachbegriffen auf der Grundlage des Huygens'schen Prinzips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Beugung, Interferenz, Reflexion und Brechung (K3) bestimmen Wellenlängen und Frequenzen von Licht mit <i>Doppelspalt</i> und <i>Gitter</i> (E5)

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

### 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,

(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.

GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; <b>Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung</b>
RRZ1	Konstanz der Lichtgeschwindigkeit Zeitdilatation	Ausgangspunkt: Film Relativitätstheorie (Teil 1)  <b>Michelson-Morley-Experiment</b>  <b>Lichtuhr</b>  <b>Myonenzerfall</b>	interpretieren das <i>Michelson-Morley-Experiment</i> als ein Indiz für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit (UF4)  erklären anschaulich mit der <i>Lichtuhr</i> grundlegende Prinzipien der speziellen Relativitätstheorie und ermitteln quantitativ die Formel für die Zeitdilatation (E6, E7)  erläutern qualitativ den <i>Myonenzerfalls</i> in der Erdatmosphäre als experimentellen Beleg für die von der Relativitätstheorie vorhergesagte Zeitdilatation (E5, UF1)  erläutern die relativistische Längenkontraktion über eine Plausibilitätsbetrachtung (K3)  begründen mit der Lichtgeschwindigkeit als Obergrenze für Geschwindigkeiten von Objekten, dass eine additive Überlagerung von Geschwindigkeiten nur für „kleine“ Geschwindigkeiten gilt (UF2)  erläutern die Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie (UF1)

**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,

(K4) sich mit anderen über physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse kritisch-konstruktiv austauschen und dabei Behauptungen oder Beurteilungen durch Argumente belegen bzw. widerlegen.

GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
RRZ2	„Schnelle“ Ladungsträger in E- und B-Feldern  Ruhemasse und dynamische Masse	Ausgangspunkt: Film Relativitätstheorie (Teil 1)  <b>Zyklotron</b>	erläutern die Funktionsweise eines <i>Zyklotrons</i> und argumentieren zu den Grenzen einer Verwendung zur Beschleunigung von Ladungsträgern bei Berücksichtigung relativistischer Effekte (K4, UF4),  erläutern die Energie-Masse Äquivalenz (UF1)

**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,

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

	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
RRZ3	Gegenseitige Bedingung von Raum und Zeit	Film Relativitätstheorie	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)



## Inhaltsfeld: Quantenobjekte (Q)

### Kontext: Erforschung von Elektron & Photon

Leitfrage: Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?

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

(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,

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

(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.

GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
Q4	Quantelung der Energie von Licht, Austrittsarbeit	Hallwachsversuch <b>Photoeffekt</b>	demonstrieren anhand eines <i>Experiments zum Photoeffekt</i> den Quantencharakter von Licht und bestimmen den Zusammenhang von Energie, Wellenlänge und Frequenz von Photonen sowie die Austrittsarbeit der Elektronen (E5, E2)
Q5	Streuung von Elektronen an Festkörpern, de Broglie-Wellenlänge <i>Bragg-Reflexion</i>	<b>Experiment zur Elektronenbeugung an polykristallinem Graphit</b>	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)
Q6	Licht und Materie Reflexion der Bedeutung der Experimente für die Bedeutung der Quantenphysik	Computersimulation Doppelspalt, Photoeffekt <a href="http://homepages.physik.uni-muenchen.de/~milq/milq_basiskursp01.html">http://homepages.physik.uni-muenchen.de/~milq/milq_basiskursp01.html</a>	erläutern am Beispiel der Quantenobjekte Elektron und Photon die Bedeutung von Modellen als grundlegende Erkenntniswerkzeuge in der Physik (E6, E7) untersuchen ergänzend zum Realexperiment Computersimulationen zum Verhalten von Quantenobjekten (E6) verdeutlichen die Wahrscheinlichkeitsinterpretation für Quantenobjekte unter Verwendung geeigneter Darstellungen (Graphiken, Simulationsprogramme) (K3) zeigen an Beispielen die Grenzen und Gültigkeitsbereiche von Wellen- und Teilchenmodellen für Licht und Elektronen auf (B4, K4) beschreiben und diskutieren die Kontroverse um die Kopenhagener Deutung und den Welle-Teilchen-Dualismus (B4, K4)

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

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

Leitfrage: Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie?

Inhaltliche Schwerpunkte: Atomaufbau

### Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können

(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,  
 (E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,  
 (E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen,  
 (K1) bei der Dokumentation von Untersuchungen, Experimenten, theoretischen Überlegungen und Problemlösungen eine korrekte Fachsprache und fachübliche Darstellungsweisen verwenden.

	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
SM 1	Kern-Hülle-Modell	Literaturrecherche, Schulbuch	erläutern, vergleichen und beurteilen Modelle zur Struktur von Atomen und Materiebausteinen (E6, UF3, B4),
SM 2	Energieniveaus der Atomhülle	Erzeugung von <b>Linienpektren</b> mithilfe von Gasentladungslampen	erklären die Energie absorbiertes und emittierter Photonen mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (UF1, E6)
SM 3	Quantenartige Emission und Absorption von Photonen	<b>Franck-Hertz-Versuch</b>	erläutern die Bedeutung von <i>Flammenfärbung</i> und <i>Linienpektren</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)
SM 4	Röntgenstrahlung	<b>charakteristische Röntgenspektren</b>	
SM 5	Sternspektren und Fraunhoferlinien	<b>Flammenfärbung</b> Darstellung des <b>Sonnenspektrums</b> mit seinen Fraunhoferlinien Spektralanalyse	interpretieren Spektraltafeln des <i>Sonnenspektrums</i> im Hinblick auf die in der Sonnen- und Erdatmosphäre vorhandenen Stoffe (K3, K1) erklären Sternspektren und Fraunhoferlinien (UF1, E5, K2) stellen dar, wie mit spektroskopischen Methoden Informationen über die Entstehung und den Aufbau des Weltalls gewonnen werden können (E2, K1)

**Kontext: Mensch und Strahlung**

Leitfrage: Wie wirkt Strahlung auf den Menschen?

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

**Kompetenzschwerpunkte:** Schülerinnen und Schüler können

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

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

(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,

(K1) bei der Dokumentation von Untersuchungen, Experimenten, theoretischen Überlegungen und Problemlösungen eine korrekte Fachsprache und fachübliche Darstellungsweisen verwenden,

(K2) zu physikalischen Fragestellungen relevante Informationen und Daten in verschiedenen Quellen, auch in ausgewählten wissenschaftlichen Publikationen, recherchieren, auswerten und vergleichend beurteilen,

(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.

GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
SM 6	Strahlungsarten	Recherche  <b>Absorptionsexperimente zu <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>-, <math>\gamma</math>-Strahlung</b>	unterscheiden $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -Strahlung und Röntgenstrahlung sowie Neutronen- und Schwerionenstrahlung (UF3)  erläutern den Nachweis unterschiedlicher Arten ionisierender Strahlung mithilfe von Absorptionsexperimenten (E4, E5)  bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik (B1, B3)
SM 7	Elementumwandlung	Nuklidkarte	erläutern den Begriff Radioaktivität und beschreiben zugehörige Kernumwandlungsprozesse (UF1, K1)
SM 8	Detektoren	<b>Geiger-Müller-Zählrohr</b>	erläutern den Aufbau und die Funktionsweise von Nachweisgeräten für ionisierende Strahlung ( <i>Geiger-Müller-Zählrohr</i> ) und bestimmen Halbwertszeiten und Zählraten (UF1, E2)

GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; <b>Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung</b>
SM 9	<p>Biologische Wirkung ionisierender Strahlung und Energieaufnahme im menschlichen Gewebe</p> <p>Dosimetrie</p>	ggf. Einsatz eines Films / eines Videos	<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 ionisierender Strahlung unter Abwägung unterschiedlicher Kriterien (B3, B4),</p>
SM 10	Kernspaltung / -fusion	Internet / Lehrbuch /AB	bewerten die Bedeutung $E = mc^2$ für die Kernspaltung und Kernfusion (B1, B3)

**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,

(K2) zu physikalischen Fragestellungen relevante Informationen und Daten in verschiedenen Quellen, auch in ausgewählten wissenschaftlichen Publikationen, recherchieren, auswerten und vergleichend beurteilen.

GK	Bezug zum Inhaltsfeld u. z. Basiskonzept und Umsetzung im Unterricht	Experimente und Medien	Zuordnung zu Kompetenzerwartungen: Umgang mit Fachwissen; Erkenntnisgewinnung; Kommunikation; Bewertung
SM 11	Kernbausteine und Elementarteilchen	In diesem Bereich sind i. d. R. keine Realexperimente für Schulen möglich. Es z.B. kann auf Internetseiten des CERN und DESY zurückgegriffen werden.	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)
SM 12	(Virtuelles) Photon als Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung Konzept der Austauschteilchen vs. Feldkonzept	Lehrbuch, Animationen	vergleichen in Grundprinzipien das Modell des Photons als Austauschteilchen für die elektromagnetische Wechselwirkung exemplarisch für fundamentale Wechselwirkungen mit dem Modell des Feldes (E6)