

# **Schulinterner Lehrplan Gymnasium Rodenkirchen**

## **Physik**

### **Qualifikationsphase Leistungskurs**

## Übersichtsraster der Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase im Leistungskurs

### Inhaltsfeld „Ladungen, Felder und Induktion“

Unterrichtsvorhaben	Leitfragen	Inhaltliche Schwerpunkte
I: Untersuchung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern	<p><i>Wie lassen sich Kräfte auf bewegte Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern beschreiben?</i></p> <p><i>Wie können Ladung und Masse eines Elektrons bestimmt werden?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elektrische Ladungen</li> <li>• elektrische Felder</li> <li>• elektrische Feldstärke</li> <li>• Coulomb'sches Gesetz</li> <li>• elektrisches Potential</li> <li>• elektrische Spannung</li> <li>• Kondensator und Kapazität</li> <li>• magnetische Felder</li> <li>• magnetische Flussdichte</li> </ul>
II: Massenspektrometer und Zyklotron als Anwendung in der physikalischen Forschung	<p><i>Welche weiterführende Anwendungen von bewegten Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern gibt es in Forschung und Technik?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geladene Teilchen in elektrischen Längs- und Quersfeldern Lorentzkraft</li> <li>• geladene Teilchen in gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldern</li> </ul>
III: Die elektromagnetische Induktion als Grundlage für die Kopplung elektrischer und magnetischer Felder und als Element von Energieumwandlungsketten	<p><i>Wie kann elektrische Energie gewonnen und im Alltag bereits gestellt werden?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• magnetischer Fluss</li> <li>• Induktionsgesetz</li> <li>• Lenz'sche Regel</li> <li>• Selbstinduktion</li> <li>• Induktivität</li> </ul>
IV: Zeitliche und energetische Betrachtungen bei Kondensator und Spule	<p><i>Wie speichern elektrische und magnetische Felder Energie und wie geben sie diese wieder ab?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kondensator und Kapazität</li> <li>• Induktivität</li> </ul>

### ***Inhaltsfeld „Schwingende Systeme und Wellen“***

Unterrichtsvorhaben	Leitfragen	Inhaltliche Schwerpunkte
V: Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und deren Eigenschaften	<i>Wie lassen sich mechanische und elektromagnetische Schwingungen beschreiben?</i> <i>Welche Analogien gibt es zwischen mechanischen und elektromagnetischen schwingenden Systemen?</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• harmonische Schwingungen und ihre Kenngrößen</li><li>• Federpendel</li><li>• Fadenpendel</li><li>• Resonanz</li><li>• Schwingkreis</li><li>• Hertz'scher Dipol</li></ul>
VI: Wellen und Interferenzphänomene	<i>Wie breiten sich Wellen aus und welche charakteristischen Wellenphänomene gibt es?</i> <i>Kann man Licht als elektromagnetische Welle beschreiben?</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Wellen-Kenngrößen</li><li>• Huygens'sches Prinzip</li><li>• Reflexion</li><li>• Brechung</li><li>• Beugung</li><li>• Polarisation und Superposition von Wellen</li><li>• Michelson-Interferometer</li></ul>

## ***Inhaltsfeld „Quantenphysik“***

Unterrichtsvorhaben	Leitfragen	Inhaltliche Schwerpunkte
VII: Quantenphysik als Weiterentwicklung des physikalischen Weltbildes	<i>Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Teilchenaspekte von Photonen</li><li>• Energiequantelung von Licht Photoeffekt</li><li>• Bremsstrahlung</li><li>• Photonen und Elektronen als Quantenobjekte</li><li>• Doppelspaltexperiment</li><li>• Bragg-Reflexion,</li><li>• Elektronenbeugung</li><li>• Wahrscheinlichkeitsinterpretation</li><li>• Delayed-Choice-Experiment</li><li>• Kopenhagener Deutung</li></ul>

## Inhaltsfeld „Atom- und Kernphysik“

Unterrichtsvorhaben	Leitfragen	Inhaltliche Schwerpunkte
VIII: Struktur der Materie	<p><i>Woraus besteht das Universum?</i></p> <p><i>Wie hat sich unsere Vorstellung vom Aufbau der Materie historisch bis heute entwickelt?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atomaufbau</li> <li>• Atommodelle</li> <li>• eindimensionaler Potentialtopf</li> <li>• Energieniveauschema</li> <li>• Röntgenstrahlung</li> <li>• Kernaufbau</li> </ul>
IX: Mensch und Strahlung - Chancen und Risiken ionisierender Strahlung	<p><i>Welche Auswirkungen haben ionisierende Strahlung auf den Menschen und wie kann man sich davor schützen?</i></p> <p><i>Wie nutzt man die ionisierende Strahlung in der Medizin?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Röntgenstrahlung</li> <li>• Strahlungsarten</li> <li>• Nachweismöglichkeiten ionisierender Strahlung</li> <li>• Eigenschaften ionisierender Strahlung</li> <li>• Absorption ionisierender Strahlung</li> <li>• Radioaktiver Zerfall</li> <li>• Zerfallsreihen</li> <li>• Halbwertszeit</li> </ul>
X: Massendefekt und Kernumwandlungen	<p><i>Wie kann man natürliche Kernumwandlung beschreiben und wissenschaftlich nutzen?</i></p> <p><i>Welche Möglichkeiten der Energiegewinnung ergeben sich durch Kernumwandlungen in Natur und Technik?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zerfallsreihen</li> <li>• Zerfallsgesetz</li> <li>• Halbwertszeit</li> <li>• Altersbestimmung</li> <li>• Kernspaltung und -fusion</li> <li>• Bindungsenergien</li> <li>• Massendefekt</li> <li>• Kettenreaktion</li> </ul>

## Konkretisierte Unterrichtsvorhaben

### Inhaltsfeld „Ladungen, Felder und Induktion“

#### Unterrichtsvorhaben I:

Untersuchung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern

#### Leitfragen:

Wie lassen sich Kräfte auf bewegte Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern beschreiben?

Wie können Ladung und Masse eines Elektrons bestimmt werden?

Inhalt	Kompetenz Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar
elektrische Ladungen	erklären grundlegende elektrostatische Phänomene mithilfe der Eigenschaften elektrischer Ladungen (S1)	einfache Versuche zur Reibungselektrizität, Anziehung / Abstoßung,  halbquantitative Versuche mit Hilfe eines Elektroskops: Zwei aneinander geriebene Kunststoffstäbe aus unterschiedlichen Materialien tragen betragsmäßig gleiche, aber entgegengesetzte Ladungen	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
elektrische Felder elektrische Feldstärke Coulomb'sches Gesetz, elektrisches Potential, elektrische Spannung, Kondensator und Kapazität	stellen elektrische Feldlinienbilder von homogenen, Radial- und Dipolfeldern sowie magnetische Feldlinienbilder von homogenen und Dipolfeldern dar (S1, K6) entwickeln mithilfe des Superpositionsprinzips elektrische und magnetische Feldlinienbilder (E4, E6, K5),  erläutern anhand einer einfachen Version des Millikan-Versuchs die grundlegenden Ideen und Ergebnisse zur Bestimmung der Elementarladung (S3, S5, E7, K9)  beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die	einfache Versuche und visuelle Medien zur Veranschaulichung elektrischer Felder im Feldlinienmodell  Skizzen zum prinzipiellen Aufbau des Millikanversuchs, realer Versuchsaufbau oder entsprechende Medien (z. B. RCL (remote control laboratory)), Bestimmung der Elementarladung mit dem Millikanversuch	Der Begriff des elektrischen Feldes und das Feldlinienmodell werden eingeführt. Die elektrische Feldstärke in einem Punkt eines elektrischen Feldes, der Begriff „homogenes Feld“, „radialsymmetrisches Feld“ und die Spannung werden definiert.  Die Versuchsidee „eines“ Millikanversuchs wird erarbeitet. Zusammenhang zwischen E und U im homogenen Feld Bestimmung der Elementarladung mit Diskussion der Messgenauigkeit

	<p>Definitionsgleichungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte (S2, S3, E6)</p> <p>bestimmen mithilfe des Coulomb'schen Gesetzes Kräfte von punktförmigen Ladungen aufeinander sowie resultierende Beträge und Richtungen von Feldstärken (E8, E10, S1, S3)</p>	<p>Plattenkondensator (homogenes E-Feld) evtl. Apparatur zur Messung der Feldstärke gemäß der Definition, Spannungsmessung am Plattenkondensator</p>	<p>An dieser Stelle sollten Übungsaufgaben erfolgen, z.B. auch zum Coulomb'schen Gesetz.</p>
<p>magnetische Felder, magnetische Flussdichte</p>	<p>modellieren mathematisch Bahnformen geladener Teilchen in homogenen elektrischen und magnetischen Längs- und Quersfeldern sowie in orthogonal gekreuzten Feldern (E1, E2, E4, S7),</p> <p>erläutern die Untersuchung magnetischer Flussdichten mithilfe des Hall-Effekts (E4, E7, S1, S5)</p> <p>konzipieren Experimente zur Bestimmung der Abhängigkeit der magnetischen Flussdichte einer langgestreckten stromdurchflossenen Spule von ihren Einflussgrößen (E2, E5)</p>	<p>Leiterschaukel zur Erarbeitung der Lorentzkraft, (z.B.) Stromwaage zur Demonstration der Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld sowie zur Veranschaulichung der Definition der magnetischen Feldstärke, Fadenstrahlrohr zur <math>e/m</math> – Bestimmung</p> <p>Hall-Sonde, Messung der magnetischen Flussdichte Halleffektgerät</p> <p>diverse Spulen, deren Felder vermessen werden (insbesondere lange Spulen und Helmholtzspulen),</p>	<p>Die Frage nach der Masse eines Elektrons führt zu weiteren Überlegungen. Als Versuchsidee wird (evtl. in Anlehnung an astronomischen Berechnungen in der EF) die Auswertung der Daten einer erzwungenen Kreisbewegung des Teilchens erarbeitet.</p> <p>Begrifferarbeitung des magnetischen Feldes inkl. Feldlinienmodell</p> <p>Definition der magnetischen Feldstärke, Definition des homogenen Magnetfeldes, Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld, Herleitung der Formel für die Lorentzkraft, Hall-Effekt</p> <p>Vorstellung des Aufbaus einer Hallsonde und Erarbeitung der Funktionsweise einer Hallsonde, Messungen mit der Hallsonde, u. a. Vermessung des Helmholtzspulenfeldes, Bestimmung der magnetischen Feldkonstante,</p>

## Unterrichtsvorhaben II:

Massenspektrometer und Zyklotron als Anwendung in der physikalischen Forschung

### Leitfrage:

Welche weiterführende Anwendungen von bewegten Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern gibt es in Forschung und Technik?

Inhalt	Kompetenz Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar
Bewegungen in Feldern: geladene Teilchen in elektrischen Längs- und Querfeldern; Lorentzkraft; geladene Teilchen in gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldern	modellieren mathematisch Bahnformen geladener Teilchen in homogenen elektrischen und magnetischen Längs- und Querfeldern sowie in orthogonal gekreuzten Feldern (E1, E2, E4, S7)  stellen Hypothesen zum Einfluss der relativistischen Massenzunahme auf die Bewegung geladener Teilchen im Zyklotron auf (E2, E4, S1, K4)  bewerten Teilchenbeschleuniger in Großforschungseinrichtungen im Hinblick auf ihre Realisierbarkeit und ihren gesellschaftlichen Nutzen hin (B3, B4, K1, K7)	Elektronenstrahlableitkröhre  Massenspektrometer Zyklotron, Linearbeschleuniger, Synchrotron  visuelle Medien und Computer- simulationen (ggf. RCLs) zum Massenspektrometer, Zyklotron und evtl. weiteren Teilchenbe- schleunigern <a href="http://www.leifiphysik.de">www.leifiphysik.de</a> <a href="http://www.mabo-physik.de">http://www.mabo-physik.de</a> <a href="http://project-physics-teaching.web.cern.ch/project-physics-teaching/german/teilchenphysik-multimedial.htm">http://project-physics-teaching.web.cern.ch/project-physics-teaching/german/teilchenphysik-multimedial.htm</a> (Film 7+8)	Auswertung einer parabelförmigen Flug- bahn (Anlehnung an den waagerechten Wurf in der EF)  Arbeits- und Funktionsweisen sowie die Verwendungszwecke diverser Elektronenröhren, Teilchenbeschleuniger und eines Massenspektrometers werden untersucht.  Berechnung der relativistischen Massenzunahme bei !  Entdeckungen, die durch Teilchenbeschleuniger realisiert werden konnten, medizinische Anwendung von Teilchenbeschleunigern Qualitative Kosten/Nutzen-Überlegung bei Großforschungseinrichtungen



### Unterrichtsvorhaben III:

Die elektromagnetische Induktion als Grundlage für die Kopplung elektrischer und magnetischer Felder und als Element von Energieumwandlungsketten

#### Leitfrage:

Wie kann elektrische Energie gewonnen und im Alltag bereits gestellt werden?

Inhalt	Kompetenz Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar
Elektromagnetische Induktion: magnetischer Fluss, Induktionsgesetz Lenz'sche Regel Selbstinduktion, Induktivität	<p>nutzen das Induktionsgesetz auch in differenzieller Form unter Verwendung des magnetischen Flusses (S2, S3, S7),</p> <p>erklären Verzögerungen bei Einschaltvorgängen sowie das Auftreten von Spannungstößen bei Ausschaltvorgängen mit der Kenngröße Induktivität einer Spule anhand der Selbstinduktion (S1, S7, E6)</p> <p>führen die Funktionsweise eines Generators auf das Induktionsgesetz zurück (E10, K4)</p> <p>begründen qualitative Versuche zur Lenz'schen Regel sowohl mit dem Wechselwirkungs- als auch mit dem Energiekonzept (E2, E9, K3).</p> <p>identifizieren und beurteilen Anwendungsbeispiele für die elektromagnetische Induktion im Alltag (B6, K8).</p>	<p>Medien zur Information über prinzipielle Verfahren zur Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie, Bewegung eines Leiters im Magnetfeld Leiterschaukel, ggf. einfaches elektrodynamisches Mikrofon, Gleich- und Wechselspannungsgeneratoren (vereinfachte Funktionsmodelle für Unterrichtszwecke) quantitativer Versuch zur elektromagnetischen Induktion bei Änderung der Feldgröße B, registrierende Messung von <math>B(t)</math> und <math>U_{\text{ind}}(t)</math>, Sendung mit der Maus, Folge S9</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), Versuche zur Demonstration der Wirkung von Wirbelströmen (Aluminiumfallrohr mit Magnet), diverse „Ringversuche“ (z.B. Thomson)</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 B (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> <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, 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>

### **Unterrichtsvorhaben IV:**

Zeitliche und energetische Betrachtungen bei Kondensator und Spule

#### **Leitfrage:**

*Wie speichern elektrische und magnetische Felder Energie und wie geben sie diese wieder ab?*

Inhalt	Kompetenz Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar
Elektrische Ladungen und Felder: Kondensator und Kapazität; Elektromagnetische Induktion: Induktivität	beschreiben qualitativ und quantitativ die Zusammenhänge von Ladung, Spannung und Stromstärke unter Berücksichtigung der Parameter Kapazität und Widerstand bei Lade- und Entladevorgängen am Kondensator auch mithilfe von Differentialgleichungen und deren vorgegebenen Lösungsansätzen (S3, S6, S7, E4, K7), geben die in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern gespeicherte Energie in Abhängigkeit der elektrischen Größen und der Kenngrößen der Bauelemente an (S1, S3, E2) prüfen Hypothesen zur Veränderung der Kapazität eines Kondensators durch ein Dielektrikum (E2, E3, S1), ermitteln anhand von Messkurven zu Auf- und Entladevorgängen bei Kondensatoren sowie zu Ein- und Ausschaltvorgängen bei Spulen zugehörige Kenngrößen (E4, E6, S6),	diverse Kondensatoren (als Ladungs-/Energiespeicher), Aufbaukondensatoren mit der Möglichkeit die Plattenfläche und den Plattenabstand zu variieren, Einfluss eines Dielektrikums statische Voltmeter bzw. Elektromettermessverstärker, Schülerversuche zur Auf- und Entladung von Kondensatoren sowohl mit großen Kapazitäten (Messungen mit Multimeter) als auch mit kleineren Kapazitäten (Messungen mit Hilfe von Messwerterfassungssystemen), Computer oder GTR/CAS-Rechner zur Messwertverarbeitung	Kondensatoren werden als Ladungs-/Energiespeicher vorgestellt (z.B. bei elektronischen Geräten wie Computern, Fahrradbeleuchtung oder Defibrillator). 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. Ermittlung der elektrischen Feldkonstante (evtl. Messung), Auf- und Entladevorgänge bei Kondensatoren werden messtechnisch erfasst, computerbasiert ausgewertet und mithilfe von Differentialgleichungen beschrieben, DGL müssen mithilfe gegebener Lösungsansätze gelöst werden, und eine gegebene Lösung muss mithilfe der DGL überprüft werden können; deduktive Herleitung der im elektrischen Feld eines Kondensators gespeicherten elektrischen Energie.

## Inhaltsfeld „Schwingende Systeme und Wellen“

### Unterrichtsvorhaben V:

Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und deren Eigenschaften

#### Leitfragen:

Wie lassen sich mechanische und elektromagnetische Schwingungen beschreiben?

Welche Analogien gibt es zwischen mechanischen und elektromagnetischen schwingenden Systemen?

Inhalt	Kompetenz Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar
harmonische Schwingungen und ihre Kenngrößen; Schwingende Systeme: Federpendel, Fadenpendel, Resonanz; Schwingkreis, Hertz'scher Dipol	<p>erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen sowie deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit und deren Zusammenhänge (S1, S3, K4)</p> <p>vergleichen mechanische und elektromagnetische Schwingungen unter energetischen Aspekten und hinsichtlich der jeweiligen Kenngrößen (S1, S3),</p> <p>erläutern qualitativ die physikalischen Prozesse bei ungedämpften, gedämpften und erzwungenen mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen (S1, E1)</p> <p>leiten für das Federpendel und unter Berücksichtigung der Kleinwinkelnäherung für das Fadenpendel aus dem linearen Kraftgesetz die zugehörigen Differentialgleichungen her (S3, S7, E2)</p> <p>ermitteln mithilfe der Differentialgleichungen und der Lösungsansätze für das ungedämpfte Fadenpendel, die ungedämpfte Federschwingung und den ungedämpften Schwingkreis die Periodendauer sowie die Thomson'sche Gleichung (S3, S7, E8)</p> <p>beschreiben den Hertz'schen Dipol als (offenen) Schwingkreis (S1, S2, K8)</p>	<p>Federpendel, Wagen zwischen zwei Federn gespannt, Messwertaufnahme und Analyse der Messkurve auch im Hinblick auf die Dämpfung</p> <p>Schülerexperiment: Betrachtung der Schwinung einer Stimmgabel mit Aufzeichnung der Schwingung</p> <p>Drehfederpendel zur Untersuchung von Resonanzphänomenen</p> <p>Resonanzkatastrophe: Videos z.B. von "zersungenen Gläsern" oder durch Wind einstürzende Brücken, "Anschubsen" bei der Schaukel auf dem Spielplatz</p> <p>Fadenpendel gekoppeltes Fadenpendel</p> <p>RLC – Serienschwingkreis insbesondere mit registrierenden Messverfahren und computergestützten Auswerteverfahren</p>	<p>Einführung aller Größen zur Beschreibung von Schwingungen (siehe Kompetenz)</p> <p>Wiederholung von Sinus- und Cosinus</p> <p>Einführung von Winkeln im Bogenmaß</p> <p>Energiebetrachtung von mechanischen Schwingungen, Umwandlung von potentieller und kinetischer Energie</p> <p>Definition harmonischer Schwingungen über lineares Kraftgesetz</p> <p>Gedämpfte Systeme</p> <p>Resonanz als Form optimaler Energieübertragung</p> <p>Betrachtung der Differentialgleichungen und ihrer Lösungen von harmonischen Schwinungen (Lösung mit Lösungsansatz s.o.)</p> <p>Mathematische Betrachtung des Fadenpendels mithilfe der Kleinwinkelnäherung</p> <p>Die zentrale Funktionseinheit „Schwingkreis“ wird genauer untersucht. Spannungen und Ströme im RCL – Kreis werden zeitaufgelöst registriert, die Diagramme sind Grundlage für die qualitative Beschreibung der Vorgänge in Spule und Kondensator.</p>

	<p>untersuchen experimentell die Abhängigkeit der Periodendauer und Amplitudenabnahme von Einflussgrößen bei mechanischen und elektromagnetischen harmonischen Schwingungen unter Anwendung digitaler Werkzeuge (E4, S4)</p> <p>untersuchen experimentell am Beispiel des Federpendels das Phänomen der Resonanz auch unter Rückbezug auf Alltagssituationen (E5, E6, K1)</p> <p>beurteilen Maßnahmen zur Vermeidung von Resonanzkatastrophen (B5, B6, K2)</p> <p>unterscheiden am Beispiel von Schwingungen deduktives und induktives Vorgehen als Grundmethoden der Erkenntnisgewinnung (B8, K4)</p> <p>beurteilen die Bedeutung von Schwingkreisen für die Umsetzung des Sender-Empfänger-Prinzips an alltäglichen Beispielen (B1, B4, K1)</p>	<p>Hertz'scher Dipol</p> <p>Anwendung in der Übertragungstechnik, Antennen</p>	<p>Quantitative Beschreibung der ungedämpften und gedämpften Schwingung beschrieben (inkl. der Herleitung der Thomsonformel). Immer weiter gehende Vereinfachung des Schwingkreises: Windungen der Spule verringern, Abstand der Platten vergrößern → Hertz'scher Dipol</p> <p>Elektromagnetische Schwingungen sind zeitliche Veränderung des magnetischen und elektrischen Feldes (evtl. auf den Unterschied zwischen Nah- und Fernfeld eingehen)</p>
--	---	--	--

## Unterrichtsvorhaben VI:

### Wellen und Interferenzphänomene

#### Leitfragen:

Wie breiten sich Wellen aus und welche charakteristischen Wellenphänomene gibt es?

Kann man Licht als elektromagnetische Welle beschreiben?

Inhalt	Kompetenz Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar
Wellen, Kenngrößen Huygens'sches Prinzip, Reflexion, Brechung, Beugung; Polarisierung und Superposition von Wellen; Michelson-Interferometer	erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen sowie deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit und deren Zusammenhänge (S1, S3, K4)  erläutern mithilfe der Wellenwanne qualitativ auf der Grundlage des Huygens'schen Prinzips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz (S1, E4, K6)  beschreiben mathematisch die räumliche und zeitliche Entwicklung einer harmonischen eindimensionalen Welle (S1, S2, S3, S7)  erklären mithilfe der Superposition stehende Wellen (S1, E6, K3)  erläutern die lineare Polarisierung als Unterscheidungsmerkmal von Longitudinal- und Transversalwellen (S2, E3, K8)	Wellenmaschine  Wellenphänomene wie Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz mithilfe der Wellenwanne Doppelspaltexperiment mit mechanischen Wellen mithilfe der Wellenwanne Longitudinal und Transversalwellen mithilfe von Seilwellen/Federwellen Polarisierung von Longitudinalwellen am Seil oder an der Wellenmaschine  Stehende Wellen (Experiment)	Welle als System gekoppelter Oszillatoren Beschreibung von eindimensionalen Wellen und ersten Phänomenen, Reflexion am offenen und geschlossenen Ende, Überlagerung von Wellen. Übertragung von Energie ohne Übertragung von Materie Aufstellen von Wellengleichungen als mathematische Beschreibung von Wellen Erklärung von Wellenphänomenen mithilfe des Huygens'schen Prinzips Stehende Wellen als Superposition von hin- und rücklaufenden Wellen  Betrachtung der Tonerzeugung bei verschiedenen Musikinstrumenten, Orgelpfeife, Gitarrensaite...
	stellen für Einzel-, Doppelspalt und Gitter die Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz und deren quantitative Bestätigung im Experiment für mono- und polychromatisches Licht dar (S1, S3, S6, E6)  erläutern qualitativ die Entstehung eines elektrischen bzw. magnetischen Wirbelfelds bei B- bzw. E-Feldänderung und die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle (S1, K4)	Interferenz-, Beugungs- und Brechungsexperimente mit (Laser-)Licht an Doppelspalt und Gitter(quantitativ) – sowie z.B. an Kanten, dünnen Schichten,... (qualitativ)  Polarisationsexperimente mit Licht z.B. mit 3D-Brillen aus dem Kino oder	Beugungs-, Brechungs- und Interferenzerscheinungen zum Nachweis des Wellencharakters elektromagnetischer Wellen  Polarisierung von Licht weist longitudinalen Wellencharakter von Licht nach

	<p>weisen anhand des Interferenzmusters bei Spalt- und Gitterversuchen die Welleneigenschaften des Lichts nach und bestimmen daraus die Wellenlänge des Lichts (E5, E6, E7, S6),</p> <p>erläutern Aufbau und Funktionsweise des Michelson-Interferometers (E2, E3, S3, K3).</p>	<p>Polarisationsfolien</p> <p>Michelson-Interferometer, Anwendungen in der Technik</p>	<p>Hier evtl. auch Ausweitung auf Gravitationswellen, deren Nachweis mit Interferometern (LIGO) gelang, denkbar</p> <p>Weiteres Experiment (Einstein-Teleskop) wird eventuell in der Region um Maastricht realisiert</p>
--	---	--	--

## Inhaltsfeld „Quantenphysik“

### Unterrichtsvorhaben VII:

Quantenphysik als Weiterentwicklung des physikalischen Weltbildes

#### Leitfrage:

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

Inhalt	Kompetenz Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar
<p>Teilchenaspekte von Photonen: Energiequantelung von Licht, Photoeffekt, Bremsstrahlung</p> <p>Photonen und Elektronen als Quantenobjekte: Doppelspaltexperiment, Bragg-Reflexion, Elektronenbeugung; Wahrscheinlichkeitsinterpretation, Delayed-Choice-Experiment; Kopenhagener Deutung</p>	<p>erklären den Photoeffekt mit der Einstein'schen Lichtquantenhypothese (S1, S2, E3)</p> <p>interpretieren die experimentellen Befunde zum Photoeffekt hinsichtlich des Widerspruchs zur klassischen Physik (E3, E8, S2, K3)</p> <p>bestimmen aus den experimentellen Daten eines Versuchs zum Photoeffekt das Planck'sche Wirkungsquantum (E6, S6)</p> <p>stellen anhand geeigneter Phänomene dar, dass Licht sowohl Wellen- als auch Teilchencharakter aufweisen kann (S2, S3, E6, K8)</p> <p>erklären bei Quantenobjekten anhand des Delayed-Choice-Experiments unter Verwendung der Koinzidenzmethode das Auftreten oder Verschwinden eines Interferenzmusters mit dem Begriff der Komplementarität (S1, S5, E3, K3)</p> <p>erklären am Beispiel von Elektronen die De-Broglie-Hypothese (S1, S3)</p> <p>berechnen Energie und Impuls über Frequenz und Wellenlänge für Quantenobjekte (S3)</p> <p>deuten das Quadrat der Wellenfunktion qualitativ als Maß für die Nachweiswahrscheinlichkeitsdichte von</p>	<p>Hallwachs-Experiment: Entladung einer positiv bzw. negativ geladenen (frisch geschmirgelten) Zinkplatte mithilfe des Lichts einer Hg-Dampf-Lampe (ohne und mit UV-absorbierender Glasscheibe) Experiment zur <math>h</math>-Bestimmung mithilfe von LEDs verschiedener Wellenlängen, Gegenfeldmethode</p> <p>Delayed-Choice-Experiment: z.B. Videos zum Quantenradierer Simulation auf Leifi</p> <p>Elektronenbeugungsröhre</p> <p>Wellenfunktion, evtl. Einfache Form einer Schrödingergleichung als DGL</p> <p><math>\alpha</math>-Centauri: Was ist die Unschärferelation?</p>	<p>Widerspruch zur Wellenhypothese des Lichts: Experiment lässt sich nicht mit Welleneigenschaften erklären: spontanes Einsetzen der Entladung, Abhängigkeit von Wellenlänge aber nicht von Intensität Hallwachsexperiment als ersten Hinweis auf die Teilchennatur des Lichts Lichtquantenhypothese nach Einstein Auswertung des Experiment liefert linearen Zusammenhang zwischen <math>E</math> und <math>f</math> Wele-Teilchen-Dualismus: Delayed-Choice-Experimente: Die Art der Beobachtung legt fest, ob das beobachtete Objekt seine Wellen- oder Teilcheneigenschaften zeigt. Licht zeigt Teilcheneigenschaften aber Elektronen, also klassische Teilchen, zeigen auch Welleneigenschaften (de Broglie) Herausstellen der Bedeutung der Bragg'schen Reflexionsbedingung für Photonen wie für Elektronen mit Blick auf den Wellenaspekt von Quantenobjekten Dabei Betonung der herausragenden Bedeutung der de Broglie-Gleichung für die quantitative Beschreibung der Quantenobjekte</p>





## Inhaltsfeld „Atom- und Kernphysik“

### Unterrichtsvorhaben VIII:

Struktur der Materie

#### Leitfragen:

Woraus besteht das Universum?

Wie hat sich unsere Vorstellung vom Aufbau der Materie historisch bis heute entwickelt?

Inhalt	Kompetenz Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar
<p>Atomaufbau: Atommodelle, eindimensionaler Potentialtopf, Energieniveauschema; Röntgenstrahlung</p> <p>Radioaktiver Zerfall: Kernaufbau</p>	<p>geben wesentliche Beiträge in der historischen Entwicklung der Atommodelle bis zum ersten Kern-Hülle-Modell (Dalton, Thomson, Rutherford) wieder (S2, K3),</p> <p>erklären die Energie absorbierter und emittierter Photonen mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (S3, E6, K4),</p> <p>erklären die Entstehung von Bremsstrahlung und charakteristischer Röntgenstrahlung (S3, E6, K4),</p> <p>beschreiben die Energiewerte für das Wasserstoffatom und wasserstoffähnliche Atome mithilfe eines quantenphysikalischen Atommodells (S2),</p> <p>erläutern das Modell des eindimensionalen Potentialtopfs und seine Grenzen (S2, K4),</p> <p>beschreiben anhand des Modells des eindimensionalen Potentialtopfs die Verallgemeinerung eines quantenmechanischen Atommodells hin zu einem Ausblick auf Mehrelektronensysteme unter Verwendung des Pauli-Prinzips (S2, S3, E10),</p> <p>interpretieren die Orbitale des Wasserstoffatoms als Veranschaulichung der Nachweiswahrscheinlichkeiten für das Elektron (S2, K8),</p> <p>erläutern qualitativ den Aufbau eines Atomkerns aus Nukleonen, den Aufbau der Nukleonen aus Quarks sowie</p>	<p>Recherche in Literatur und Internet Rutherford'scher Streuversuch</p> <p>Fraunhoferlinien und Linienspektren charakteristische Röntgenstrahlung im Röntgenspektrum</p> <p>Bildmaterial zu Atomorbitalen, Zuordnung der Orbitale zu den Quantenzahlen</p> <p>Leifi-Physik</p> <p>Standardmodell der Teilchenphysik evtl. Teilchenquartett</p>	<p>Diverse Atommodelle (Antike bis Anfang 20. Jhd.) Rutherford'scher Streuversuch Per Arbeitsblatt oder Applet (z.B.. <a href="http://www.schulphysik.de/java/physlet/applets/rutherford.html">http://www.schulphysik.de/java/physlet/applets/rutherford.html</a>) Vervollständigung des Röntgenspektrums</p> <p>Potentialtopf zur Beschreibung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen als Quadrat der Wellenfunktion Rückbezug auf stehende Wellen Anwendung: delokalisierte Elektronen in Farbstoffmolekülen</p> <p>Keine Herleitung der Orbitale aus der Schrödingergleichung, Benennung (und je nachdem eingeschränkt) Bedeutung der Quantenzahlen n, l und m Video: <a href="#">I never understood why orbitals have such strange shapes...until now!</a></p>

	<p>die Rolle der starken Wechselwirkung für die Stabilität des Kerns (S1, S2, K3),</p> <p>interpretieren Linienspektren bei Emission und Absorption sowie die Ergebnisse des Franck-Hertz-Versuchs mithilfe des Energieniveauschemas (E2, E10, S6),</p> <p>stellen an der historischen Entwicklung der Atommodelle die spezifischen Eigenschaften und Grenzen naturwissenschaftlicher Modelle heraus (B8, E9),</p>	<p>Franck-Hertz-Versuch</p> <p>Auswertung für verschiedene Elemente</p>	<p>Evtl. Kurzer Ausblick: Molekülorbitale</p> <p>Franck-Hertz-Versuch als weiterer Nachweis für diskrete Energieniveaus in Atomen</p>
--	--	---	---

## Unterrichtsvorhaben IX:

Mensch und Strahlung - Chancen und Risiken ionisierender Strahlung

### Leitfragen:

Welche Auswirkungen haben ionisierende Strahlung auf den Menschen und wie kann man sich davor schützen?

Wie nutzt man die ionisierende Strahlung in der Medizin?

Inhalt	Kompetenz Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar
Atomaufbau: Röntgenstrahlung  Ionisierende Strahlung: Strahlungsarten, Nachweismöglichkeiten ionisierender Strahlung, Eigenschaften ionisierender Strahlung, Absorption ionisierender Strahlung  Radioaktiver Zerfall: Zerfallsreihen, Halbwertszeit	erklären die Entstehung von Bremsstrahlung und charakteristischer Röntgenstrahlung (S3, E6, K4),  wägen die Chancen und Risiken bildgebender Verfahren in der Medizin unter Verwendung ionisierender Strahlung gegeneinander ab (B1, B4, K3)  ordnen verschiedene Frequenzbereiche dem elektromagnetischen Spektrum zu (S1, K6),  unterscheiden $\alpha$ -, $\beta$ - und $\gamma$ -Strahlung, Röntgenstrahlung und Schwerionenstrahlung als Arten ionisierender Strahlung (S1)  erläutern den Aufbau und die Funktionsweise des Geiger- Müller-Zählrohrs als Nachweisgerät ionisierender Strahlung (S4, S5, K8)  erklären die Ablenkbarkeit in elektrischen und magnetischen Feldern sowie Durchdringungs- und Ionisierungsfähigkeit von ionisierender Strahlung mit ihren Eigenschaften (S1, S3)  erläutern qualitativ an der $\beta$ -Umwandlung die Entstehung der Neutrinos mithilfe der schwachen Wechselwirkung und ihrer Austauschteilchen (S1, S2, K4).  leiten auf der Basis der Definition der Aktivität das Gesetz für den radioaktiven Zerfall einschließlich eines Terms für die Halbwertszeit her (S7, E9),  wählen für die Planung von Experimenten mit ionisierender Strahlung zwischen dem Geiger-Müller-	Schülervorträge auf fachlich angemessenem Niveau (mit adäquaten fachsprachlichen Formulierungen) Ggf. Exkursion zur radiologischen Abteilung eines Krankenhauses  Spektrum der elektromagnetischen Strahlung  Geiger-Müller-Zählrohr evtl. auch Nebelkammer  Absorption von der drei Strahlungsarten Ablenkung von $\beta$ -Strahlen im Magnetfeld Literatur (zur Röntgen-, Neutronen- und Schwerionenstrahlung)  Standardmodell der Teilchenphysik	Röntgenstrahlung mit Schwerpunkt auf Anwendung (kann auch im vorherigen Unterrichtsvorhaben schon behandelt werden) Anwendung in der bildgebenden Diagnostik und in der Sicherheitstechnik  Ggf. Schülermessungen mit Zählrohren (Alltagsgegenstände, Nulleffekt, Präparate etc.) Demonstration der Nebelkammer, ggf. Schülerbausatz  Linearisierung, Quotientenmethode, Halbwertszeitabschätzung, logarithmische Auftragung  Ansatz analog zur quantitativen Beschreibung von Kondensatorentladungen

	<p>Zählrohr und einem energiesensiblen Detektor gezielt aus (E3, E5, S5, S6),</p> <p>konzipieren Experimente zur Bestimmung der Halbwertszeit kurzlebiger radioaktiver Substanzen (E2, E5, S5),</p> <p>quantifizieren mit der Größe der effektiven Dosis die Wirkung ionisierender Strahlung und bewerten daraus abgeleitete Strahlenschutzmaßnahmen (E8, S3, B2).</p>	<p>Videos zum Thema Strahlenschutzmaßnahmen Video zur Dosimetrie Auswertung von Berichten über Unfälle im kerntechnischen Bereich Quarks &amp; co</p>	
--	--	---	--

### **Unterrichtsvorhaben X:**

Massendefekt und Kernumwandlungen

#### **Leitfragen:**

*Wie kann man natürliche Kernumwandlung beschreiben und wissenschaftlich nutzen?*

*Welche Möglichkeiten der Energiegewinnung ergeben sich durch Kernumwandlungen in Natur und Technik?*

Inhalt	Kompetenz Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment/Medium	Kommentar
Radioaktiver Zerfall: Zerfallsreihen, Zerfallsgesetz, Halbwertszeit; Altersbestimmung  Kernspaltung und -fusion: Bindungsenergien, Massendefekt; Kettenreaktion	beschreiben natürliche Zerfallsreihen sowie künstlich herbeigeführte Kernumwandlungsprozesse (Kernspaltung und -fusion, Neutroneneinfang) auch mithilfe der Nuklidkarte (S1)  beschreiben Kernspaltung und Kernfusion mithilfe der starken Wechselwirkung zwischen den Nukleonen auch unter quantitativer Berücksichtigung von Bindungsenergien (S1, S2)  bestimmen mithilfe des Zerfallsgesetzes das Alter von Materialien mit der C-14-Methode (E4, E7, S7, K1)  bewerten Nutzen und Risiken von Kernspaltung und Kernfusion hinsichtlich der globalen Energieversorgung (B5, B7, K3, K10)  diskutieren ausgewählte Aspekte der Endlagerung radioaktiver Abfälle unter Berücksichtigung verschiedener Quellen (B2, B4, K2, K10)	Nuklidkarte, digitale Nuklidkarte  Mausefallenexperiment zur Kettenreaktion, Atom-Maus  ggf. Meilensteine aus Naturwissenschaft und Technik  Altersbestimmung von ehemals lebender Materie, z.B. Mumien, Ötzi...  Recherche im Internet Chernobyl (Auszüge aus der BBC-Serie) Videos von Kernwaffenexplosionen Videos/Literatur: Schwierige Suche nach Endlagern Debatte/Pro- und Contra-Diskussion	Orientierung und Navigation auf der Nuklidkarte    Berechnung über Energie-Masse-Äquivalenz    Stand der Entwicklung von Fusionsreaktoren: Tokamak, Lasertechnologie, ITER...