

## Schulinternes Curriculum Physik Sek. II (gültig ab Schuljahr 2023/24)

Das schulinterne Curriculum Physik Sek. II basiert auf den Vorgaben des Rahmenlehrplans für die gymnasiale Oberstufe Teil C Physik, der mit dem Schuljahr 2023/24 Gültigkeit für die gymnasiale Oberstufe erlangt.

Die Reihenfolge der Themenfelder ist für Grund- und Leistungskurs verbindlich.

### Verteilung der Themenfelder auf die Kurshalbjahre in der Qualifikationsphase (Q1-Q4)

	Themenfelder für den Grund- und Leistungskurs
<b>Q1</b>	3.2.1 Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld
<b>Q2</b>	3.2.2 Bewegung von geladenen Teilchen in Feldern 3.2.3 Elektromagnetische Induktion 3.2.4 Schwingungen
<b>Q3</b>	3.2.5 Wellen 3.2.6 Quantenobjekte
<b>Q4</b>	3.2.7 Atome

Die Inhalte, die im LK zusätzlich zum GK zu unterrichten sind, werden jeweils in einer Zeile nach den gemeinsamen Inhalten aufgelistet. Dies bedeutet jedoch keine vorgegebene zeitliche Abfolge. Die Abfolge der Inhalte kann aus didaktischen Gründen geändert werden, insbesondere bei den Themenfeldern Schwingungen und Wellen. Um die Analogie zwischen den Phänomenen und Größen der Mechanik bzw. Elektrodynamik zu betonen, ist auch eine abgewandelte Reihenfolge didaktisch sinnvoll.

## Q1 Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld (Q1, GK: ca. 50 h, LK ca. 83 h)

verbindliche Inhalte verbindliche Experimente	Basiskonzepte und Kompetenzen	mögliche Kontexte Fachbegriffe
<p><b>Gravitationsfeld</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gravitationsgesetz und Gravitationsfeld, Feldlinienbilder</li> <li>– Gravitationsfeldstärke <math>g = \frac{F_G}{m}</math></li> <li>– Bewegungen von Körpern im Gravitationsfeld, Radialkraft <math>F_r = m \cdot \frac{v^2}{r}</math></li> </ul> <p><b>Veranschaulichung von Feldeigenschaften mithilfe von Computersimulationen und Modellexperimenten</b></p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– erklären Kreisbahnen von Satelliten mithilfe eines Kraftansatzes. (<b>Erhaltung und Gleichgewicht</b>)</li> <li>– berechnen Umlaufzeit und Kreisbahngeschwindigkeit bzw. Bahnradius von Satelliten. (<b>Mathematisieren und Vorhersagen</b>)</li> <li>– entnehmen aus Feldlinienbildern relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder. (<b>K 3</b>)</li> </ul>	<p><b>Geostationäre Satelliten Weltraumlift</b></p> <p>Feld, Feldlinienmodell, Probekörper, homogenes Feld, Radialfeld, Gravitationskonstante</p>
<p><b>LK</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kepler'sche Gesetze</li> </ul> <p><b>Veranschaulichung der Kepler-Gesetze mithilfe von Computersimulationen und Potentialtrichter</b></p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– reflektieren am Beispiel des Übergangs vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild die Auswirkungen physikalischer Weltbetrachtungen. (<b>B 8</b>)</li> <li>– konstruieren eine Ellipse mit geometrischen Mitteln zu (<b>S 7</b>)</li> </ul>	<p><b>Bewegungen im Weltall Entwicklung der Weltbilder</b></p> <p>große und kleine Halbachse, numerische Exzentrizität, Kepler-Konstante</p>

### **Elektrisches Feld**

- Kräfte zwischen elektrisch geladenen Körpern, Feldlinienbilder
- elektrische Feldstärke  $E = \frac{F_{el}}{q}$
- Stromstärke  $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
- potenzielle Energie im elektrischen Feld  $W_{el} = q \cdot E \cdot d$
- Spannung  $U = \frac{W_{el}}{q}$
- Kapazität eines Kondensators  $C = \frac{Q}{U}$
- Feldstärke im Inneren eines Plattenkondensators  $E = \frac{U}{d}$
- Abhängigkeit der Kapazität eines Plattenkondensators von der Fläche, vom Plattenabstand und vom Dielektrikum  $C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$
- mathematische Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke beim Auf- und Entladen von Kondensatoren
- Energie geladener Kondensatoren  $E_{el} = \frac{1}{2} CU^2$
- Anwendung von Kondensatoren in der Technik

**Veranschaulichung von Feldeigenschaften mithilfe von Computersimulationen** und Modellexperimenten

**Erfassen des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke beim Auf- und Entladen eines Kondensators**

Die Lernenden ...

- beschreiben die Überlagerung von Feldern zweier Punktladungen anhand von Zeichnungen. (**Superposition und Komponenten**)
- werten Daten mithilfe digitaler Werkzeuge aus. (**Mathematisieren und Vorhersagen**)
- entnehmen aus Feldlinienbildern relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder. (**K 3**)
- modellieren Auf- oder Entladung eines Kondensators mithilfe mathematischer Gleichungen und digitaler Werkzeuge. (**E 4**)
- berücksichtigen Messunsicherheiten, indem sie Mittelwert und Standardabweichung berechnen, und analysieren die Konsequenzen für die Interpretation des Ergebnisses, z. B. bei der Bestimmung der Kapazität eines Kondensators aus einer Messreihe. (**E 7**)

### **Funktionsweise eines Kondensatormikrofons** **Kapazitiver Feuchtesensor** **Defibrillator**

elektrische Ladung, homogenes Feld, Radialfeld, Dipolfeld, elektrische Feldkonstante, Dielektrizitätszahl, Halbwertszeit

<b>LK</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Coulomb'sches Gesetz</li> <li>– Influenz und Polarisation</li> <li>– Superposition von Feldern (qualitativ und quantitativ mithilfe von Kraftpfeilen)</li> <li>– Elektrisches Potenzial <math>\varphi</math></li> <li>– Spannung als Potentialdifferenz <math>U = \Delta\varphi</math></li> <li>– Deutung der Vorgänge im Dielektrikum</li> <li>– mathematische Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der Spannung beim Auf- und Entladen von Kondensatoren</li> <li>– Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren</li> </ul> <p><b>Erfassen des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke und Spannung beim Auf- und Entladen eines Kondensators mit einem Messwerterfassungssystem</b></p> <p><b>Zusammenhang zwischen Spannung und Ladung eines Kondensators</b></p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ermitteln Betrag und Richtung der resultierenden elektrischen Feldstärke. (<b>Superposition und Komponenten</b>)</li> <li>– bestimmen die Kapazität eines Kondensators mittels der Messung der Lade- bzw. Entladekurve. (<b>Mathematisieren und Vorhersagen</b>)</li> <li>– bauen Versuchsanordnungen zu Auf- und Entladevorgängen nach Anleitung auf, führen Experimente durch und werten diese aus. (<b>S 4</b>)</li> </ul>	<p><b>Glätten einer pulsierenden Gleichspannung Defibrillator</b></p> <p>potenzielle Energie und Potenzial im elektrischen Feld, Äquipotenzialflächen, Spannung und Potentialdifferenz</p>
-----------	---	---	--

<p><b>Magnetfeld</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Feldlinienbilder von Permanentmagneten, geradem Leiter und Spule</li> <li>– Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld</li> <li>– magnetische Flussdichte <math>B = \frac{F_L}{I \cdot l}</math></li> <li>– magnetische Flussdichte im Inneren einer langen Spule, Einfluss von Materie auf die Flussdichte <math>B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot I}{l}</math></li> <li>– Lorentzkraft <math>F_L = q \cdot v \cdot B</math></li> <li>– Gegenüberstellung der Feldeigenschaften von Gravitationsfeldern, elektrischen und magnetischen Feldern</li> </ul> <p><b>Veranschaulichung von Feldeigenschaften mithilfe von Computersimulationen und Modellexperimenten</b></p> <p><b>Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld</b></p> <p><b>Messung von Flussdichten, z. B. von Elektromagneten, des Erdmagnetfelds mithilfe von Sensoren</b></p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– entnehmen aus Feldlinienbildern relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder. <b>(K 3)</b></li> <li>– stellen Hypothesen zu den Abhängigkeiten <math>B = f(N, I, l)</math> Spule auf. <b>(E 2)</b></li> <li>– erläutern den Gültigkeitsbereich und Vorhersagemöglichkeiten des Modells „lange Spule“. <b>(S 2)</b></li> </ul>	<p><b>Bau eines starken Elektromagneten</b></p> <p><b>Ursache des Erdmagnetfeldes</b></p> <p>Magnetische Feldkonstante, Permeabilitätszahl</p>
<p><b>LK</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kräfte zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern (qualitativ)</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ermitteln die Horizontalkomponente des Erdmagnetfelds aus der Überlagerung mit dem Feld einer Spule. <b>(Superposition und Komponenten)</b></li> </ul>	

Bezug zur Sprachbildung (Teil B, RLP)	Bezug zur Medienbildung (Teil B, RLP)	Bezug zu den übergreifenden Themen (Teil B, RLP)
<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- erlernen und reflektieren einen bewussten Umgang mit Alltags- und Fachsprache, um Fachinhalte präzise kommunizieren zu können.</li> <li>- erschließen Fachtexte zu Anwendungen elektrischer und magnetischer Felder sowie zu Fragestellungen rund um die Gravitation.</li> <li>- lesen Originalliteratur auch in einer Fremdsprache.</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- nutzen digitale Bildungsangebote (digitale Schulbücher, Lernplattformen), um sich Fachinhalte anzueignen.</li> <li>- nutzen digitale Bildungsangebote, um Simulationen physikalischer Phänomene durchzuführen.</li> <li>- nutzen digitale Medien, um physikalische und technische Sachverhalte zu präsentieren.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Weltraumschrott → <b>ÜT Nachhaltige Entwicklung/Lernen in globalen Zusammenhängen</b></li> <li>- Energiespeicherung in Akkumulatoren → <b>ÜT Nachhaltige Entwicklung/Lernen in globalen Zusammenhängen</b></li> </ul>
<p><b>Fachinterne Vereinbarungen:</b></p> <p>Es wird empfohlen, zu Beginn des Semesters im Modul „mathematisches Survival Kit“ die in der Sek. I vermittelten mathematischen Methoden der Physik kurz zu wiederholen und im Rahmen von Kontexten aus Q1 zu festigen.</p> <p>Im LK soll in der zweiten Klausur eine experimentelle Aufgabestellung enthalten, die mit Hilfe von Messgeräten bzw. einem digitalen Messwertfassungssystem bearbeitet wird.</p>		

## Q2.1 Bewegung von geladenen Teilchen in Feldern (Q2, GK: ca. 12 h; LK ca. 20 h)

verbindliche Inhalte verbindliche Experimente	Basiskonzepte und Kompetenzen	mögliche Kontexte Fachbegriffe
<ul style="list-style-type: none"> <li>– mathematische Beschreibung der Bewegung geladener Teilchen im homogenen elektrischen Längsfeld</li> <li>– qualitative Beschreibung der Teilchenbahn im homogenen elektrischen Querfeld</li> <li>– Vakuumlichtgeschwindigkeit <math>c_0</math> als Obergrenze für Geschwindigkeiten</li> <li>– Millikan-Experiment (Schwebefall)</li> <li>– Kreisbahnen von geladenen Teilchen im homogenen Magnetfeld</li> <li>– Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons</li> </ul> <p><b>Ablenkung eines Elektronenstrahls mit elektrischen und magnetischen Feldern</b> <b>Fadenstrahlröhre</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– leiten die Gleichung <math>v = \sqrt{2 \cdot \frac{q}{m} \cdot U}</math> aus einem Energieansatz her (<b>Erhaltung und Gleichgewicht</b>)</li> <li>– entwickeln einen Kraftansatzes für ein schwebendes Öltröpfchen im Millikan-Experiment (<b>Erhaltung und Gleichgewicht</b>)</li> <li>– berechnen Größen aus dem Kraftansatz <math>F_z = F_L</math>. (<b>Erhaltung und Gleichgewicht</b>)</li> <li>– beschreiben die Bewegung eines Ladungsträgers im homogenen elektrischen Querfeld als Überlagerung einer gleichförmigen und einer beschleunigten Bewegung (<b>Superposition und Komponenten</b>)</li> <li>– beschreiben die Elektronenbahn im elektrischen Querfeld kausal korrekt strukturiert. (<b>K 4</b>)</li> <li>– entwickeln Handlungsoptionen am Beispiel von Teilchenbeschleunigern unter Berücksichtigung gegebener Bewertungskriterien wie Kosten, Energieaufwand, gesellschaftlicher und wissenschaftlicher Nutzen. (<b>B 3</b>)</li> <li>– reflektieren die Relevanz des Ergebnisses des Millikan-Experiments hinsichtlich der Bestimmung der Elektronenmasse. (<b>E 9</b>)</li> </ul>	<p><b>Teilchenbeschleuniger</b> Glühemission, spezifische Ladung des Elektrons, Ruhemasse</p>

<p><b>LK</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mathematische Beschreibung der Bahnkurven geladener Teilchen im homogenen elektrischen Querfeld</li> <li>– relativistische Massenzunahme</li> <li>– Ablenkung von Ladungsträgern in Magnetfeldern für beliebige Eintrittswinkel <math>F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha</math></li> <li>– geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern mit senkrecht aufeinander stehenden Feldstärkevektoren</li> <li>– Hall-Effekt</li> </ul> <p><b>Messung von Hallspannungen</b> Wien'scher Filter</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– leiten die Gleichung <math>U_H = b \cdot v \cdot B</math> mithilfe eines Kraftansatzes her. (<b>Erhaltung und Gleichgewicht</b>)</li> <li>– leiten die Gleichung <math>v = \frac{E}{B}</math> für den Geschwindigkeitsfilter her. (<b>Erhaltung und Gleichgewicht</b>)</li> <li>– berücksichtigen Messunsicherheiten und analysieren die Konsequenzen bei der Interpretation von Messdaten aus dem MILLIKAN-Experiment bei der Bestimmung der Elementarladung. (<b>E 7</b>)</li> <li>– erklären mithilfe der relativistischen Massenzunahme experimentelle Daten zu schnell bewegten Elektronen. (<b>E 6</b>)</li> </ul>	<p>Hallspannung</p>
------------------	--	---	---------------------

## Q2.2 Elektromagnetische Induktion (Q2, GK: ca. 15 h; LK ca. 25 h)

verbindliche Inhalte verbindliche Experimente	Basiskonzepte und Kompetenzen	mögliche Kontexte Fachbegriffe
<p><b>Induktionsgesetz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Möglichkeiten der Erzeugung von Induktionsspannungen</li> <li>– Induktionsgesetz unter Verwendung des Differenzenquotienten <math>U_{\text{ind}} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}</math></li> <li>– Betrachtung der Spezialfälle konstanter Fläche und konstanter magnetischer Flussdichte beim Erzeugen von Induktionsspannungen</li> <li>– Erzeugung von Wechselspannung (qualitativ)</li> </ul> <p><b>Nachweis der elektromagnetischen Induktion im bewegten und ruhenden Leiter</b></p> <p><b>Spannungsübersetzung am Transformator</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– sagen Messergebnissen mithilfe des Induktionsgesetzes vorher. <b>(Mathematisieren und Vorhersagen)</b></li> <li>– entnehmen einem <math>\Phi(t)</math>-Diagramm relevante Informationen und entwickeln daraus das <math>U_{\text{ind}}(t)</math>-Diagramm. <b>(K 3)</b></li> <li>– prüfen verwendete Quellen zu Alltagskontexten des Themenfeldes hinsichtlich der Kriterien Korrektheit, Fachsprache und Relevanz für den untersuchten Sachverhalt. <b>(K 2)</b></li> <li>– beurteilen Informationen und deren Darstellung aus Quellen unterschiedlicher Art zu Alltagskontexten des Themenfeldes hinsichtlich Vertrauenswürdigkeit und Relevanz. <b>(B 2)</b></li> <li>– wählen sach- und adressatengerecht einzelne Anwendungen der elektromagnetischen Induktion für die Inhalte von Präsentationen, Diskussionen oder anderen Kommunikationsformen aus. <b>(K 5)</b></li> </ul>	<p><b>Kontaktloses Aufladen von Akkus</b></p> <p><b>Spule als Sensor</b></p> <p>Magnetischer Fluss, Effektivwerte von Strom und Spannung</p>
<p><b>LK</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Induktionsgesetz in differentieller Form <math>U_{\text{ind}} = -N \cdot \frac{d\phi}{dt}</math></li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p>	<p>Kreisfrequenz</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mathematische Betrachtung sinusförmiger Wechselspannungen <math>U_{ind}(t) = U_0 \cdot \sin(\omega t)</math> mit <math>U_0 = N \cdot B \cdot A \cdot \omega</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– leiten die Gleichung für eine sinusförmige Wechselspannung aus dem Induktionsgesetz her. (<b>Mathematisieren und Vorhersagen</b>)</li> </ul>	
<p><b>Selbstinduktion</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– qualitative Beschreibung der Verläufe von Spannung und Stromstärke bei Ein- und Ausschaltvorgängen von Spulen</li> <li>– LENZsche Regel</li> <li>– Spannung bei Selbstinduktion <math>U_{ind} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}</math></li> <li>– Induktivität einer Spule <math>L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N^2 \cdot A}{l}</math></li> <li>– Feldenergie einer stromdurchflossenen Spule <math>E_{mag} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2</math></li> </ul> <p><b>Experiment zur LENZschen Regel</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– beschreiben den Zusammenhang zwischen Lenzscher Regel und Energieerhaltungssatz. (<b>Erhaltung und Gleichgewicht</b>)</li> <li>– erklären den Verlaufs der resultierenden Spannung beim Einschalten einer Spule aus der Überlagerung von angelegter Spannung und Induktionsspannung. (<b>Superposition und Komponenten</b>)</li> </ul>	<p><b>Magnetschwebbahn Induktionskochplatten</b> Induktivität, Selbstinduktion</p>
<p><b>LK</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mathematische Beschreibung der Verläufe von Spannung und Stromstärke bei Ein- und Ausschaltvorgängen von Spulen</li> <li>– Spannung bei Selbstinduktion <math>U_{ind} = -L \cdot \frac{dI}{dt}</math></li> </ul> <p><b>Aufnahme des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke beim Einschalten einer Spule</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ermitteln die Induktivität einer Spule aus Messdaten <math>I(t)</math> beim Einschalten dieser Spule und erklären das verwendete Auswerteverfahren. (<b>S 6</b>)</li> </ul>	

## Q2.3 Schwingungen (Q2, GK: ca. 15 h; LK ca. 25 h)

verbindliche Inhalte verbindliche Experimente	Basiskonzepte und Kompetenzen	mögliche Kontexte Fachbegriffe
<p><b>Mechanische Schwingungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Beschreibung der Schwingung eines mechanischen Oszillators</li> <li>– Kenngrößen einer Schwingung, Zusammenhang zwischen Frequenz und Periodendauer</li> <li>– Energieumwandlungen an einem mechanischen Oszillator</li> <li>– Dämpfung einer Schwingung</li> <li>– Periodendauer eines Federpendels <math>T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}}</math></li> <li>– Gleichung für die zeitabhängige Auslenkung bei harmonischen Schwingungen <math>y(t) = y_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)</math></li> <li>– erzwungene Schwingung und Resonanz</li> </ul> <p><b>Abhängigkeit der Eigenfrequenz des Fadenpendels von l bzw. des Federpendels von m und D</b></p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– erläutern Energieumwandlungen an gedämpften und an erzwungenen Schwingungen (<b>Erhaltung und Gleichgewicht</b>)</li> <li>– beziehen das Modell der harmonischen Schwingung zurück auf Alltagssituationen und reflektieren seine Generalisierbarkeit. (<b>E 10</b>)</li> <li>– planen geeignete Experimente zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Eigenfrequenz und den Parametern eines harmonischen Oszillators. (<b>E 5</b>)</li> <li>– beurteilen Sicherheitsmaßnahmen zur Schwingungsdämpfung in Alltagssituationen. (<b>B 6</b>)</li> </ul>	<p><b>Resonanzkatastrophe (Tacoma Narrows Bridge)</b></p> <p>Auslenkung, Amplitude, Frequenz, Periodendauer, Kreisfrequenz, Oszillator, harmonische Schwingung, Eigenfrequenz, Erregerfrequenz</p>
<p><b>LK</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– lineares Kraftgesetz als Bedingung für die Entstehung einer harmonischen mechanischen Schwingung</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– betrachten die Kräfte zur Erklärung der Entstehung einer mechanischen Schwingung. (<b>Superposition und Komponenten</b>)</li> </ul>	<p>Phasenverschiebung</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>– entwickeln das Auslenkungs-Zeit-Gesetz als Lösung des Kraftansatzes <math>F_R(t) = -D \cdot y(t)</math>. <b>(Mathematisieren und Vorhersagen)</b></li> <li>– wenden die Methode der zeitlichen Ableitung auf die Gleichung für die harmonische Schwingung an. <b>(S 7)</b></li> </ul>	
<p><b>Elektromagnetische Schwingung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Entstehung elektromagnetischer Schwingungen in einem Schwingkreis</li> <li>– zeitliche Verläufe von Spannung und Stromstärke in einem Schwingkreis</li> <li>– THOMSONSche Schwingungsgleichung  <math display="block">f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}</math> </li> <li>– Energieumwandlungen im Schwingkreis</li> <li>– Dämpfung im Schwingkreis (qualitativ)</li> <li>– Vergleich von mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen unter dem Aspekt der Energieumwandlungen</li> </ul> <p><b>Darstellung des zeitlichen Verlaufs von Stromstärke und Spannung in einem Schwingkreis</b>  <b>Abhängigkeit der Eigenfrequenz eines Schwingkreises von der Kapazität und der Induktivität</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>– erklären anhand von Lade- und Induktionsvorgängen den Einfluss der Kapazität und der Induktivität auf die Eigenfrequenz eines elektromagnetischen Schwingkreises. <b>(E 6)</b></li> </ul>	<p><b>Elektromagnetische Schwingkreise als Sensoren</b></p>

<b>LK</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erzeugen von elektromagnetischen Schwingungen mit konstanter Amplitude durch Rückkopplung</li> <li>– Erzwungene elektromagnetische Schwingung und Resonanz</li> </ul> <p><b>Aufnahme der Resonanzkurve eines elektromagnetischen Schwingkreises</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– erläutern kausal korrekt strukturiert an einem Blockschaltbild das Rückkopplungsprinzip zur Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen. (<b>K 4</b>)</li> </ul>	
-----------	--	--	--

Bezug zur Sprachbildung (Teil B, RLP)	Bezug zur Medienbildung (Teil B, RLP)	Bezug zu den übergreifenden Themen (Teil B, RLP)
<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- erlernen und reflektieren einen bewussten Umgang mit Alltags- und Fachsprache, um Fachinhalte präzise kommunizieren zu können.</li> <li>- erschließen Fachtexte zu den Inhalten von Q2.</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– nutzen digitale Bildungsangebote (digitale Schulbücher, Lernplattformen), um sich Fachinhalte anzueignen.</li> <li>– nutzen digitale Bildungsangebote, um Simulationen physikalischer Phänomene durchzuführen.</li> <li>– nutzen digitale Medien, um physikalische und technische Sachverhalte zu präsentieren.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Teilchenforschung in multinationalen Kollaborationen → <b>ÜT Europabildung</b></li> <li>– Vergleich von Energieübertragungsmethoden bezüglich des Wirkungsgrads → <b>ÜT Verbraucherbildung</b></li> </ul>
<p><b>Fachinterne Vereinbarungen:</b></p> <p>Im LK soll in einer der Klausur eine experimentelle Aufgabestellung enthalten sein, die mit Hilfe von Messgeräten bzw. einem digitalen Messwerterfassungssystem bearbeitet wird.</p>		

### Q3.1 Wellen (Q3, GK: ca. 24 h; LK ca. 40 h)

verbindliche Inhalte verbindliche Experimente	Basiskonzepte und Kompetenzen	mögliche Kontexte Fachbegriffe
<p><b>Mechanische Wellen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Definition des Begriffs</li> <li>– Energieübertragung durch Wellen</li> <li>– charakteristische Größen zur Beschreibung einer Welle</li> <li>– Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge und Frequenz <math>c = \lambda \cdot f</math></li> <li>– Wellenphänomene: Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz</li> <li>– stehende Wellen, Wellenlängenbestimmung mittels einer durch Reflexion erzeugten stehenden Welle</li> </ul> <p>Demonstration von Wellenphänomenen an der Wellenwanne bzw. mittels Videos</p> <p><b>Erzeugung einer stehenden Welle (z. B. auf einem Seil oder einer Feder) durch Reflexion</b></p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– erklären Interferenzphänomene mithilfe der Superposition von Wellen (<b>Superposition und Komponenten</b>)</li> <li>– veranschaulichen die Entstehung stehender Wellen in sachgerechten Darstellungsformen, auch mithilfe digitaler Werkzeuge. (<b>K 6</b>)</li> </ul>	<p><b>Erdbebenwellen</b></p> <p>Wellenlänge, Wellenfront, Gangunterschied, Schwingungsknoten, Schwingungsbauch</p>
<p><b>LK</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zeitliche und räumliche Entwicklung einer harmonischen eindimensionalen Welle, Darstellung durch Funktionsgleichungen <math>y(t) = y_0 \cdot \sin(\omega t)</math> für <math>x = konst.</math> und</li> </ul>	<p>–</p>	

	$y(x) = y_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right)$ für $t = konst$ oder durch Funktionsgraphen		
	<b>Elektromagnetische Wellen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Entstehung elektromagnetischer Wellen am HERTZschen Dipol</li> <li>– Ausbreitung elektromagnetischer Wellen, Ausbreitungsgeschwindigkeit</li> <li>– Wellenphänomene: Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz</li> <li>– Polarisierung von Transversalwellen</li> </ul> <b>Wellenphänomene bei Mikrowellen</b> <b>Nachweis von polarisiertem und unpolarisiertem Licht</b>		<b>Mikrowellenherd</b> Lichtgeschwindigkeit, Gangunterschied
LK	– Dipollänge $l = \frac{\lambda}{2}$		
	<b>Wellenoptik</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Interferenz von monochromatischem Licht am Doppelspalt und Gitter</li> <li>– Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz an Doppelspalt und Gitter:  <math>\Delta s = k \cdot \lambda, \sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{d}</math>  <math>\Delta s = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \sin \alpha_k = \frac{(2k-1) \cdot \lambda}{2d}</math> </li> </ul>	Die Lernenden ... <ul style="list-style-type: none"> <li>– beschreiben mathematisch die Lage der Maxima und Minima bei der Interferenz am Doppelspalt <b>(M&amp;V)</b></li> <li>– erklären das Messverfahren zur Wellenlängenbestimmung bei der Interferenz am Doppelspalt sowie die Funktion einzelner Komponenten des Versuchsaufbaus. <b>(S 5)</b></li> </ul>	<b>Auflösungsvermögen von optischen Instrumenten</b> Gangunterschied, Gitterkonstante,

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Farbzerlegung von weißem Licht an einem Gitter</li> <li>– elektromagnetisches Spektrum, Überblick über die verschiedenen Frequenzbereiche</li> </ul> <p><b>Bestimmung der Wellenlänge monochromatischen Lichts durch Interferenz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– modellieren optische Phänomene wie die Interferenz am Doppelspalt mithilfe mathematischer Darstellungen. (E 4)</li> <li>– präsentieren Eigenschaften und Anwendungen von Frequenzbereichen des elektromagnetischen Spektrums sach- und adressatengerecht unter Einsatz geeigneter analoger und digitaler Medien. (K 7)</li> <li>– bilden sich reflektiert und rational in außerfachlichen Kontexten (z.B. „Handy-Strahlung“) ein eigenes Urteil. (B 4)</li> </ul>		
<p><b>LK</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beugung und Interferenz am Einfachspalt, Bedingung für destruktive Interferenz:  <math display="block">\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{b}</math> </li> <li>– Aufbau und Funktionsweise eines Interferometers</li> <li>– Röntgenbeugung an Kristallgittern, BRAGGsche Gleichung: <math>2d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda</math></li> </ul> <p><b>Interferenz am Einfachspalt</b></p>	<p>Die Lernenden ...</p> <p>deuten die Abschwächung unpolarisierten Lichts durch einen Polarisationsfilter. (S&amp;K)</p> <p>bestimmen die Netzebenenabstände in Kristallen mithilfe der BRAGGschen Gleichung. (M&amp;V)</p> <p>erklären das Messverfahren zur Bestimmung der Netzebenenabstände in Kristallen mithilfe der BRAGG-Reflexion sowie die Funktion einzelner Komponenten des Versuchsaufbaus. (S 5)</p> <p>reflektieren Risikoeinschätzungen zur Mobilfunktechnologie („Handystrahlung“) hinsichtlich der Güte des durchgeführten Bewertungsprozesses. (B 5)</p>	

### Q3.2 Quantenobjekte (Q3, GK: ca. 18 h; LK ca. 30 h)

verbindliche Inhalte verbindliche Experimente	Basiskonzepte und Kompetenzen	mögliche Kontexte Fachbegriffe
<ul style="list-style-type: none"> <li>– äußerer lichtelektrischer Effekt, Widerspruch zum Wellenmodell</li> <li>– EINSTEINSche Deutung im Photonenmodell des Lichts <math>E_{\text{ph}} = h \cdot f = E_{\text{kin}} + W_{\text{A}}</math>,</li> <li>– Impuls von klassischen Teilchen und Photonen: <math>p = m \cdot v</math>, <math>p_{\text{ph}} = \frac{h \cdot f}{c}</math></li> <li>– Hypothese von DE BROGLIE <math>\lambda = \frac{h}{p}</math></li> <li>– Elektronenbeugung (qualitativ)</li> <li>– TAYLOR-Experiment: stochastische Vorhersagbarkeit der Häufigkeitsverteilung (qualitativ)</li> <li>– Komplementarität von Weginformation und Interferenzfähigkeit</li> </ul> <p><b>Fotoeffekt: Einfluss der Intensität und Frequenz des Lichts</b>  <b>Bestimmung des PLANCKSchen Wirkungsquantums mit der Gegenfeldmethode im Experiment oder als Simulation</b>  <b>Elektronenbeugung</b></p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– erläutern die Energieerhaltung beim Fotoeffekt (<b>E&amp;G</b>)</li> <li>– deuten das Interferenzmusters im Doppelspaltexperiment als Häufigkeitsverteilung bei der Registrierung von Einzelereignissen (<b>S&amp;K</b>)</li> <li>– beschreiben Ereignisse einzelner Quantenobjekte (z. B. Registrierung eines Photons auf einem Schirm) unter Verwendung von Wahrscheinlichkeitsaussagen (<b>Z&amp;D</b>)</li> <li>– reflektieren die Relevanz der Ergebnisse zum Fotoeffekt für physikalische Erkenntnisgewinnung und erläutern das Versagen klassischer Modelle. (<b>E 9</b>)</li> <li>– erklären, wie sich mithilfe eines Experiments zum Fotoeffekt das Plancksche Wirkungsquantum ermitteln lässt. (<b>S 6</b>)</li> </ul>	<p><b>Funktionsprinzip von Nachtsichtgeräten</b>  <b>Breakthrough Starshot</b>  Photon, Planck'sches Wirkungsquantum, Austrittsarbeit, Grenzfrequenz, Materiewelle, DE-BROGLIE-Wellenlänge, Aufenthaltswahrscheinlichkeit</p>

<b>LK</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Elektronenbeugung an Kristallgittern (quantitativ)</li> <li>– HEISENBERG'sche Unbestimmtheitsrelation</li> </ul> $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>– Äquivalenz von Masse und Energie</li> </ul> $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ <p><b>h-Bestimmung mithilfe von LEDs</b></p> <p><b>Simulation zum Nachweis der</b> Komplementarität von Weginformation und Interferenzfähigkeit (Quantenradierer)</p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– leiten die Gleichung <math>\lambda</math> aus der DE-BROGLIE-Hypothese und dem Energieansatz her. <b>(E&amp;G)</b></li> <li>– stellen Messwerten aus dem Elektronenbeugungsexperiment zur Bestimmung von h linearisiert dar. <b>(M&amp;V)</b></li> <li>– beschreiben mathematisch den Zusammenhang zwischen der Wellenlänge und der Lage der Beugungsringe in der Elektronenbeugungsröhre. <b>(M&amp;V)</b></li> <li>– erklären im Photonenmodell die am Einfachspalt gefundenen Zusammenhänge zwischen Spaltbreite und Breite des Hauptmaximums mithilfe der HEISENBERG'schen Unbestimmtheitsrelation. <b>(E 6)</b></li> <li>– reflektieren Grenzen der Erkenntnisgewinnung vor dem Hintergrund der HEISENBERG'schen Unbestimmtheitsrelation. <b>(E 11)</b></li> </ul>	
-----------	--	---	--

Bezug zur Sprachbildung (Teil B, RLP)	Bezug zur Medienbildung (Teil B, RLP)	Bezug zu den übergreifenden Themen (Teil B, RLP)
<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- erlernen und reflektieren einen bewussten Umgang mit Alltags- und Fachsprache, um Fachinhalte präzise kommunizieren zu können.</li> <li>- erschließen Fachtexte zu Inhalten von Q3.</li> <li>- lesen Originalliteratur auch in einer Fremdsprache.</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- nutzen digitale Bildungsangebote (digitale Schulbücher, Lernplattformen), um sich Fachinhalte anzueignen.</li> <li>- nutzen digitale Bildungsangebote, um Simulationen physikalischer Phänomene durchzuführen.</li> <li>- nutzen digitale Medien, um physikalische und technische Sachverhalte zu präsentieren.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzen und Gefahren durch elektromagnetische Wellen → <b>ÜT Verbraucherbildung</b> → <b>ÜT Gesundheitsförderung</b></li> </ul>
<p><b>Fachinterne Vereinbarungen:</b> Die zweite Klausur in Q3 im LK dient zur Vorbereitung der schriftlichen Abiturprüfung. Die Aufgabenstellungen werden deshalb für eine längere Bearbeitungszeit als in den vorhergehenden Klausuren gestellt und enthalten eine experimentelle Aufgabestellung.</p>		

## Q4 Atome (Q4, GK: ca. 30 h; LK ca. 50 h)

verbindliche Inhalte verbindliche Experimente	Basiskonzepte und Kompetenzen	mögliche Kontexte Fachbegriffe
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Linienspektrum des atomaren Wasserstoffs, Serienformel:  <math display="block">f = f_R \cdot \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)</math> </li> <li>– Emission und Absorption von Photonen als Energieabgabe und Anregung von Atomen</li> <li>– Energiewerte für das Wasserstoffatom  <math display="block">E_n = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}</math> </li> <li>– Zusammenhang zwischen Energieniveauschema und Linienspektrum</li> <li>– Orbitale des Wasserstoffatoms als Veranschaulichung der Nachweiswahrscheinlichkeiten für das Elektron</li> <li>– Optische Spektralanalyse unterschiedlicher atomarer Gase</li> </ul> <p><b>Darstellung eines Emissions- und Absorptionslinienspektrums</b></p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– erläutern Prozesse bei der quantenhaften Emission und Absorption von Licht (<b>E&amp;G</b>)</li> <li>– entwickeln ein Energieniveauschema aus einem Emissionsspektrum und umgekehrt (<b>M&amp;V</b>)</li> <li>– sagen Spektrallinien außerhalb des sichtbaren Spektrums vorher (<b>M&amp;V</b>)</li> <li>– entwickeln Fragestellungen zur Analyse von Linienspektren. (<b>E 1</b>)</li> <li>– erklären die Entstehung von Absorptionslinien unter Nutzung eines Energieniveauschemas. (<b>S 1</b>)</li> <li>– veranschaulichen Orbitale des Wasserstoffatoms mithilfe geeigneter Software. (<b>K 6</b>)</li> </ul>	<p><b>Spektroskopie in der Astrophysik</b>  <b>bildgebende Verfahren in der Medizin</b></p> <p>Emissions- und Absorptionsspektrum, Orbital, Hauptquantenzahl <math>n</math>, Grundzustand, angeregte Zustände, Ionisationsenergie</p>
<p><b>LK</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Franck-Hertz-Experiment</li> <li>– Energiewerte für Ein-Elektron-Systeme  <math display="block">E_n = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{Z^2}{n^2}</math> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– erläutern die Prozesse beim Franck-Hertz-Experiment (<b>E&amp;G</b>)</li> </ul>	<p>kurzwellige Grenze des Röntgenbremsspektrums, charakteristische Röntgenstrahlung</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Modell des eindimensionalen Potenzialtopfes mit diskreten Energiewerten und seine Grenzen</li> <li>– Betragsquadrat der Wellenfunktion zur Beschreibung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit</li> <li>– Ausblick auf Mehrelektronensysteme, Pauli-Prinzip</li> <li>– Eigenschaften von Röntgenstrahlung</li> <li>– Röntgenspektrum (Drehkristallverfahren)</li> <li>– Entstehung der kontinuierlichen und der diskreten Röntgenstrahlung</li> </ul> <p><b>Darstellung von Röntgenspektren (IBE oder Realexperiment)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bestimmen das Plancksche Wirkungsquantums aus der kurzwelligen Grenze der Röntgenstrahlung. <b>(E&amp;G)</b></li> <li>– erklären, dass in einer Gasentladungsröhre der Zeitpunkt der Emission eines Photons durch ein einzelnes Gasatom zufällig ist, sich aber bei fest eingestellter Spannung dennoch eine eindeutig vorhersagbare Strahlungsleistung einstellt <b>(Z&amp;D)</b></li> <li>– erklären die unterschiedlichen Intensitäten von Spektrallinien als Folge unterschiedlicher Wahrscheinlichkeiten bei der Besetzung von Energieniveaus. <b>(Z&amp;D)</b></li> <li>– erklären das Drehkristallverfahren sowie die Funktionen der einzelnen Komponenten des Versuchsaufbaus zur Aufnahme eines Röntgenspektrums. <b>(S 5)</b></li> <li>– erklären, wie aus der grafischen Darstellung <math>\lambda_{min} \left( \frac{1}{U} \right)</math> für die kurzwellige Grenze der Röntgenstrahlung das Plancksche Wirkungsquantum ermittelt werden kann und wenden dieses Auswerteverfahren auf Messergebnisse an. <b>(S 6)</b></li> </ul>	
--	---	--	--

Bezug zur Sprachbildung (Teil B, RLP)	Bezug zur Medienbildung (Teil B, RLP)	Bezug zu den übergreifenden Themen (Teil B, RLP)
<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- erlernen und reflektieren einen bewussten Umgang mit Alltags- und Fachsprache, um Fachinhalte präzise kommunizieren zu können.</li> <li>- erschließen Fachtexte zu Inhalten von Q4.</li> <li>- lesen Originalliteratur auch in einer Fremdsprache.</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- nutzen digitale Bildungsangebote (digitale Schulbücher, Lernplattformen), um sich Fachinhalte anzueignen.</li> <li>- nutzen digitale Bildungsangebote, um Simulationen physikalischer Phänomene durchzuführen.</li> <li>- nutzen digitale Medien, um physikalische und technische Sachverhalte zu präsentieren.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzen und Gefahren durch Röntgenuntersuchungen → <b>ÜT Gesundheitsförderung</b></li> <li>- Bilanz aus Emission und Absorption der Erdatmosphäre → <b>ÜT nachhaltige Entwicklung / Lernen in globalen Zusammenhängen</b></li> </ul>

**Fachinterne Vereinbarungen:**

Im Grundkurs je Semester 1 Klausur, im Leistungskurs 2 Klausuren in Q1 – Q3 bzw. 1 Klausur in Q4. Mindestdauer lt. VO-GO in aktueller Fassung. Die Klausuren bestehen aus mind. zwei Aufgabenstellungen zu unterschiedlichen physikalischen Kontexten.

Wertung Klausur(en) zu Allg. Teil: Grundkurs: 1/3 zu 2/3, LK 1:1 in Q1 – Q3 bzw. 1/3 zu 2/3 in Q4.

Experimentelle Arbeit, Mitarbeit, zusätzliche Lernerfolgskontrollen, schriftliche Ausarbeitungen, Präsentationen usw. werden dem Allgemeinen Teil zugerechnet.

Bei der Lösung physikalischer Aufgabenstellungen, bei der der Wert einer physikalischen Größe berechnet werden soll, sollen die folgenden Methoden durchgängig angewandt werden:

- Formulierung einer Erwartung für den zu bestimmenden Wert (aufgrund von Vorkenntnissen, Erfahrung, Intuition usw.),
- Analyse der Problemstellung und Wahl eines geeigneten Modellsystems,
- Verbalisierung des Lösungswegs,
- Begründete Auswahl eines Ansatzes bzw. geeigneter Formeln,
- Mathematische Manipulationen zum Auflösen nach der gesuchten Größe,
- Einheitenrechnung,
- Abgleich von erwartetem und berechneten Wert und Schlussfolgerung

**Links zu Simulationen:**

- 1. und 2. Kepler'sches Gesetz: <https://www.walter-fendt.de/html5/phde/>
- Breakthrough Starshot: [https://de.wikipedia.org/wiki/Breakthrough\\_Starshot](https://de.wikipedia.org/wiki/Breakthrough_Starshot)
- 

IBE: interaktives Bildschirmexperiment

**Basiskonzepte:** RLP S. 15f.

- **E&H:** Erhaltung und Gleichgewicht
- **S&K:** Superposition und Komponenten
- **M&V:** Mathematisierung und Vorhersagen
- **Z&D:** Zufall und Determiniertheit