

# Schulinternes Curriculum für die Qualifikationsphase im Fach Physik

am ASKANISCHEN GYMNASIUM

Der nachfolgende Entwurf enthält die verpflichtenden Elemente des Rahmenlehrplans, untergliedert in Grundkurs und **Leistungskurs**. Neben den verpflichtenden Inhalten werden – so weit möglich – Kontexte zur Einbettung vorgeschlagen. Die Spalte „Lehr- und Lernmittel...“ enthält neben den vom RLP vorgesehenen verpflichtenden Experimenten auch Experimente, die am Fachbereich realisiert werden können, hier sind natürlich Modifikationen denkbar.

Die Hinweise zum Unterricht sind in erster Linie für den GK gedacht, da über Jahre kein Leistungskurs angeboten werden konnte. Ebenso sind die Themenfelder „Schwingungen“ und „Wellen“ in ihrer Tragweite und Problemhaftigkeit nicht einschätzbar, insofern sind dort Erfahrungen aus der Sekundarstufe 1 eingeflossen.

Die Basiskonzepte und die Kompetenzen richten sich in ihrer Nennung nach dem RLP S. 10ff. Einzelne Großbuchstaben weisen auf Basiskonzepte hin (E wie **Erhaltung und Gleichgewicht**), Großbuchstaben mit Ziffer auf Kompetenzen (E7 **Erkenntnisgewinnungskompetenz**: „berücksichtigen Messunsicherheiten...“)

Des Weiteren werden Bezüge zum Rahmenlehrplan der Sekundarstufe 1 und dem Rahmenlehrplan der Qualifikationsphase (Teil B) hergestellt und abschließend eine ungefähre Abschätzung des Zeitbedarfs gegeben, die sich auf ca. 40-45 h **65h** Unterrichtszeit für den Grund-**Leistungskurs** festlegt. Neben den verpflichtenden Klausur(en) stellen LEK eine zurzeit vereinbarte Möglichkeit der Leistungsüberprüfung dar.

Klassische Feldtheorie	Newtonsche Gravitation	Grundkurs Q1 [ <b>Leistungskurs Q1</b> ]	
Kontext und Inhalte GK und <b>LK</b> Fachbegriffe und Formeln	Untersuchungen & Experimente Lehr- und Lernmittel	Hinweise zum Unterricht	Basiskonzepte und Kompetenzentwicklung
<p>1. Versorgungsflüge zur ISS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreisbewegungen im Zentralkraftfeld</li> <li>• <b>Bezugssysteme</b></li> <li>• Energetik des Aufstiegs, der Begleitung und des Abstiegs</li> </ul> <p>Radialkraft            Schwerkraft (Gewicht und Masse)            Bahntempo und -beschleunigung            Umlaufzeit /Periodendauer T</p> $F_{R,Z} = m \frac{v_B^2}{r} = m a_{R,Z}$ $v_B = \frac{2\pi r}{T}$ <p>2. Wie schwer ist die Sonne?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>[Bestimmung der Bahnparameter der Planeten]</b></li> <li>• Newtonsches Gravitationsgesetz</li> <li>• Cavendish-Versuch</li> <li>• Massen anderer Zentralkörper.</li> </ul> <p>Gravitationskonstante            [Kepler-Konstante]</p> $F_G = G \frac{M \cdot m}{r^2} = m \cdot \frac{G \cdot M}{r^2} = m \cdot a_G$ <p>[Keplersche Gesetze]</p> <p>3. Das Tscheljabinsk-Ereignis</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Körper auf Ellipsenbahnen: ihre Dynamik und Energetik</li> <li>• Kometen, Asteroiden und die Struktur des Sonnensystems</li> <li>• <b>[Kepler-Gesetze und ihr historischer Kontext]</b></li> </ul>	<p>1. Luftpumpenrakete            Reale Wurfbewegungen.            Videos zu den STS-/Falcon Heavy-Missionen bevorzugt mit Telemetriedaten.  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=wbSwFU6tY1c&amp;t=1360s">https://www.youtube.com/watch?v=wbSwFU6tY1c&amp;t=1360s</a>  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=Hy1Nc4YpAUI&amp;t=668s">https://www.youtube.com/watch?v=Hy1Nc4YpAUI&amp;t=668s</a>            Die Columbia- und Challenger-Katastrophen.</p> <p>2. Gravitationsdrehwaage (ggf. Planetarium) oder über  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=Mcg2h--JDv4">https://www.youtube.com/watch?v=Mcg2h--JDv4</a></p> <p>3. Videos            PHET Simulationen            Sternbewegungen um SagA* :  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=B0QRpid5_QU">https://www.youtube.com/watch?v=B0QRpid5_QU</a>  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=XA7CAVm31z0">https://www.youtube.com/watch?v=XA7CAVm31z0</a></p>	<p>1. Kontextgebundene Wiederverfügbarmachung der newtonschen Gesetze und der energetischen Beschreibung von Bewegungen.            Die Energetik wird über Bilanzen behandelt, dabei erfolgt die Verwendung der potentiellen Energie im Schwerefeld in Näherung. Verdeutlichung des Stufenantriebskonzepts.</p> <p>2. Das <math>r^{-2}</math> – Gesetz der Radialkraft wird im KoSys <b>[durch logarithmierte Achsen oder <math>r^{-2}</math>-Skalierung]</b> plausibel gemacht.            Aufbau und Durchführung eines Cavendish-Experiments im Real – oder Videoversuch.            Die Gleichsetzung von Schwer- und Radialkraft bzw. Fall- und Gravitationsbeschleunigung muss sorgfältig vorgenommen werden.            Augenmerk muss auf eine sichere Handhabung des mathematisch-physikalischen Formalismus gerichtet werden, hier insbesondere Einheiten, wissenschaftliche Schreibweisen – auch im TR – und Rundungsvereinbarungen.</p> <p>3. Die schrittweise Erweiterung des Betrachtungsrahmens verdeutlicht die Universalität der Gravitation, aber auch die Chancen und Gefahren für die Zivilisation im Sonnensystem.</p>	<p>Die L</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären Kreisbahnen <b>[und Ellipsenbahnen]</b> von Himmelskörpern mithilfe eines Kraftansatzes (E S1)</li> <li>• berechnen Umlaufzeit und Kreisbahntempo bzw. Bahnradius von Himmelskörpern (M)</li> <li>• Erklären Messverfahren zur Bestimmung von G (S5)</li> <li>• Bestimmen Zentralmassen aus Bahnparametern und beurteilen deren Genauigkeit (M E7)</li> <li>• Stellen Energiebilanzen und -umwandlungsketten für Raummissionen auf und schätzen Energiemengen ab. (M S2)</li> <li>• Beurteilen Chancen und Risiken des interplanetaren Raumflugs. (K8 E2)</li> <li>• <b>[Berechnen kosmische Geschwindigkeiten] (E4)</b></li> <li>• <b>[erklären den Zusammenhang zwischen Gravitationsgesetz und 3. KEPLERSchem Gesetz. (E6)</b></li> <li>• <b>[reflektieren am Beispiel des Übergangs vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild die Auswirkungen physikalischer Weltbetrachtungen. (B8)]</b></li> </ul>

Weitere Konzepte	Bezug zum RLP (B)	Bezug zum RLP (SEKI)	<b>Zeitbedarf und Leistungsüberprüfung</b>
Geostationäre Satelliten, Weltraumschrott, Planet X, Exoplaneten, Besiedlung des Mars, Interplanetare Raumfahrt. Das Aussterben der Dinosaurier, DART-Mission, Sagittarius A*, Halley und die Struktur des Sonnensystems	Mobilitätsbildung und Verkehrserziehung	Kinematik, Dynamik und Energetik von Bewegungen.	<b>Sommer- bis Herbstferien 20h</b> <b>[20h]</b> <b>Klausur[en] und LEK</b>

Klassische Feldtheorie	Das Feldkonzept in der Anwendung	Grundkurs Q1/Q2 [Leistungskurs Q1]	
Kontext und Inhalte Fachbegriffe und Formeln	Untersuchungen & Experimente Lehr- und Lernmittel	Hinweise zum Unterricht	Basiskonzepte und Kompetenzentwicklung
<p>1. LIGO-Ereignisse – Sterne verschwinden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gravitative Störungen als Ausbreitung/Störung des G-Feldes.</li> <li>• Elektromagnetische Störfelder im Radio / Sonnenstürme</li> </ul> <p>Ausbreitungstempo von Feldern / Wellentempo <math>c</math></p> <p>2. Feldlinienbilder und Feldstärke</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zentralfelder im G/E-Fall</li> <li>• [Coulomb-Anordnung]</li> <li>• Inhomogene Felder mit homogenen Teilbereichen</li> <li>• Superposition qualitativ [und quantitativ] an Dipolfeldern</li> <li>• Einführung [und Bestimmung] von Feldstärken (G-E-B) [in differenzieller Formulierung] (Idee des Probekörpers)</li> <li>• Feldstärken in Abhängigkeit der erzeugenden Größen</li> <li>• Messungen von B mithilfe der CASSY-Sensorik</li> <li>• [Kompensationsmessungen im Erdmagnetfeld]</li> </ul> <p>Feld, Feldlinien, Feldstärke, Feldkraft; [Dipol]            Ladung <math>q</math> und Strom <math>I</math>, ggf. magnetische Feldkonstante und Permeabilitätszahl</p> $g = \frac{F_G}{m} = \frac{G \cdot M}{r^2} \quad E = \frac{F_E}{[d]q} \quad B = \frac{F_M}{I[d]\ell}$ <p>Vorbereitende Formeln für 3. <math>E=f(U)</math> und <math>B=f(I)</math>            z.B. <math>E = \frac{U}{d} \quad B = \mu_0 \mu_r \frac{N}{\ell} I \quad B = \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{\mu_0 N}{R} I</math></p>	<p>1. Ergebnisse [und Interpretation] der Gravitationsinterferometrie / Carrington-Event (Quellenarbeit).</p> <p>2. Quasistatische Demonstrationsexperimente (Grieß/Kunststofffäden im E-Fall; Eisenspäne/Kompassnadeln im B-Fall)</p> <p>Simulation (PHET, Falstad <a href="https://www.falstad.com/">https://www.falstad.com/</a>)</p> <p>Bestimmung von Feldstärken in luftgefüllten Kondensatoren, [an Konduktorkugeln], Permanentmagneten, geraden Leitern, Leiterpaaren, langen Spulen, Helmholtzanordnungen [und Ringspulen].</p>	<p>1. Die Realität des Feldes kann nur bei dynamischen Vorgängen verdeutlicht werden, in statischen Fällen ist es streng genommen überflüssig und wird deshalb oft zugunsten der reinen (fernwirkenden) Kraft auch (z.B. im RLP und in der Schulliteratur) nicht angewendet.</p> <p>2. Die <u>magnetische Flussdichte <math>B</math></u> wird als „magnetische Feldstärke“ eingeführt. Die fachimmanente Unterscheidung zwischen den Feldgrößen <math>E/D</math> und <math>B/H</math> wird daher nicht getroffen. Der fachlich korrekte Umgang mit der „Probeladung“ ist nur in starken Grundkursen zu empfehlen. Augenmerk muss auf eine <u>sichere Handhabung</u> des schuleigenen Messwertersystems gelegt werden, hier ist mit erhöhtem Zeitbedarf zu rechnen. Eine tabellarische Gegenüberstellung der elementaren Feldeigenschaften ist zu empfehlen.</p>	<p>Die L</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• entnehmen aus Feldlinienbildern relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder. (K3)</li> <li>• ermitteln Beträge und Richtungen von Feldstärken [auch in Superpositionsfällen] (S)</li> <li>• stellen Hypothesen zu den Abhängigkeiten der magnetischen Flussdichte in einer Spule auf. (E2)</li> <li>• erläutern Gültigkeitsbereich und Vorhersagemöglichkeiten des Modells „lange Spule“. (S2)</li> <li>• [ermitteln die Horizontalkomponente des Erdmagnetfelds aus der Überlagerung mit dem Feld einer Spule (S)]</li> <li>• beschreiben die Elektronenbahn im elektrischen Querfeld kausal korrekt strukturiert. (K4)</li> <li>• entwickeln Handlungsoptionen am Beispiel von Teilchenbeschleunigern unter Berücksichtigung gegebener Bewertungskriterien wie Kosten, Energieaufwand, gesellschaftlicher und wissenschaftlicher Nutzen. (B3)</li> <li>• reflektieren die Relevanz des Ergebnisses des MILLIKAN-Experiments hinsichtlich der Bestimmung der Elektronenmasse. (E 9)</li> <li>• [berücksichtigen Messunsicherheiten im MILLIKAN-Experiment und analysieren die Konsequenzen in Bezug auf die Bestimmung der Naturkonstanten Elementarladung des Elektrons.] (E7)</li> <li>• leiten <math>v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}</math> aus einem energetischen Ansatz her (S7)</li> </ul>

<p>3. Bewegungen von Ladungen in E- und B-Feldern – wie schwer sind die Bestandteile der Materie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\vec{v}_e \parallel \vec{E}</math> qualitativ und quantitativ</li> <li>• <math>\vec{v}_e \perp \vec{E}</math> qualitativ [und quantitativ]</li> <li>• Millikan-Versuch - Schwebefall</li> <li>• Lorentzkraft <math>\vec{v}_e \perp \vec{B}</math> [für andere Anordnungen]</li> <li>• Bestimmung der (spezifischen) Elektronenmasse</li> <li>• [E- und B-Felder in gekreuzten Geometrien]</li> <li>• [Relativistische Bewegung mit Massenänderung]</li> <li>• [Hall-Effekt]</li> </ul> <p>Glühemission, Spezifische Ladung, Ruhemasse [Hallspannung; Relativistische Masse]</p> <p><math>F_L = qvB \quad \vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \text{mit } F_L = qvB\sin\alpha</math></p> $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	<p>3. Verpflichtende Experimente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektronenröhre(n)</li> <li>• Fadenstrahlrohr [gekippt]</li> <li>• [Elektronenröhre mit E und B-Feld]</li> <li>• [Hall-Anordnungen und Hall-Sensoren]</li> </ul>	<p>3. Der hohe Mathematisierungsgrad dieses Teils macht eine sorgfältige Kontextualisierung notwendig, sonst ist mit erheblichen Motivationsverlusten zu rechnen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• entwickeln einen Kraftansatzes für ein schwebendes Öltröpfchen im MILLIKAN-Experiment (E)</li> <li>• berechnen aus <math>m \frac{v^2}{r} = qvB</math> relevante Versuchsparameter (E).</li> <li>• leiten <math>\frac{q}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}</math> aus energetischen und dynamischen Ansätzen her</li> <li>• beschreiben die Bewegung eines Ladungsträgers im homogenen elektrischen Querfeld als Überlagerung einer gleichförmigen und einer beschleunigten Bewegung (S)</li> <li>• [erläutern Bahnformen in homogenen Feldgebieten in beliebigen Geometrien und beschreiben diese mit geeigneten mathematischen Verfahren] (M)</li> <li>• [leiten die Hallspannung über einen Kraftansatz her (E,M,S)]</li> <li>• [leiten die Gleichung für einen Geschwindigkeitsfilter über einen Kraftansatz her (E,M,S)]</li> <li>• [Kennen Anwendungen von Hall-Sensoren in industriellen Anwendungen. (K7)]</li> <li>• [erklären die rechnerisch oder experimentell auftretenden Widersprüche zu Elektronengeschwindigkeiten mithilfe der relativistischen Massezunahme] (E6)</li> </ul>
<p>Weitere Konzepte</p>	<p>Bezug zum RLP (B)</p>	<p>Bezug zum RLP (SEKI)</p>	<p><b>Zeitbedarf und Leistungsüberprüfung</b></p>
<p>Elektronenmikroskopie, -lithografie, Protonen- und C12-Therapie; Polarlichter; Massenspektrometrie</p>		<p>Elektrische Ladung und elektrischer Strom im Teilchenmodell, Lorentzkraft und UVW-Regel; Beschleunigung und Kraft, Krummlinige Bewegungen</p>	<p><b>Herbst- bis Winterferien – Übergang zu Q2 30h [45h] Klausur[en] und LEK</b></p>

Klassische Feldtheorie	Zeitabhängige Felder	Grundkurs Q2 [Leistungskurs Q2]	
Kontext und Inhalte Fachbegriffe und Formeln	Untersuchungen & Experimente Lehr- und Lernmittel	Hinweise zum Unterricht	Basiskonzepte und Kompetenzentwicklung
<p>1. Kondensatoren als Energiespeicher</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapazität und Energie von Kondensatoren</li> <li>• <b>[Potenzial und Äquipotenzialflächen]</b></li> <li>• Auf- und Entladungsvorgänge</li> <li>• [Materie im elektrischen Feld – Influenz und Polarisation mit mikroskopischer Deutung]</li> <li>• <b>[Kondensatorschaltungen mit mathematischer Analyse]</b></li> </ul> <p>Spannung, Strom, Kapazität, elektrische Feldkonstante, Dielektrizitätszahl, Halbwertszeit [Potenzial]</p> $U = \frac{W_{el}}{q} \quad I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \left[ = \frac{dq}{dt} \right]$ $C = \frac{U}{Q} = \left[ \frac{dU}{dq} \right] \quad C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad E = \frac{1}{2} C U^2$ <p>2. Spulen als Generatoren und Sensoren – unbelasteter Fall</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Induktionsvorgänge ohne relative Bewegung – Einbindung von Induktionsvorgängen mit relativer Bewegung</li> <li>• Induktionsgesetz in einfachen Spezialfällen und mit abschnittsweise linearen Spannungsverläufen <b>[harmonischen Spannungen]</b></li> </ul> <p>Magnetischer Fluss, Induktionsspannung</p> $U_{ind} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \left[ = -N \frac{d\Phi}{dt} \right]$	<p>1. Umfangreiche Arbeit an elementaren C-R-Schaltungen, z.B. an Fahrradbeleuchtungen. Superkondensatoren als Modellsystem für Akkus in der Elektromobilität. Erfassung von I <b>[und U]</b> mit Hilfe des Messwerterfassungssystems bei Entlade- und Aufladevorgängen <b>[und in Parallel- und Reihenschaltungen]</b>. <b>[Glättung von pulsierenden Gleichspannungen]</b></p> <p>2. Umfangreiche Experimente (Schaltvorgänge; Rampenspannungen) unter Nutzung des Messwerterfassungssystems für die Spannung <b>[und den Strom]</b>. Unbelastete Transformatoren; Spannungsübersetzung</p> <p>Simulationen (PHET)</p> <p>Spulen als Sensoren in Verkehr und Technik.</p> <p><b>[Gleichförmige Rotation als fundamentale Bewegung zur Spannungserzeugung mit mathematischer Beschreibung -Einsatz von Modellierungssoftware wie GeoGebra]</b></p>	<p>1. Der hier vorgestellte Weg setzt den Schwerpunkt auf den energetischen Aspekt der Felder im Bereich der Elektromobilität, da dieser für die L von höherer Relevanz als die ebenfalls mögliche Sensorik ist. Grundsätzlich sollte die Sensorik - so z.B. in der Elektromobilität verankert – mitgedacht und integriert werden.</p> <p>2. Eine Verwechslung aufgrund der sprachlichen Nähe von magnetischer Flussdichte B und magnetischem Fluss ist aufgrund der sprachlichen Nähe häufig zu beobachten. Es ist davon abzuraten, Induktionsvorgänge durch Bewegungen voranzustellen, die notwendige Verallgemeinerung zur zeitlichen Änderung des magnetischen Flusses gelingt dann nicht mehr. Es sollte klar zwischen Induktionsvorgängen im unbelasteten Fall (offener Kreis) und dem anschließend behandelten belasteten Fall unterschieden werden. Energieübertragung und -leitung spielen hier noch keine Rolle, insofern ist die vom RLP geforderte Einbeziehung von Effektivwerten eher am Schluss des Themenfeldes zu positionieren.</p>	<p>Die L</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bauen Versuchsanordnungen zu Auf- und Entladevorgängen nach Anleitung auf, führen Experimente durch und werten diese aus. (S 4)</li> <li>• <b>[bestimmen die Ladung eines Kondensators mithilfe einer Flächenbestimmung aus dem zeitlichen Verlauf der Stromstärke beim Entladen (M)]</b></li> <li>• ermitteln C oder R aus Auf- oder Entladekurven I(t) [und U(t)], die in linearisierter Form dargestellt sind (M)</li> <li>• modellieren Auf- oder Entladung eines Kondensators mithilfe mathematischer Gleichungen und digitaler Werkzeuge. (M)</li> <li>• 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. (E7)</li> <li>• <b>[leiten die Induktionsspannung für harmonische Erregung her]</b></li> <li>• entnehmen den <math>\Phi(t)</math>- oder <math>U(t)</math>-Diagrammen relevante Informationen und entwerfen die komplementäre Darstellung (K 3)</li> <li>• deuten Induktionsvorgänge in verschiedenen alltäglichen und technischen Zusammenhängen (S1)</li> <li>• sagen Messergebnissen mithilfe des Induktionsgesetzes vorher <b>(M)</b></li> <li>• prüfen verwendete Quellen zu Alltagskontexten des Themenfeldes hinsichtlich der Kriterien Korrektheit, Fachsprache und Relevanz für den untersuchten Sachverhalt. (B2)</li> </ul>

<p>3. Spulen als Generatoren im Belastungsfall – Kontaktlose Aufladung und Rekuperation in Verkehrssystemen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Induktion in geschlossenen Stromkreisen</li> <li>• LENZsche Regel und Induktivität von Spulen</li> <li>• Energieumwandlungen und -bilanzen bei Rekuperationssystemen</li> <li>• Wechselspannungserzeugung</li> </ul> <p>Selbstinduktion, Induktivität, Effektivwerte im harmonischen Fall [Kreisfrequenz]</p> $U_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \left[ = -L \frac{dI}{dt} \right] \quad L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 A}{\ell} \quad E = \frac{1}{2} L I^2$	<p>3. Verpflichtende Experimente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Waltenhofen-Pendel</li> <li>• Fallender Magnet im Cu-Rohr</li> <li>• Magnetpendel über kurzgeschlossener Spule</li> <li>• Messung von Ein- und Ausschaltvorgängen in einfachen L-R-Kreisen.</li> <li>• Belasteter Transformator in Kleinsignalnäherung</li> <li>• <b>[Mathematische Beschreibung mit Modellierungssystemen wie GeoGebra]</b></li> </ul>	<p>3. Der hohe Mathematisierungsgrad muss durch vielfältige Experimente und eine sinnvolle Kontextualisierung entlastet werden. Auch aus diesem Grund ist ein hoher Praxisbezug, wie z.B. in der Elektromobilität oder in realen Energiesystemen zu bevorzugen. Aufgrund der vielfältigen Anwendungen ist auch eine Präsentationsreihe zum Themenfeld denkbar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben den Zusammenhang zwischen LENZscher Regel und Energieerhaltungssatz(E)</li> <li>• erklären den Verlaufs der resultierenden Spannung beim Einschalten einer Spule aus der Überlagerung von angelegter Spannung und Induktionsspannung (S)</li> <li>• entwickeln Handlungsoptionen am Beispiel von realen Wechselspannungssystemen unter Berücksichtigung gegebener Bewertungskriterien wie Kosten, Effektivität und gesellschaftlichem Nutzen. (B3)</li> <li>• <b>[ermitteln die Induktivität einer Spule aus dem I(t)-Verlauf beim Einschalten und erklären das benutzte Bestimmungsverfahren.]</b></li> </ul>
<p>Weitere Konzepte</p>	<p>Bezug zum RLP (B)</p>	<p>Bezug zum RLP (SEKI)</p>	<p><b>Zeitbedarf und Leistungsüberprüfung</b></p>
<p>Induktionskochen, Gestaltung und Auslegung von Energiesystemen, Induktionsschleifen, Gewitter, Sonnenstürme Entstehung und Auswirkungen, Tonabnehmer, elektronische Klangerzeugung, Schaltnetzteile, Leitungssucher</p>	<p>Mobilitätsbildung und Verkehrserziehung Nachhaltige Entwicklung/Lernen in globalen Zusammenhängen</p>	<p>Bereitstellung, Leitung und Nutzung elektrischer Energie.</p>	<p><b>Winter- bis nach den Osterferien 30h – [40h] Klausur[en] und LEK</b></p>

Schwingungen	Mechanische und elektrische Schwingungen	Grundkurs Q2 [Leistungskurs Q2]	
Kontext und Inhalte Fachbegriffe und Formeln	Untersuchungen & Experimente Lehr- und Lernmittel	Hinweise zum Unterricht	Basiskonzepte und Kompetenzentwicklung
<p>1. Gefahren durch Resonanz – The Millenium-Bridge</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanische Schwingungen am Federpendel.</li> <li>• Resonanz in erzwungenen (angetriebenen) Schwingungen</li> <li>• Energieumwandlungen und -bilanzen in mechanischen Schwingungen.</li> </ul> <p>Auslenkung, Amplitude, Frequenz, Periodendauer, Dämpfung durch Entwertung, freie S., harmonische S. erzwungene S., Eigen- und Erregerfrequenz [Phasenverschiebung]</p> $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$ für das Modellsystem Federpendel $y(t) = y_0 \cdot \sin(2\pi f t) [= y_0 \cdot \sin(\omega t)]$ für harm.S. <p>2. Elektrische Schwingungen – „Wir gehen auf Sendung“.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrische Schwingungen am Schwingkreis.</li> <li>• [Resonanz in erzwungenen elektrischen Schwingungen]</li> <li>• Energieumwandlungen und -bilanzen in elektrischen Schwingungen.</li> <li>• Vergleich zwischen mechanischen und elektrischen Schwingungen.</li> </ul> <p>Wie oben und Grundbegriffe aus Q2: L, C, ...</p> $T = 2\pi\sqrt{L \cdot C} \text{ oder } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$	<p>1. Federpendel und andere schwingungsfähige, vor allem harmonische Systeme in der Videoanalyse (VIANA). Untersuchungen zur Parameterabhängigkeit und Extraktion von Parametern aus den Ergebnissen der mathematischen Modellierung.</p> <p>2. Erfassung der zeitabhängigen Verläufe von Spannung und Strom im Schwingkreis, durch geeignete Wahl im Messbereich des elektrischen Erfassungssystems. [Untersuchung zur Abhängigkeit des Resonanzfalls von den Schaltungsparametern (L und C)] [Rückkopplungsschaltungen]</p>	<p>Kontextgebundene Wiederverfügbarmachung von Inhalten der 10. Klasse. Aufgrund der zeitlichen Entfernung zum dort erteilten Unterricht, wird die Wiederholung der grundlegenden Begriffe mehr Zeit in Anspruch nehmen. Da dieser Teil den elektrischen Schwingkreis vorbereiten soll, ist bei vorangestellter Wiederholungsphase ausschließlich auf die energetische Bilanzierung respektive Begründung Wert zu legen. Weiterhin müssen, aufgrund der stärkeren Mathematisierung im Grundkurs, hier Systeme mit klarer Erfassungs- und Darstellungsmöglichkeit ausgewählt werden. Denkbar ist zudem eine Parallelbeschreibung (Experimente/Erfassung/Mathematisierung) von mechanischem und elektrischem Oszillator, die den reinen Wiederholungsaspekt abmildert und gleichzeitig die Universalität des Konzepts „Schwingungen“ verdeutlicht.</p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Übertragen das Modell der harmonischen Schwingung auf Alltagssituationen und reflektieren seine Generalisierbarkeit. (E10)</li> <li>• erläutern Energieumwandlungen an gedämpften und an erzwungenen Schwingungen (E)</li> <li>• [beschreiben und begründen harmonische Schwingungen aus linearen Kraftgesetzen] (E4)</li> <li>• [Modellieren harmonische Schwingungen unter Nutzung zeitlicher Ableitungen.] (M E4)</li> <li>• planen geeignete Experimente zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Eigenfrequenz und den Parametern eines harmonischen Oszillators. (E5)</li> <li>• beurteilen Sicherheitsmaßnahmen zur Schwingungsdämpfung in Alltagssituationen. (B6)</li> <li>• erklären anhand von Lade- und Induktionsvorgängen den Einfluss der Kapazität und der Induktivität auf die Eigenfrequenz eines elektromagnetischen Schwingkreises. (E 6)</li> <li>• nutzen ihr Wissen über aus physikalischer Sicht gültige Argumentationsketten zur Entwicklung eigener, innerfachlicher Argumentationen, z.B. zur Beschreibung der Vorgänge in einem Schwingkreis. (K 8)</li> <li>• [ermitteln eine Resonanzkurve für einen Schwingkreis] (S4)</li> <li>• [Erläutern an einem Blockschaltbild kausal korrekt das Rückkopplungs-</li> </ul>

			prinzip elektromagnetischer Schwingungen.] (S5)
Weitere Konzepte	Bezug zum RLP (B)	Bezug zum RLP (SEKI)	<b>Zeitbedarf und Leistungsüberprüfung</b>
		Kinematik, Dynamik und Energetik mechanischer Schwingungen.	<b>Nach den Oster- bis Sommerferien 15h [25h] Klausur[en] und LEK</b>

Wellen	Mechanische und elektromagnetische Wellen	Grundkurs Q3 [Leistungskurs Q3]	
Kontext und Inhalte Fachbegriffe und Formeln	Untersuchungen & Experimente Lehr- und Lernmittel	Hinweise zum Unterricht	Basiskonzepte und Kompetenzentwicklung
<p>1. Gefahren durch Wellen – Freakwaves und Tsunamis</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mechanische Wellen als Schwerewelle in Wasser.</li> <li>Energietransport durch Wellen im Zusammenhang mit Reflexion, Brechung, Beugung und Superposition.</li> <li>Stehende Wellen.</li> </ul> <p>Auslenkung, Amplitude, Frequenz, Periodendauer, Wellenlänge, Wellentempo Dämpfung durch Ausbreitung, harmonische W.; Kreis- und ebene Wellen, Phasenverschiebung  <math>c = \lambda \cdot f</math>            [Eindimensionale Beschreibung  <math>y(t) = y_0 \cdot \sin(2\pi ft) [= y_0 \cdot \sin(\omega t)]</math> für <math>x = \text{konst.}</math>  <math>y(x) = y_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) [= y_0 \cdot \sin(kx)]</math> für <math>t = \text{konst.}</math>]</p> <p>2. Elektromagnetische Wellen – „Handystrahlung“.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Elektromagnetische Wellen und ihre Entstehung, das elektromagnetische Spektrum</li> <li>Energietransport durch el. mag. Wellen im Zusammenhang mit Reflexion, Brechung, Beugung und Superposition.</li> <li>Lineare Polarisation el. mag. Wellen</li> </ul> <p>Wie oben und Grundbegriffe aus Q2: L, C, ...            [ Dipollänge <math>\ell = \frac{\lambda}{2}</math> ]</p> <p>3. Wellenoptik</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Beugung und Interferenz monochromatischen Lichts an Doppelspalt und Gitter [am Einfachspalt].</li> </ul>	<p>1. Wellenwanne            PHET-Apps, Falstad</p> <p>2. Millimeterwellensender            Demonstration der Wellenmerkmale            PHET-Apps, Falstad</p> <p>3. LASER und andere Lichtquellen an beugenden Objekten.            PHET-Apps, Falstad</p>	<p>Kontextgebundene Wiederverfügbarmachung von Inhalten der 10. Klasse. Aufgrund der zeitlichen Entfernung zum dort erteilten Unterricht, wird auch hier die Wiederholung der grundlegenden Begriffe mehr Zeit in Anspruch nehmen. Wasserwellen bieten, obwohl von hoher Komplexität, einen großen Alltags- und Erfahrungsbezug und können an der Wellenwanne gut demonstriert werden. Zudem kann mit VIANA das Ausbreitungstempo zuverlässig bestimmt werden.</p> <p>2. Erneut ist eine Parallelbeschreibung (Experimente/Erfassung/Mathematisierung) von mechanischen und elektromagnetischen Wellen denkbar, wobei der hohe Abstraktionsgrad des Senders „hertzscher Dipol“ zu beachten ist. Wert sollte auf die Skalierung der typischen Senderdimensionen mit der (Vakuum-) Wellenlänge der ausgelösten Welle gelegt werden.            Die Berücksichtigung der Polarisation erfordert ggf. einen Rückgriff auf mechanische Wellen.</p> <p>3. Die Sammlung bietet vielfältige SchEx an unterschiedlichen Lichtquellen und beugenden Objekten. In stärkeren Kursen sollten die Unterschiede in der Intensitätsverteilung bei Doppelspalt und Gitter thematisiert werden,</p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Übertragen das Modell der harmonischen Welle auf Alltagssituationen und reflektieren seine Generalisierbarkeit. (E10)</li> <li>erläutern Energietransport bei allen wellentypischen Merkmalen (E)</li> <li>[beschreiben harmonische Wellen durch angepasste funktionale Zusammenhänge]</li> <li>veranschaulichen die Entstehung stehender Wellen in sachgerechten Darstellungsformen, auch mithilfe digitaler Werkzeuge (K6)</li> <li>beurteilen Sicherheitsmaßnahmen des Katastrophenschutzes in küstennahen Gebieten. (B6)</li> <li>erklären anhand von Lade- und Induktionsvorgängen am Dipol die Entstehung elektromagnetischer Wellen [und den Einfluss der Dipollänge auf die Vakuumwellenlänge der Welle.] (E 6)</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> <li>[reflektieren Risikoeinschätzungen zur Mobilfunktechnologie an verschiedenen Quellen] (B5)</li> <li>[deuten die Intensitätsänderung unpolarisierten Lichts bei Durchgang durch einen Polarisationsfilter.]</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spektrale Zerlegung von Weißlicht am Gitter</li> <li>• Polarisation von Licht in der Fotografie.</li> <li>• [Aufbau und Funktionsweise ausgewählter Interferometer]</li> <li>• [Röntgenoptik an Kristallen]</li> </ul> <p>Gitterkonstante, Gangunterschied, Ordnung, (rel.) Maxima und Minima, Fraunhofer-Beugung,</p> <p>Gleichungen für die Ordnungen in Maxima und Minima im Interferenzbild unter Verzicht auf die Kleinwinkelnäherung für Doppelspalt (=Gitter) [und Einfachspalt].</p> <p>[ BRAGG-Bedingung: <math>2d \cdot \sin(\alpha) = n\lambda</math> ]</p>	<p>[Röntgenbeugung an IBEs und Quellenarbeit, Vorbereitung durch optische Reflexionsgitter]</p> <p><a href="https://www.leifiphysik.de/atomphysik/roentgenstrahlung/downloads/roentgenspektren-simulation">https://www.leifiphysik.de/atomphysik/roentgenstrahlung/downloads/roentgenspektren-simulation</a></p> <p><a href="https://www.leifiphysik.de/atomphysik/roentgenstrahlung/downloads/roentgenbremsspektrum-simulation">https://www.leifiphysik.de/atomphysik/roentgenstrahlung/downloads/roentgenbremsspektrum-simulation</a></p>	<p>insbesondere im Hinblick auf die Nutzung des Spektrometers in Q4.</p> <p>Die Berücksichtigung der Polarisation kann durch den Vergleich des LASERS mit anderen Lichtquellen erfolgen.</p> <p>Da die Sammlung über kein Röntgenspektrometer verfügt, ist im LK die Nutzung interaktiver Bildschirmexperimente erforderlich.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erklären Interferenzphänomene mithilfe der Superposition von Wellen. (S)</li> <li>• Beschreiben die Lage von Maxima und Minima der Intensitätsverteilung an ausgewählten Beugungsobjekten mathematisch. (M)</li> <li>• erklären das Messverfahren zur Wellenlängenbestimmung bei der Interferenz am Doppelspalt/Gitter sowie die Funktion einzelner Komponenten des Versuchsaufbaus. (S 5)</li> <li>• modellieren optische Phänomene wie die Interferenz am Doppelspalt oder Gitter mithilfe mathematischer Darstellungen, wobei theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aus der Untersuchung des Beugungsbilds aufeinander bezogen werden. (E4)</li> <li>• [bestimmen Netzebenenabstände in Kristallen mithilfe der BRAGG-Gleichung.</li> <li>• Erklären das Messverfahren zur Bestimmung von Netzebenen in Kristallen im Hinblick sowohl auf den Versuchsaufbau als auch auf die theoretische Beschreibung durch die Reflexion von ebenen Wellen.]</li> </ul>
<p>Weitere Konzepte</p>	<p>Bezug zum RLP (B)</p>	<p>Bezug zum RLP (SEKI)</p>	<p><b>Zeitbedarf und Leistungsüberprüfung</b></p>
<p>Ultraschallwellen, Mikrowellen, Infrarotsysteme</p>		<p>Kinematik und Energetik mechanischer Wellen.</p>	<p><b>Sommer- bis Herbstferien 25h [40h] Klausur[en] und LEK</b></p>

Quantenobjekte	Freie Quanten	Grundkurs Q3 [Leistungskurs Q3]	
Kontext und Inhalte Fachbegriffe und Formeln	Untersuchungen & Experimente Lehr- und Lernmittel	Hinweise zum Unterricht	Basiskonzepte und Kompetenzentwicklung
<p>1. Elektroneninterferenz an beugenden Objekten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stochastische Deutung des Doppelspaltexperiments mit Elektronen. (Zufallsversuch)</li> <li>• Materiewellenlänge nach deBroglie und ihre Interpretation im Wellenbild.</li> <li>• Elektronenbeugungsröhre</li> <li>• Übertragung auf Beugungsexperimente mit Licht.</li> </ul> <p>Ereignis, Ergebnis, [bedingte Wahrscheinlichkeit] Nachweishäufigkeit, -wahrscheinlichkeit und die zugehörigen Verteilungen., Materiewelle und -nlänge, Komplementarität von Weginformation und Superposition [heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation]</p> $\lambda = \frac{h}{mv} \left[ = \frac{h}{p} \right] \quad [\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}] \quad [\Delta E = \Delta m \cdot c^2]$ <p>2. Wie funktioniert eine Handykamera – Der lichtelektrische Effekt</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Augenblickliche und lokale Energieübertragung auf gebundene Elektronen.</li> <li>• Der äußere Photoeffekt in der EINSTEIN-Deutung</li> <li>• Der innere Photoeffekt in der technischen Anwendung</li> </ul> <p>Wie oben und Photon, Austrittsarbeit, Grenzfrequenz, Planck-Konstante, Energie und Intensität von Licht im Photonenmodell, innerer und äußerer PE, freie und gebundene Elektronen, Energie und Impuls freier Quanten.</p> $E_\gamma = hf = E_{kin} + W_A \quad p_\gamma = \frac{hf}{c}$ $[\Delta E = \Delta m \cdot c^2]$	<p>2. Video des TONOMURA-Experiments Elektronenbeugung in der Feldröhre, [Simulation zur Komplementarität (Münchner Kurs)]</p> <p>2. Hallwachsversuch, Solarzellen, CCDs, Gegenspannungsmethode mit LEDs, h-Bestimmung mit farbigen LEDs.</p>	<p>Die vom RLP vorangestellte Behandlung des äußeren Photoeffekts ist zu vermeiden, da der Nachweis der Widersprüchlichkeit zur klassischen Lichttheorie erst dann einzuordnen und zu erkennen ist, wenn ein sicheres Verständnis der Wechselwirkung Licht-Elektronen vorhanden ist – was jedoch nicht der Fall ist.</p> <p>Aus diesem Grund ist der Zugang über die Elektronenbeugung und -interferenz vorzuziehen, da sie die übereinstimmenden Aspekte von Licht- und Materieexperimenten an beugenden Strukturen klar herausstellt. Damit kann problemlos der Übergang zur notwendigen stochastischen Deutung bewältigt werden und gleichzeitig ist der lokale Energieübertragungsaspekt am Detektor erkennbar, der die Deutung der Photoeffekte anbahnt. Hier sollten auch Originalveröffentlichungen zu Experimenten mit verdünntem Licht berücksichtigt werden, die die Abgrenzung vom Wellenmodell des Lichts verdeutlichen.</p> <p>Obwohl dem äußeren Photoeffekt im RLP sehr viel Platz eingeräumt wird, ist jedoch eher auf ein sicheres Verständnis des Modells „Quant“ zu achten, und damit auch die Begriffe Strahlungsenergie und -intensität im Hinblick auf das folgende Semester sicher zu verankern.</p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• übertragen stochastische Konzepte auf physikalische Experimente (M)</li> <li>• und reflektieren ihre Generalisierbarkeit im Rahmen einer allgemeinen quantenphysikalischen Beschreibung. (E10)</li> <li>• erläutern Interferenzerscheinungen mithilfe stochastischer Grundbegriffe (Z)</li> <li>• erläutern den Begriff des Quants anhand ausgewählter Experimente.</li> <li>• erklären anhand der Unbestimmtheitsrelation das Beugungsphänomen am Einfachspalt] (E4)</li> <li>• [erklären anhand der Unbestimmtheitsrelation den Zusammenhang zwischen Spaltbreite und Breite des Maximums nullter Ordnung am Einfachspalt] (E4)</li> <li>• [reflektieren anhand der Unbestimmtheitsrelation die Grenzen physikalischer Erkenntnisgewinnung]</li> <li>• Beschreiben mathematisch den Zusammenhang zwischen Quantenwellenlänge und der Lage der Intensitätsmaxima an Doppelspalt- und Elektronenbeugungsexperimenten.</li> <li>• Stellen Energiebilanzen für den äußeren Photoeffekt auf und erläutern die Bedeutung der EINSTEIN-Hypothese für das Photonenmodell des Lichts.</li> <li>• erklären, wie sich mithilfe eines Experiments zum Photoeffekt die PLANCK-KONSTANTE ermitteln lässt. (S 6)</li> <li>• reflektieren die Relevanz der Ergebnisse zum äußeren Fotoeffekt für die physikalische Erkenntnisgewinnung</li> </ul>

			<p>und erläutern das Versagen des klassischen Lichtmodells. (E 9)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern Funktionsprinzipien moderner optoelektronischer Komponenten.</li> </ul>
Weitere Konzepte	Bezug zum RLP (B)	Bezug zum RLP (SEKI)	<p><b>Zeitbedarf und Leistungsüberprüfung</b></p>
Infrarotkameras, biologische und verfahrenstechnische Anwendungen der UV-Strahlung. Bildgebende Verfahren in der Informationstechnologie, Elektronenmikroskopie.		Strahlungsenergie	<p><b>Herbst- bis Weihnachtsferien</b>  <b>25h [40h]</b>  <b>Klausur[en] und LEK</b></p>

Atomphysik	Gebundene Quanten	Grundkurs Q4 [Leistungskurs Q4]	
Kontext und Inhalte Fachbegriffe und Formeln	Untersuchungen & Experimente Lehr- und Lernmittel	Hinweise zum Unterricht	Basiskonzepte und Kompetenzentwicklung
<p>1. "Warmweiß oder kaltweiß?"            – Licht modern gedacht</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spektroskopie an Photonenquellen.</li> <li>• Emissionsspektren verdünnter Gase und Absorptionsspektren.</li> </ul> <p>Linien-, Banden- und kontinuierliche Spektren, Intensität und Energie, Additive und subtraktive Farbmischung</p> <p>2. Ein gebundenes Elektron im Atom</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eindimensionaler Potentialtopf [Stehende Wellenfunktionen]</li> <li>• Das <b>Energieniveauschema (ENS)</b> des Wasserstoffatoms</li> <li>• Der Zusammenhang zwischen ENS und Linienspektren.</li> <li>• Nachweiswahrscheinlichkeiten gebundener Elektronen [und das Betragsquadrat der Wellenfunktion].</li> </ul> <p>Orbital, Hauptquantenzahl, Grundzustand, angeregter Zustand, Ionisationsenergie</p> $E_n = -13,6\text{eV} \cdot \frac{1}{n^2} [= -13,6\text{eV} \cdot \frac{Z^2}{n^2}]$ $f_{n,m} = f_R \cdot \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$	<p>1. Digitales Spektroskop            Entladungsröhren, LEDs, verschiedene Lichtquellen aus dem Haushalt</p> <p>2. Simulationen und Visualisierungen</p>	<p>Der Einstieg ermöglicht eine Systematisierung des Photonenmodells hinsichtlich des Lebensaspekts „Beleuchtung“.</p> <p>2. In diesem Kursverlauf liegt der Schwerpunkt auf der Anwendung des ENS und nicht auf seiner Genese. Schwerpunkt sollte daher das Verständnis des Zusammenhangs zwischen Übergängen im ENS und der Emission/Absorption diskreter Photonenenergien stehen.</p>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beziehen visuelle Eindrücke auf gemessene Spektren und umgekehrt(S)</li> <li>• Erläutern die die Erzeugung visueller Farbeindrücke anhand der Farbmischungsprozesse. (E10)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• übertragen das Modell der stehenden harmonischen Welle auf den Fall des gebundenen Quants [und reflektieren seine Generalisierbarkeit.] (E10)</li> <li>• erläutern die Prozesse der Photonenemission und -absorption anhand des ENS (E)</li> <li>• Sagen die Existenz von Linien außerhalb des sichtbaren Teils des Photonenspektrums von Wasserstoff voraus (M).</li> <li>• Veranschaulichen Orbitale des Wasserstoffs mithilfe geeigneter Software (K6)</li> <li>• [erklären die Linienintensitäten anhand der Besetzungswahrscheinlichkeiten der Niveaus gebundener Elektronen (Z)]</li> <li>• [erklären die Existenz wohlbestimmter Strahlungsleistungen bei Photonenquellen trotz der zugrundeliegenden zufälligen Emissionsprozesse (Z)]</li> </ul>

<p>[3. Mehrelektronensysteme</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Franck-Hertz-Versuch</li> <li>• PAULI-Prinzip</li> <li>• Röntgenspektrum – Entstehung und Nachweis]</li> </ul> <p>Fermion. Quantenzahlen, charakteristisches und Bremspektrum, kurzwellige Grenze, Drehkristallverfahren, KLM-Linien,</p>	<p>[3. Franck-Hertz-Versuch Röntgenspektren an IBEs und Quellenarbeit]</p> <p><a href="https://www.leifiphysik.de/atomphysik/roentgenstrahlung/downloads/roentgenspektren-simulation">https://www.leifiphysik.de/atomphysik/roentgenstrahlung/downloads/roentgenspektren-simulation</a></p> <p><a href="https://www.leifiphysik.de/atomphysik/roentgenstrahlung/downloads/roentgenbremsspektrum-simulation">https://www.leifiphysik.de/atomphysik/roentgenstrahlung/downloads/roentgenbremsspektrum-simulation</a></p>	<p>[3. Da die Sammlung über kein Röntgenspektrometer verfügt, ist im LK die Nutzung interaktiver Bildschirmexperimente erforderlich, denkbar ist auch eine Quellenarbeit auf vergleichbarem Niveau]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [erläutern die Prozesse beim FRANCK-HERTZ-Experiment (E)]</li> <li>• erklären das Drehkristallverfahren sowie die Funktionen der einzelnen Komponenten des Versuchsaufbaus zur Aufnahme eines Röntgenspektrums. (S5)</li> <li>• erklären, wie aus der grafischen Darstellung <math>\uparrow \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. (S6)</li> <li>• bestimmen das PLANCKSche Wirkungsquantums aus der kurzwelligen Grenze der Röntgenstrahlung (E)]</li> </ul>
<p>Weitere Konzepte</p>	<p>Bezug zum RLP (B)</p>	<p>Bezug zum RLP (SEKI)</p>	<p><b>Zeitbedarf und Leistungsüberprüfung</b></p>
<p>Astrophysik. Atmosphärenphysik,</p>	<p><b>Gesundheitsförderung</b></p>	<p>Kinematik und Energetik mechanischer Wellen.</p>	<p><b>Weihnachtsferien bis Ende Q4 25h [40h] Klausur[en] und LEK</b></p>