



Schulcurriculum Physik (Basisfach)

Hinweise

- Die Reihenfolge der Themen kann variieren.
- Die angegebenen Nummern beziehen sich auf die Nummerierung im Bildungsplan 2016 Physik.
- An einigen Stellen wird auf **prozessbezogene Kompetenzen** (pbK) verwiesen, falls diese im aktuellen Zusammenhang eine besonders prominente Rolle spielen. Die pbK des Bildungsplans sind jedoch an vielen anderen Stellen des Unterrichts relevant. Es werden in allen Stunden dieser Jahresplanung pbK trainiert, auch in Stunden, bei denen das nicht explizit ausgewiesen ist.

Hervorhebungen

Kursivschreibung (in der linken Spalte):

Begriffe und Formeln, die im Bildungsplan 2016 kursiv gesetzt sind und über die die Schülerinnen und Schüler daher aktiv verfügen müssen.

Formeln, die der Bildungsplan nicht explizit verlangt, sind hier nicht kursiv gesetzt.

[Themen in eckigen Klammern]:

Diese Themen werden vom Bildungsplan 2016 nicht verlangt.

rote Schrift:

Vorschläge für (umfangreichere) Schülerexperimente

blaue Schrift:

Beispiele für mögliche Vertiefungen und Anwendungen

grüne Schrift:

Verweise auf Materialien der ZPG VI Physik

Abkürzungen

- BP: Bildungsplan
ibK: inhaltsbezogene Kompetenz
pbK: prozessbezogene Kompetenz
BNE: Leitperspektive Bildung für nachhaltige Entwicklung
BO: Leitperspektive berufliche Orientierung
MB: Leitperspektive Medienbildung
VB: Leitperspektive Verbraucherbildung



Thema	Bemerkungen
Mechanische Schwingungen	
Periodendauer verschiedener Pendel: Hypothesen experimentell überprüfen; Physik als experimentelle hypothesengeleitete Wissenschaft	Schülerexperimente in arbeitsteiligen Gruppen, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (1)-(4), pbK 2.3 Bewertung (1)-(3)
Amplitude, Periodendauer, Frequenz, harmonische / nicht harmonische Schwingungen, gedämpfte / ungedämpfte Schwingungen	Schwingungen beschreiben: sowohl mit s-t- Diagrammen als auch mit charakteristischen Größen; Messwerterfassungssystem nutzen, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (5)
[Zeigerdarstellung ¹ einer Schwingung], Winkelgeschwindigkeit (bzw. Kreisfrequenz) ω , Wh. Bogenmaß	Übungen zu Winkeln bei Zeigern im Bogenmaß ¹ Die Zeigerdarstellung von Schwingungen und Wellen wird vom Bildungsplan nicht verlangt. Anders als im hier vorgestellten Unterrichtsgang könnte darauf vollständig verzichtet werden.
$s(t)$, $v(t)$, $a(t)$ für ungedämpfte harmonische Schwingungen, $a(t) = \dot{v}(t) = \ddot{s}(t)$	Inkl. Modellieren realer Schwingungen mit vernachlässigbarer Dämpfung, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (9), Messwerterfassungssysteme nutzen, pbK 2.1 Experimentieren (5), pbK 2.2 Kommunikation (5)
Schwingungen qualitativ erklären (u.a. Rückstellkraft, Durchgang durch die Gleichgewichtslage, Amplitude)	Die Newton'schen Prinzipien wiederholen. pbK 2.2 Kommunikation (4)
Lineares Kraftgesetz als Spezialfall, (Hooke'sche Federn und Gummibänder untersuchen)	Schülerexperimente: digitale Messwerterfassung, pbK 2.1 Experimentieren (5), pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (6), (9), pbK 2.2 Kommunikation (5)
Lineare Rückstellkraft bei harmonischen Schwingungen, Periodendauer T ($T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$)	Schwingung harmonisch \Rightarrow lineare Rückstellkraft $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$ muss nicht hergeleitet werden, ebenso wenig muss die Schwingungs-DGL aufgestellt und gelöst werden. Experimentelle Stationen: D oder m bestimmen, Messung mit Smartphone und App \rightarrow ZPG VI: 3.1, Geogebra-Einsatz \rightarrow ZPG VI: 3.2
Beispiele für Schwingungen, Schwingungen im Alltag, Untersuchen, ob Schwingungen harmonisch sind	pbk 2.1 Wissen erwerben, anwenden (13) mögliche Vertiefung: Erdbeben, Schwingungen bei Gebäuden und Brücken, pbk 2.1 Wissen erwerben, anwenden (12), pbK 2.2 Kommunikation (7)
Energie bei Schwingung eines Federpendels erklären und die auftretenden Energieumwandlungen beschreiben, $E = \frac{1}{2} Ds^2$	Die Formel $E = \frac{1}{2} Ds^2$ aus Kl. 10 ist als Grundlagenwissen relevant, auch wenn sie im BP für die Kl. 11/12 nicht explizit genannt wird.
[Erzwungene Schwingung und Resonanz]	mögliche Vertiefung: erzwungene Schwingungen und Resonanz mit Beispielen aus dem Alltag



Thema	Bemerkungen
Elektrisches Feld	
Grundlagen der Elektrostatik: positive und negative Ladung, Kräfte zwischen geladenen Körpern, Einführung des <i>elektrischen Feldes</i>	Versuche zu Phänomenen der Elektrostatik: u. a. auch Schülerexperimente , pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (11)
Wiederholung: z.B. elektrische Stromstärke, Potenziale und Spannungen in elektrischen Stromkreisen, Reihen- und Parallelschaltung (I , U und R), Stromrichtung und Richtung des Elektronenstroms.	pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (6), pbK 2.2 Kommunikation (6),
<i>Elektrische Felder</i> beschreiben: <i>Feldlinien</i> besondere Felder: <i>homogenes Feld</i> , Feld einer Punktladung, Feld eines Dipols, Quellen und Senken, [Abschirmung ¹ <i>elektrischer Felder</i>]	Modellcharakter der Feldlinienbilder: pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (9), pbK 2.3 Bewertung (4). Sinnvolle Ergänzung: Felder auch mittels Pfeilscharen ¹ oder Farbskalen für Feldstärkebetrag / Energiedichte ¹ darstellen. Faraday'scher Käfig, pbK 2.2 Kommunikation (4) ¹ Nicht im BP 2016 nicht verlangt.
<i>Elektrische Feldstärke</i> ($\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q}$) ¹ , <i>Feldlinienbilder</i> und elektrische Kräfte	Proportionaler Zusammenhang zwischen Größen (Diagramm, Tabelle, Formel), pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (6), (7), pbK 2.2 Kommunikation (5), (6), Mögliche Vertiefung: Entstehung von Gewittern, Feldstärke und Feldlinienbilder bei Gewittern , pbK 2.3 Bewertung (7), Leitperspektive PG ¹ Hinweis: Im BP 2016 wird hier und bei der Lorentzkraft für die Ladung das kleine q gewählt. Die Formeln gelten aber für beliebige Ladungen und nicht nur für kleine Probeladungen. Die Bewegung von elektrisch geladenen Körpern in elektrischen und magnetischen Feldern wird im Bildungsplan 2016 nicht gefordert (noch nicht einmal erwähnt!)
<i>homogenes Feld</i> eines Plattenkondensators und <i>el. Feldstärke</i> ($\vec{E} = \frac{U}{d}$)	
Analogien und Unterschiede: <i>elektrisches Feld</i> und <i>Gravitationsfeld</i>	pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (10)
[Beschleunigung geladener Teilchen, Bewegung von geladenen Teilchen in <i>elektrischen Feldern</i> : Bewegung in elektrischen Längs- und Querfeldern]	Wiederholung: z.B. zusammengesetzte Bewegungen und Richtung der Geschwindigkeit bei zusammengesetzten Bewegungen, Newton'sche Prinzipien (Kräfte in, entgegen und quer zur Bewegungsrichtung) Teilchen in Feldern → ZPG VI: 5. mögliche Vertiefung: Anwendungen bei Druckern, Strahlentherapie, Beschleunigern, ... pbK 2.3 Bewertung (7), (8), (9), Leitperspektive BO



<p>Kondensator und Kapazität ($C = \frac{Q}{U}$), Kapazität eines Plattenkondensators ($C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$), Dielektrika</p>	<p>Proportionaler und antiproportionaler Zusammenhang zwischen Größen (Diagramm, Tabelle, Formel), pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (6), (7), pbK 2.2 Kommunikation (5), (6), Bauformen von Kondensatoren, mögliche Vertiefung: Millikan-Versuch,</p>
<p>Kondensatoren als Energiespeicher, im Feld eines Kondensators gespeicherte Energie ($E_{\text{Kond}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$)</p>	<p>Man kann z.B. anhand der Herleitung dieser Formel die deduktive Methode diskutieren und von der induktiven abgrenzen. pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (6)</p>
<p>Auf- und Entladevorgang eines Kondensators, (qualitativ), U-t-Diagramme</p>	<p>Kondensatoren als Energiespeicher in Kurbeltaschenlampe und Fahrradrücklichtern</p>
<p>Thema</p>	<p>Bemerkungen</p>
<p>Das Magnetfeld</p>	
<p>Wiederholung: z.B. Magnete, Magnetpole, Anziehung und Abstoßung, Magnetfeld, Magnetfeldlinien; magnetische Felder beschreiben: Stabmagnet, Hufeisenmagnet, gerader stromführender Leiter, Spule, rechte-Faust-Regel</p>	<p>Wiederholung der Grundlagen aus Kl. 7/8, pbK 2.2 Kommunikation (7)</p>
<p>Kraft auf stromführenden Leiter im Magnetfeld, Drei-Finger-Regel, magnetische Flussdichte \vec{B}, $\vec{F} = \vec{B} \cdot \vec{l} \cdot \vec{s}$</p>	<p>Vergleich der Definition von \vec{B} mit der Definition von \vec{E}, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (10)</p>
<p>[Kraft auf eine elektrische Ladung im Magnetfeld, $\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \cdot \vec{B}$, Drei-Finger-Regel]</p>	
<p>[Bewegung von geladenen Teilchen senkrecht zu homogenen Magnetfeldern, Kreisbahn, e/m-Bestimmung]</p>	<p>Wiederholung: gleichförmige Kreisbewegungen, Zentripetalkraft, (aus Klasse 10 bekannt) mögliche Vertiefung: Polarlichter</p>
<p>[Bewegung von geladenen Teilchen in gekreuzten homogenen elektrischen und magnetischen Feldern, Wien-Filter, Massenspektrograph]</p>	<p>Teilchen in Feldern → ZPG VI: 5. mögliche Vertiefung: Massenspektrometer und ihre Anwendungen, Leitperspektive BO</p>
<p>[elektrische und magnetische Felder bei Teilchenbeschleunigern]</p>	<p>mögliche Vertiefung: Beschleuniger in der Teilchenphysik (z.B. LHC) und in der medizinischen Therapie, Teilchen in Feldern → ZPG VI: 5. pbK 2.3 Bewertung (8), (9), (6), (12), Leitperspektive BO</p>
<p>Magnetfelder erzeugen: Magnetfeld einer schlanken Spule, Materie im Magnetfeld (relative Permeabilitätszahl), $\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n}{l} \cdot \vec{I}$</p>	



Thema	Bemerkungen
Induktion, Elektromagnetismus	
Phänomen der Induktion	experimentelle Erkundung von Induktionsvorgängen
Induktion am geraden Leiter im homogenen Magnetfeld, $\mathbf{U}_{\text{ind}} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{l} \cdot \mathbf{v}$ mithilfe der Lorentzkraft erklären	Kräftegleichgewicht von Lorentzkraft und elektrischer Feldkraft
Induktionsspannung bei konstanter Spulenfläche qualitativ erkunden, $U_{\text{ind}} = n \cdot A_s \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$	pbK 2.3 Bewertung (11)
Induktionsspannung durch Flächenänderung qualitativ erkunden, Formel $U_{\text{ind}} = n \cdot B \cdot \frac{\Delta A_s}{\Delta t}$ für die Induktionsspannung	pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (6), Verallgemeinerung der beiden Formeln: $U_{\text{ind}} = n \cdot A_s \cdot \dot{B}$, bzw. $U_{\text{ind}} = n \cdot B \cdot \dot{A}_s$
magnetischer Fluss, allgemeine Form des Induktionsgesetzes: $U_{\text{ind}} = -n \cdot \dot{\Phi}$	Begründung für die Einführung des negativen Vorzeichens: Erinnerung an die Lenz'sche Regel
Auftreten von Induktionsströmen bei geschlossenen Leiterschleifen/ Spulen, Energieerhaltung und Lenz'sche Regel	Übungsaufgaben auch zur Richtung des Induktionsstroms Richtungen bei der Induktion → ZPG VI: 7.1
technische Anwendungen der Induktion: Generator, Transformator, Induktionsladegerät	Schülerexperimente mit Messwerterfassungssystem: Zusammenhang von Drehfrequenz und Spannungsamplitude beim Generator, Modellversuche zu Induktionsladegeräten, pbK 2.2 Kommunikation (3), (4) mögliche Vertiefungen: a) europäisches Wechselspannungsnetz, b) Handyladegerät mit Schaltnetzteil und Gleichrichter c) Kurbel- beziehungsweise Schütteltaschenlampe
Selbstinduktion, Induktivität, $U_{\text{ind}} = -L \cdot \dot{I}$, Induktivität einer schlanken Spule ($L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot n^2 \cdot \frac{A}{l}$)	Hinweis: Der Bildungsplan 2016 enthält einen Tippfehler und gibt die Formel für die Induktivität einer schlanken Spule ohne μ_r an. Unbedingt mit μ_r unterrichten.
im Feld einer Spule gespeicherte Energie ($E_{\text{Spule}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$)	Analogie zu anderen Energieformeln ($E_{\text{Kond}}, E_{\text{Span}}, E_{\text{kin}}$) diskutieren, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (10)
Schwingungen in elektromagnetischen Schwingkreisen, Energieumwandlungen, Vergleich mit der Schwingung eines Federpendels	pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (10), pbK 2.2 Kommunikation (2) mögliche Vertiefung: Induktionsschleifen zur Steuerung von Ampeln, Schranken und zur Verkehrskontrolle
Aussagen der vier Maxwellgleichungen (qualitativ)	Maxwellgleichungen beschreiben Ursachen elektrischer und magnetischer Felder und machen Aussagen über die Struktur der Felder, Richtung der Wirbelfelder mit der Faust-Regel Maxwellgleichungen → ZPG VI: 7.1



Thema	Bemerkungen
Mechanische Wellen	
Mechanische <i>Wellen</i> und ihre Beschreibung: <i>Wellenlänge λ</i> , <i>Frequenz f</i> der Schwingung einzelner Teilchen, <i>Amplitude</i> , <i>Wellenfront</i> , <i>Wellennormale</i> , <i>Ausbreitungsgeschwindigkeit</i> $c = \lambda \cdot f$	Einstieg: Beispiele für Wellen sammeln und nach verschiedenen Kriterien gruppieren (mechanische oder elektromagnetische Wellen; Wellenträger bzw. Ausbreitung ein-, zwei- oder dreidimensional; ...)
<i>Longitudinalwellen</i> und <i>Transversalwellen</i> , <i>Polarisation</i> , <i>Energietransport</i>	z.B. bei Wellen auf einem elastischen Seil oder einer langen Spiralfeder
[Zeigermodell bei <i>Wellen</i>], <i>Auslenkung</i> bei einer eindimensionalen harmonischen <i>Transversalwelle</i> : Momentanbild $s(x, t_s)$ zum festen <i>Zeitpunkt</i> t_s und <i>Auslenkung</i> $s(x_s, t)$ an einem festen Ort x_s	Bemerkung: Im Weiteren werden ausschließlich harmonische Wellen betrachtet, auch wenn das nicht explizit erwähnt wird. Arbeiten mit Diagrammen, pbK 2.2 Kommunikation (6)
<i>Interferenz</i> bei der Überlagerung eindimensionaler Wellen, <i>Gangunterschied</i> bei maximal <i>konstruktiver</i> und bei vollständig <i>destruktiver Interferenz</i>	zeichnerische Konstruktion der <i>Auslenkung</i> zu bestimmten festen <i>Zeitpunkten</i> und [Beschreibung im Zeigermodell]
<i>Reflexion</i> von eindimensionalen <i>Wellen</i> an <i>festen</i> und <i>losen Enden</i> , eindimensionale <i>stehende Transversalwellen</i> (Bäuche, Knoten, kein <i>Energietransport</i>), Erklärung als <i>Interferenzphänomen</i> , <i>Eigenfrequenzen</i>	Grundschiwingung und Oberschwingungen, Erzwungene Schwingungen auf endlichen Wellenträgern: <i>Eigenfrequenzen</i> und <i>Resonanz</i> , dazu auch <i>Schülerexperimente und Arbeiten mit Simulationen</i> , mögliche <i>Vertiefung</i> : <i>Klangentstehung bei Musikinstrumenten</i> , <i>Frequenzspektren verschiedener Instrumente</i>
<i>Reflexion</i> , <i>Beugung</i> , <i>Interferenz</i> , <i>Brechung</i> [und <i>Energietransport</i>] bei zweidimensionalen <i>Wellen</i> , Wellenphänomene in Alltagssituationen erkennen (z.B. <i>Meereswellen</i> , <i>Schallwellen</i>)	Demo-Versuche mit der Wellenwanne, <i>Untersuchungen mittels Simulationen durch Schülerinnen und Schüler</i>
Wellenphänomene mithilfe des Huygens'schen Prinzips erklären (z.B. <i>Reflexion</i> , <i>Beugung</i> und <i>Brechung</i>)	pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (11)
Überlagerung zweidimensionaler <i>kohärenter Wellen</i> mithilfe des <i>Gangunterschieds</i> beschreiben, Anwendung: z.B. aktive <i>Schallunterdrückung</i> durch <i>Gegenschall</i>	Konstruktion der <i>Amplitude</i> an bestimmten <i>Orten</i> , [Verwendung des Zeigermodells] [auch Beispiele zur Überlagerung dreier <i>Wellen</i>]
Wiederholung <i>elektromagnetischer Schwingkreis</i> und <i>Dämpfung</i> bei <i>elektromagnetischen Schwingungen</i>	Dämpfung aufgrund des elektrischen Widerstands und des Abstrahlens elektromagnetischer Wellen. Letzteres kann als Überleitung zum neuen Thema dienen.
Eigenschaften von <i>elektromagnetischen Wellen</i> in qualitativen Experimenten,	Versuche: Dezimeterwellengerät, Mikrowellengerät,



	<p>Aufzeigen der Wellennatur: z.B. Reflektion einer Mikrowelle an einer Metallplatte mit stehender Welle.</p> <p>mögliche Vertiefung: Mikrowellenofen (Experimente)</p>
Aussagen der Maxwellgleichungen, Beschreibung von Ursachen und Struktur <i>elektromagn. Felder</i> ,	
Polarisation bei elektromagnetischen Wellen	
Überblick über das <i>elektromagnetische Spektrum</i>	
[Elektromagnetische Strahlung im Alltag, aktueller Kenntnisstand zu möglichen Auswirkungen auf Menschen]	<p>mögliche Themen: Mobilfunk, DECT-Telefone, Stromtrassen, ... (Informationen z.B. vom Bundesamt für Strahlenschutz)</p> <p>mögliche Vertiefung: wissenschaftliche Erkenntnisse versus Behauptungen und Meinungen</p> <p>pbK 2.3 Bewertung (5), (7), (8), (9)</p>
Thema	Bemerkungen
Wellenoptik	
Phänomene der Mittelstufenoptik: Erklärungen im <i>Strahlenmodell</i> , weitere Phänomene (z.B. Beugung an einer Blende, Dispersion, ...): Grenzen des <i>Strahlenmodells</i>	<p>nach vorbereitender Hausaufgabe: Versuche und Erläuterungen durch Schülergruppen</p> <p>pbK 2.2 Kommunikation (5), (7)</p> <p>pbK 2.3 Bewertung (4)</p>
Bestimmung der <i>Lichtgeschwindigkeit</i> , Licht als <i>elektromagnetische Welle</i>	<p>Herausforderung bei historischen Messungen, experimentelle Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit c z.B. durch Laufzeitmessung mit einem Oszilloskop</p> <p>mögliche Vertiefung: Funktionsweise von Laser-Entfernungsmessern und ihre Verwendung zur Messung von c in verschiedenen Medien</p>
<i>Interferenzmuster</i> am „idealen“ <i>Doppelspalt</i> , Formel für <i>Interferenzmaxima</i> und <i>-minima</i> in der Fernfeldnäherung (Fraunhofer-Näherung)	<p>Zum Begriff „idealer“ oder „idealisierter“ Doppelspalt: gemeint ist der Doppelspalt ohne Berücksichtigung des Einzelspalteinflusses</p> <p>pbK 2.1 Modellieren (6), (11),</p> <p>pbK 2.2 Kommunikation (5): Formel herleiten können</p>
Interferenz am „idealen“ Doppelspalt [Mehrfachspalt ¹], <i>Intensitätsverteilungen</i> [mit Hilfe des Zeigermodells ²] untersuchen: Doppelspalt [sowie 3- und 4-fach-Spalt ¹]	<p>Gangunterschied vs. Zeigermodell → ZPG VI: 7.0</p> <p>¹ Nicht im BP 2016 nicht verlangt.</p> <p>² Die Zeigerdarstellung von Schwingungen und Wellen wird vom Bildungsplan nicht verlangt. Anders als hier vorgestellt könnte darauf vollständig verzichtet werden.</p>



<p><i>Interferenzmuster am Gitter, Formel für Hauptmaxima in der Fernfeldnäherung beim Gitter [und Mehrfachspalt]</i></p>	<p>Lage der Hauptmaxima berechnen können pbK 2.1 Modellieren (6), (11), pbK 2.2 Kommunikation (5): Formel herleiten können</p>
<p><i>Interferenzmuster am Einzelspalt, Formel für Interferenzminima in der Fernfeldnäherung beim Einzelspalt</i></p>	<p>Lage der Minima berechnen können pbK 2.1 Modellieren (6), (11), pbK 2.2 Kommunikation (5): Formel herleiten können</p>
<p><i>[Interferenzmuster am realen Doppelspalt und Gitter, Untersuchung von Interferenzphänomene im Experiment, Methoden zur Erhöhung der Messgenauigkeit, Sicherheitsaspekte beim Umgang mit Lasern]</i></p>	<p>Berücksichtigung der endlichen Spaltbreite, pbK 2.1 Modellieren (9) Schülerexperimente zur Interferenz am Einzelspalt und am Doppelspalt Hinweis: Laut BP müssen die Schülerinnen und Schüler Interferenz selbst experimentell untersuchen können! pbK 2.1 Experimentieren (3), (4) pbK 2.3 Bewerten (1), (2)</p>
<p>Anwendungen optischer Interferenz, Interferenzphänomene im Alltag (zum Beispiel Interferenz an dünnen Schichten, Interferenz an Gitterstrukturen, Laser-Speckle)</p>	<p>Schülerexperimente: Wellenlängenbestimmung mit Gittern, Bestimmen des Spurbabstands einer CD (oder des Fadenabstands einer Gardine) aus Interferenzmustern,</p>
<p>Thema</p>	<p>Bemerkungen</p>
<p>Quantenphysik</p>	
<p><i>lichtelektrischer Effekt</i> (Hallwachs-Effekt, Photozelle) und seine Erklärung im Photonen-Modell der Quantenphysik (Einstein'sche Lichtquantenhypothese), Photonenenergie ($E_{\text{Quant}} = h \cdot f$) und Einstein'sche Gleichung zum Photoeffekt ($E_{\text{kin,max}} = h \cdot f - E_A$), Bedeutung von Naturkonstanten am Beispiel der Plank'schen Konstanten</p>	<p>Experimente mit einer Photozelle</p> <p>h-Bestimmung mittels einer Photozelle: Funktionalen Zusammenhang ermitteln: Diagramm und als Alternative lineare Regression mit dem WTR nutzen</p> <p>Naturkonstanten als universelle Konstanten, Bedeutung von h in der Physik und im SI</p>
<p>Energie und Impuls bei Quantenobjekten ($E_{\text{Quant}} = h \cdot f, p = \frac{h}{\lambda}$), <i>de-Broglie-Wellenlänge</i> bei Quanten-objekten mit Ruhemasse ($\lambda = \frac{h}{p}$)</p>	<p>Aufgaben zu Impuls und Wellenlänge bei Interferenzexperimenten mit Elektronen- oder Atomstrahlen</p>
<p>Licht am Doppelspalt (bei Einzelphotonenexperimenten), Elektronen und He-Atome am <i>Doppelspalt</i>, Photonen, Elektronen, He-Atome als <i>Quantenobjekte</i></p>	<p>Filme und Simulationen zu den in der Schule nicht durchführbaren Experimenten nutzen, Grenzen der klassischen Modelle</p>



<p>Grundzüge der Quantenphysik: stochastische Vorhersagbarkeit, Fähigkeit zur <i>Interferenz</i>, Unbestimmtheit von Eigenschaften</p>	<p>Bemerkung: Die Grundzüge können im Unterricht zunächst auch nur anhand von einer Sorte von Quantenobjekten (z.B. Photonen oder Elektronen) erarbeitet und danach auf andere ausgeweitet werden.</p>
<p>Grundzüge der Quantenphysik: Messung in der Quantenphysik (unter anderem bei Interferenzexperimenten mit einzelnen <i>Quantenobjekten</i>),</p>	<p>Vergleich der stochastischen Vorhersagbarkeit von Messergebnissen in der Quantenphysik mit dem deterministischen Modell der klassischen Physik</p>
<p>Grundzüge der Quantenphysik: Komplementarität am Beispiel von <i>Interferenzfähigkeit</i> und <i>Welcher-Weg-Information</i> (zum Beispiel Doppelspalt und Mach-Zehnder-Interferometer)</p>	<p>Schüler„experimente“ an geeigneten Simulationen</p>
<p>Anwenden der Grundzüge der Quantenphysik auf neue Experimente (zum Beispiel Mach-Zehnder-Interferometer, Michelson-Interferometer, Einzelspalt)</p>	<p>Vorhersagen anhand der Grundzüge treffen und möglichst mit Schüler„experimente“ an geeigneten Simulationen überprüfen</p>
<p>Zusammenfassender Vergleich der klassischen Physik mit der Quantenphysik – unter anderem: Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Verhaltens von klassischen <i>Wellen</i>, klassischen <i>Teilchen</i> und <i>Quantenobjekten</i> am <i>Doppelspalt</i>, Determinismus versus Wahrscheinlichkeitsaussagen</p>	<p>mögliche Vertiefung: Interpretationen der Quantenphysik</p>



Schulcurriculum Physik (Leistungsfach)

Thema	Bemerkungen
Mechanische Schwingungen	
Periodendauer verschiedener Pendel: Hypothesen experimentell überprüfen; Physik als experimentelle hypothesengeleitete Wissenschaft	Schülerexperimente in arbeitsteiligen Gruppen , pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (1)-(4), pbK 2.3 Bewertung (1)-(3)
Amplitude, Periodendauer, Frequenz, harmonische / nicht harmonische Schwingungen, gedämpfte / ungedämpfte Schwingungen	Schwingungen beschreiben: sowohl mit s-t- Diagrammen als auch mit charakteristischen Größen; Messwerterfassungssystem nutzen, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (5)
[Zeigerdarstellung ¹ einer Schwingung], Winkelgeschwindigkeit (bzw. Kreisfrequenz) ω , Wh. Bogenmaß	Übungen zu Winkeln bei Zeigern im Bogenmaß ¹ Die Zeigerdarstellung von Schwingungen und Wellen wird vom Bildungsplan nicht verlangt. Anders als im hier vorgestellten Unterrichtsgang könnte darauf vollständig verzichtet werden.
$s(t)$, $v(t)$, $a(t)$ für ungedämpfte harmonische Schwingungen, $a(t) = \dot{v}(t) = \ddot{s}(t)$	Inkl. Modellieren realer Schwingungen mit vernachlässigbarer Dämpfung, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (9), Messwerterfassungssysteme nutzen, pbK 2.1 Experimentieren (5), pbK 2.2 Kommunikation (5)
Schwingungen qualitativ erklären (u.a. Rückstellkraft, Durchgang durch die Gleichgewichtslage, Amplitude)	Die Newton'schen Prinzipien wiederholen. pbK 2.2 Kommunikation (4)
Lineares Kraftgesetz als Spezialfall, (Hooke'sche Federn und Gummibänder untersuchen)	Schülerexperimente: digitale Messwerterfassung , pbK 2.1 Experimentieren (5), pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (6), (9), pbK 2.2 Kommunikation (5)
Lineare Rückstellkraft bei harmonischen Schwingungen, Periodendauer T ($T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$)	Schwingung harmonisch \Rightarrow lineare Rückstellkraft $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$ herleiten. Experimentelle Stationen: D oder m bestimmen , Messung mit Smartphone und App \rightarrow ZPG VI: 3.1, Geogebra-Einsatz \rightarrow ZPG VI: 3.2
Schwingungs-Differentialgleichung $\ddot{s}(t) = -\frac{D}{m} \cdot s(t)$ bei harmonischen Schwingungen (Beispiel: Federpendel) DGL durch geeigneten Ansatz lösen, Bedingung $\omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$	Konzept (Aufbau und Bedeutung) einer DGL erklären. DGL sind nicht aus dem Mathematikunterricht bekannt. Hier wird folgender Nachweis geliefert: lineare Rückstellkraft \Rightarrow Schwingung harmonisch Übungsaufgaben zur Schwingungs-DGL
Beispiele für Schwingungen, Schwingungen im Alltag,	pbk 2.1 Wissen erwerben, anwenden (13) mögliche Vertiefung: Erdbeben, Schwingungen bei Gebäuden und Brücken , pbk 2.1 Wissen



Untersuchen, ob Schwingungen harmonisch sind	erwerben, anwenden (12), pbK 2.2 Kommunikation (7)
<i>Fadenpendel, Schwingungsdifferentialgleichung eines Fadenpendels bei kleinen Auslenkungen, Periodendauer beim Fadenpendel</i>	Die DGL gemeinsam entwickeln. mögliche Vertiefung: Foucault'sches Pendel und Erdrotation, Mehrfachpendel
Energie bei Schwingungen, $E = \frac{1}{2} Ds^2$, Energie beim Fadenpendel	Die Formel $E = \frac{1}{2} Ds^2$ aus Kl. 10 ist als Grundlagenwissen relevant, auch wenn sie im BP für die Kl. 11/12 nicht explizit genannt wird.
Überlagerung von Schwingungen qualitativ beschreiben	z.B. Verstärkung, Auslöschung, Schwebung, mögliche Vertiefung: Schwingungen in der Musik mit Schülerexperimenten, Überlagerung → ZPG VI: 3.1, Schwebungen → ZPG VI: 3.0
[Erzwungene Schwingung und Resonanz]	mögliche Vertiefung: erzwungene Schwingungen und Resonanz mit Beispielen aus dem Alltag
Thema	Bemerkungen
Elektrisches Feld	
Grundlagen der Elektrostatik: positive und negative Ladung, Kräfte zwischen geladenen Körpern, Einführung des <i>elektrischen Feldes</i>	Versuche zu Phänomenen der Elektrostatik: u. a. auch Schülerexperimente, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (11) Hinweis: Elektrostatik und elektrisches Feld sind <u>nicht</u> aus der Mittelstufe bekannt.
Wiederholung: z.B. elektrische Stromstärke, Potenziale und Spannungen in elektrischen Stromkreisen, Reihen- und Parallelschaltung (I , U und R), Stromrichtung und Richtung des Elektronenstroms.	pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (6), pbK 2.2 Kommunikation (6),
<i>Elektrische Felder</i> beschreiben: <i>Feldlinien</i> [und andere Darstellungsformen ¹], besondere Felder: <i>homogenes Feld</i> , Feld einer Punktladung, Feld eines Dipols, Quellen und Senken, [Abschirmung ¹ <i>elektrischer Felder</i>]	Modellcharakter der Feldlinienbilder: pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (9), pbK 2.3 Bewertung (4). Sinnvolle Ergänzung: Felder auch mittels Pfeilscharen ¹ oder Farbskalen für Feldstärkebetrag / Energiedichte ¹ darstellen. ¹ Nicht im BP 2016 nicht verlangt. Faraday'scher Käfig, pbK 2.2 Kommunikation (4)
<i>Elektrische Feldstärke</i> ($\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q}$) ¹ , <i>Feldlinienbilder</i> und elektrische Kräfte	Proportionaler Zusammenhang zwischen Größen (Diagramm, Tabelle, Formel), pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (6), (7), pbK 2.2 Kommunikation (5), (6), Mögliche Vertiefung: Entstehung von Gewittern, Feldstärke und Feldlinienbilder bei Gewittern, pbK 2.3 Bewertung (7), Leitperspektive PG



	<p>¹ Hinweis: Im BP 2016 wird hier und bei der Lorentzkraft für die Ladung das kleine q gewählt. Die Formeln gelten aber für beliebige Ladungen und nicht nur für kleine Probeladungen.</p>
<p>homogenes Feld eines Plattenkondensators und el. Feldstärke ($E = \frac{U}{d}$)</p>	
<p>Einführung des allgemeinen Begriffs der potentiellen Energie, Nullniveau, potentiellen Energie im homogenen <i>Gravitationsfeld</i> und im <i>homogenen elektrischen Feld</i>, elektrischen Potential ($\varphi = \frac{E_{\text{pot}}}{q}$), Äquipotentiallinien, Äquipotentiallinienbilder für <i>homogene Felder</i>, Punktladungen, Feld eines Dipols, ...</p>	<p>Begriff potentielle Energie → ZPG VI: 7.0 Wiederholung: übertragene Energie $\Delta E = F_g \cdot \Delta s$,</p> <p>Analogie zwischen Äquipotentiallinien im elektrischen Feld und Höhenlinien im Gravitationsfeld, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (10),</p> <p>Schülerexperimente zum Potential und zu Äquipotentiallinien mit Elektroden in der Potentialwanne</p>
<p>Analogien und Unterschiede: <i>elektrisches Feld</i> und <i>Gravitationsfeld</i></p>	<p>pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (10)</p>
<p>Beschleunigung geladener Teilchen, Bewegung von geladenen Teilchen in <i>elektrischen Feldern</i>: Bewegung in elektrischen Längs- und Quersfeldern</p>	<p>Wiederholung: z.B. zusammengesetzte Bewegungen und Richtung der Geschwindigkeit bei zusammengesetzten Bewegungen, Newton'sche Prinzipien (Kräfte in, entgegen und quer zur Bewegungsrichtung) Teilchen in Feldern → ZPG VI: 5. mögliche Vertiefung: Anwendungen bei Druckern, Strahlentherapie, Beschleunigern, ... pbK 2.3 Bewertung (7), (8), (9), Leitperspektive BO</p>
<p>Kondensator und Kapazität ($C = \frac{Q}{U}$), Kapazität eines Plattenkondensators ($C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$), Dielektrika</p>	<p>Proportionaler und antiproportionaler Zusammenhang zwischen Größen (Diagramm, Tabelle, Formel), pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (6), (7), pbK 2.2 Kommunikation (5), (6), Bauformen von Kondensatoren, mögliche Vertiefung: Millikan-Versuch, mögliche Vertiefung: Gesamtkapazität von Kondensatoren in Reihen- und Parallelschaltung inkl. Schülerexperimenten</p>



<p>Kondensatoren als Energiespeicher, im Feld eines <i>Kondensators</i> gespeicherte Energie $(E_{\text{Kond}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2)$</p>	<p>Man kann z.B. anhand der Herleitung dieser Formel die deduktive Methode diskutieren und von der induktiven abgrenzen. pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (6)</p>
<p><i>Auf- und Entladevorgang</i> eines <i>Kondensators</i>, U-t-Diagramme zum Aufladen und Entladen</p>	<p>Schülerexperimente mit Messwerterfassungssystemen, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (4), (5) [Halbwertszeit und experimentelle Ermittlung der Kapazität], Leuchtdauer einer an einen Kondensator angeschlossenen LED (Schülerexperimente)</p> <p>mögliche Vertiefungen: a) Differentialgleichung für $I(t)$ beim Entladen (Laden), Gleichung für $U(t)$ beim Entladen (Laden) b) Kondensatoren als Energiespeicher in Kurbeltaschenlampe und Fahrradrücklichtern</p>
<p>Thema</p>	<p>Bemerkungen</p>
<p>Das Magnetfeld</p>	
<p>Wiederholung: z.B. Magnete, Magnetpole, Anziehung und Abstoßung, <i>Magnetfeld</i>, <i>Magnetfeldlinien</i>; <i>magnetische Felder</i> beschreiben: Stabmagnet, Hufeisenmagnet, gerader stromführender Leiter, Spule, rechte-Faust-Regel</p>	<p>Wiederholung der Grundlagen aus Kl. 7/8, pbK 2.2 Kommunikation (7)</p>
<p>Kraft auf stromführenden Leiter im <i>Magnetfeld</i>, Drei-Finger-Regel, <i>magnetische Flussdichte</i> \vec{B}, $F = B \cdot I \cdot s$</p>	<p>Vergleich der Definition von \vec{B} mit der Definition von \vec{E}, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (10)</p>
<p>Kraft auf eine <i>elektrische Ladung</i> im <i>Magnetfeld</i>, $F_L = q \cdot v \cdot B$, Drei-Finger-Regel</p>	<p>Schülerexperimente: Untersuchung der magnetischen Flussdichte mit Hallsonden oder anderen Sensoren bei unterschiedlichen Magneten und Magnetfeldern</p>
<p>Bewegung von geladenen Teilchen senkrecht zu <i>homogenen Magnetfeldern</i>, Kreisbahn, e/m-Bestimmung</p>	<p>Wiederholung: gleichförmige Kreisbewegungen, Zentripetalkraft, (aus Klasse 10 bekannt) mögliche Vertiefung: Polarlichter</p>
<p>Bewegung von geladenen Teilchen in gekreuzten <i>homogenen elektrischen</i> und <i>magnetischen Feldern</i>, Wien-Filter, Massenspektrograph</p>	<p>Teilchen in Feldern → ZPG VI: 5. mögliche Vertiefung: Massenspektrometer und ihre Anwendungen, Leitperspektive BO</p>



elektrische und magnetische Felder bei Teilchenbeschleunigern	mögliche Vertiefung: Beschleuniger in der Teilchenphysik (z.B. LHC) und in der medizinischen Therapie, Teilchen in Feldern → ZPG VI: 5. pbK 2.3 Bewertung (8), (9), (6), (12), Leitperspektive BO
Magnetfelder erzeugen: Magnetfeld einer schlanken Spule, Materie im Magnetfeld (relative Permeabilitätszahl), $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n}{l} \cdot I$	mögliche Vertiefung: Entwurf, Bau und Optimierung von Elektromagneten mit möglichst großer Flussdichte bei vorgegebener Spannung, Messungen mit Messwerterfassungssystemen
Analogien und Unterschiede zwischen magnetischem Feld, elektrischem Feld und Gravitationsfeld	pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (10)
Thema	Bemerkungen
Induktion, Elektromagnetismus	
Phänomen der Induktion	experimentelle Erkundung von Induktionsvorgängen
Induktion am geraden Leiter im homogenen Magnetfeld, $U_{\text{ind}} = B \cdot l \cdot v$ mithilfe Lorentzkraft erklären	Kräftegleichgewicht von Lorentzkraft und elektrischer Feldkraft pbK 2.3 Bewertung (11) Schülerexperimente mit Messwerterfassungssystemen
Induktionsspannung bei konstanter Spulenfläche qualitativ erkunden, $U_{\text{ind}} = n \cdot A_s \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$	pbK 2.3 Bewertung (11) Schülerexperimente mit Messwerterfassungssystemen
Induktionsspannung durch Flächenänderung qualitativ erkunden, Formel $U_{\text{ind}} = n \cdot B \cdot \frac{\Delta A_s}{\Delta t}$ für die Induktionsspannung	pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (6), Verallgemeinerung der beiden Formeln: $U_{\text{ind}} = n \cdot A_s \cdot \dot{B}$, bzw. $U_{\text{ind}} = n \cdot B \cdot \dot{A}_s$
magnetischer Fluss, allgemeine Form des Induktionsgesetzes: $U_{\text{ind}} = -n \cdot \dot{\Phi}$	Begründung für die Einführung des negativen Vorzeichens: Erinnerung an die Lenz'sche Regel
Auftreten von Induktionsströmen bei geschlossenen Leiterschleifen/ Spulen, Energieerhaltung und Lenz'sche Regel	Übungsaufgaben auch zur Richtung des Induktionsstroms Richtungen bei der Induktion → ZPG VI: 7.1
Anwendung von $U_{\text{ind}} = -n \cdot \dot{\Phi}$	auch Übungen zu Fällen, in denen $\Phi(t)$ nicht linear ist



<p>Wirbelströme, technische Anwendungen (z.B. Wirbelstrombremse, Induktionskochfeld)</p>	<p>erwünschte (z.B. Wirbelstrombremse, Induktionskochfeld) oder unerwünschte Auswirkungen (z.B. Erwärmung von Eisenkernen in Spulen) von Wirbelströmen, pbK 2.2 Kommunikation (3), (4)</p>
<p>technische Anwendungen der Induktion: Generator, Transformator, Induktionsladegerät</p>	<p>Schülerexperimente mit Messwerterfassungssystem: Zusammenhang von Drehfrequenz und Spannungsamplitude beim Generator, Modellversuche zu Induktionsladegeräten, pbK 2.2 Kommunikation (3), (4)</p> <p>mögliche Vertiefungen: a) europäisches Wechselspannungsnetz, b) Handyladegerät mit Schaltnetzteil und Gleichrichter c) Kurbel- beziehungsweise Schütteltaschenlampe</p>
<p>Selbstinduktion, Induktivität, $U_{\text{ind}} = -L \cdot \dot{I}$, Induktivität einer schlanken Spule ($L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot n^2 \cdot \frac{A}{l}$)</p>	<p>Hinweis: Der Bildungsplan 2016 enthält einen Tippfehler und gibt die Formel für die Induktivität einer schlanken Spule ohne μ_r an. Unbedingt mit μ_r unterrichten.</p>
<p>Selbstinduktion beim Ein- und Ausschalten von Spulen: I-t-Diagramm und U_{ind}-t-Diagramme</p>	<p>Zusammenhang zwischen den Diagrammen anhand der Formel $U_{\text{ind}} = -L \cdot \dot{I}$ erklären können, experimentelle Bestimmung der Induktivität einer Spule, Messwerterfassungssystem nutzen, mögliches Auftreten hoher Spannungen beim Ausschalten, pbK 2.3 Bewertung (7), Leitperspektive PG mögliche Vertiefung: DGL beim Ausschalten von Spulen</p>
<p>im Feld einer Spule gespeicherte Energie ($E_{\text{Spule}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$)</p>	<p>Analogie zu anderen Energieformeln ($E_{\text{pot}}, E_{\text{span}}, E_{\text{kin}}$) diskutieren, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (10)</p>
<p>Schwingungen in elektromagnetischen Schwingkreisen, Energieumwandlungen, Vergleich mit der Schwingung eines horizontalen Federpendels</p>	<p>pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (10), pbK 2.2 Kommunikation (2)</p>
<p>Schwingungs-Differentialgleichung eines elektromagnetischen Schwingkreises ($Q(t) = -\frac{1}{L \cdot C} \cdot Q(t)$) lösen, Formel für die Periodendauer ($T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$)</p>	<p>Vergleich mit der DGL für mechanische Schwingungen, DGL beim elektromagn. Schwingkreis → ZPG VI: 7.0 Schülerexperimente mit Messwerterfassungssystemen,</p>



	<p>pbK 2.2 Kommunikation</p> <p>mögliche Vertiefung: Induktionsschleifen zur Steuerung von Ampeln, Schranken und zur Verkehrskontrolle</p>
Aussagen der vier Maxwellgleichungen (qualitativ)	<p>Maxwellgleichungen beschreiben Ursachen elektrischer und magnetischer Felder und machen Aussagen über die Struktur der Felder, Richtung der Wirbelfelder mit der Faust-Regel</p> <p>Maxwellgleichungen → ZPG VI: 7.1</p>
Thema	Bemerkungen
Mechanische Wellen	
<p>Mechanische <i>Wellen</i> und ihre Beschreibung: <i>Wellenlänge</i> λ, <i>Frequenz</i> f der Schwingung einzelner Teilchen, <i>Amplitude</i>, <i>Wellenfront</i>, <i>Wellennormale</i>, <i>Ausbreitungsgeschwindigkeit</i></p> <p>$c = \lambda \cdot f$</p>	<p>Einstieg: Beispiele für Wellen sammeln und nach verschiedenen Kriterien gruppieren (mechanische oder elektromagnetische Wellen; Wellenträger bzw. Ausbreitung ein-, zwei- oder dreidimensional; ...)</p>
<p><i>Longitudinalwellen</i> und <i>Transversalwellen</i>, <i>Polarisation</i>, <i>Energietransport</i></p>	<p>z.B. bei Wellen auf einem elastischen Seil oder einer langen Spiralfeder</p>
<p>[Zeigermodell bei <i>Wellen</i>], <i>Auslenkung</i> bei einer eindimensionalen harmonischen <i>Transversalwelle</i>: Momentanbild $s(x, t_s)$ zum festen Zeitpunkt t_s und <i>Auslenkung</i> $s(x_s, t)$ an einem festen Ort x_s</p>	<p>Bemerkung: Im Weiteren werden ausschließlich harmonische Wellen betrachtet, auch wenn das nicht explizit erwähnt wird.</p> <p>Arbeiten mit Diagrammen, pbK 2.2 Kommunikation (6)</p>
<p><i>Interferenz</i> bei der Überlagerung eindimensionaler Wellen, <i>Gangunterschied</i> bei maximal <i>konstruktiver</i> und bei vollständig <i>destruktiver Interferenz</i></p>	<p>zeichnerische Konstruktion der <i>Auslenkung</i> zu bestimmten festen <i>Zeitpunkten</i> und [Beschreibung im Zeigermodell]</p>
<p><i>Reflexion</i> von eindimensionalen <i>Wellen</i> an <i>festen</i> und <i>losen Enden</i>, eindimensionale <i>stehende Transversalwellen</i> (Bäuche, Knoten, kein Energietransport), Erklärung als <i>Interferenzphänomen</i>, <i>Eigenfrequenzen</i></p>	<p>Grundschiwingung und Oberschwingungen, Erzwungene Schwingungen auf endlichen Wellenträgern: <i>Eigenfrequenzen</i> und <i>Resonanz</i>, dazu auch <i>Schülerexperimente und Arbeiten mit Simulationen</i>, mögliche Vertiefung: <i>Klangentstehung bei Musikinstrumenten, Frequenzspektren verschiedener Instrumente</i></p>
<p><i>Reflexion</i>, <i>Beugung</i>, <i>Interferenz</i>, <i>Brechung</i> [und <i>Energietransport</i>] bei zweidimensionalen <i>Wellen</i>, Wellenphänomene in Alltagssituationen erkennen (z.B. <i>Meereswellen</i>, <i>Schallwellen</i>)</p>	<p>Demo-Versuche mit der Wellenwanne, <i>Untersuchungen mittels Simulationen durch Schülerinnen und Schüler</i>, mögliche Vertiefung: <i>zusammenfassendes Training zur Darstellung der Lösungen von Aufgaben / zum Verfassen physikalischer</i></p>



	Erklärungen (→ Abiturvorbereitung) pbK 2.2 Kommunikation (3), (4)
Wellenphänomene mithilfe des Huygens'schen Prinzips erklären (z.B. Reflexion, Beugung und Brechung)	pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (11)
Überlagerung zweidimensionaler <i>kohärenter Wellen</i> mithilfe des <i>Gangunterschieds</i> beschreiben, Anwendung: z.B. aktive Schallunterdrückung durch Gegenschall	Konstruktion der <i>Amplitude</i> an bestimmten <i>Orten</i> , [Verwendung des Zeigermodells] [auch Beispiele zur Überlagerung dreier <i>Wellen</i>]
Wiederholung <i>elektromagnetischer Schwingkreis</i> und Dämpfung bei elektromagnetischen <i>Schwingungen</i>	Dämpfung aufgrund des elektrischen Widerstands und des Abstrahlens elektromagnetischer Wellen. Letzteres kann als Überleitung zum neuen Thema dienen.
Eigenschaften von <i>elektromagnetischen Wellen</i> in qualitativen Experimenten,	Versuche: Dezimeterwellengerät, Mikrowellengerät, Aufzeigen der Wellennatur: z.B. Reflektion einer Mikrowelle an einer Metallplatte mit stehender Welle. mögliche Vertiefung: Mikrowellenofen (Experimente)
Hertz'scher Dipol als Grenzfall des <i>elektromagnetischen Schwingkreises</i> , Felder in der Nähe eines Hertz'schen Dipols und Abstrahlung einer <i>elektromagnetischen Welle</i> , elektromagnetischen Wellen in großer Entfernung zum Sende-Dipol	mögliche Vertiefung: weitere Antennentypen, Antennen in Alltagsgeräten Abstrahlung von elektromagn. Wellen → ZPG VI: 7.0
Aussagen der Maxwellgleichungen, Beschreibung von Ursachen und Struktur <i>elektromagnetischer Felder</i> ,	Die Aussagen der Maxwellgleichungen können statt in der Jahrgangsstufe 1 auch erst hier eingeführt werden. Hier können sie als Anlass zur Wiederholung von Kenntnissen aus der Jahrgangsstufe 1 dienen. Erklärung mithilfe der Maxwellgleichungen
Polarisation bei elektromagnetischen Wellen	
Überblick über das <i>elektromagnetische Spektrum</i>	
[Elektromagnetische Strahlung im Alltag, aktueller Kenntnisstand zu möglichen Auswirkungen auf Menschen]	mögliche Themen: Mobilfunk, DECT-Telefone, Stromtrassen, ...



	<p>(Informationen z.B. vom Bundesamt für Strahlenschutz)</p> <p>mögliche Vertiefung: wissenschaftliche Erkenntnisse versus Behauptungen und Meinungen</p> <p>pbK 2.3 Bewertung (5), (7), (8), (9)</p>
Thema	Bemerkungen
Wellenoptik	
Phänomene der Mittelstufenoptik: Erklärungen im <i>Strahlenmodell</i> , weitere Phänomene (z.B. Beugung an einer Blende, Dispersion, ...): Grenzen des <i>Strahlenmodells</i>	<p>nach vorbereitender Hausaufgabe: Versuche und Erläuterungen durch Schülergruppen</p> <p>pbK 2.2 Kommunikation (5), (7)</p> <p>pbK 2.3 Bewertung (4)</p>
Bestimmung der <i>Lichtgeschwindigkeit</i> , Licht als <i>elektromagnetische Welle</i>	<p>Herausforderung bei historischen Messungen, experimentelle Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit c z.B. durch Laufzeitmessung mit einem Oszilloskop</p> <p>mögliche Vertiefung: Funktionsweise von Laser-Entfernungsmessern und ihre Verwendung zur Messung von c in verschiedenen Medien</p>
<i>Interferenzmuster</i> am „idealen“ <i>Doppelspalt</i> , Formel für <i>Interferenzmaxima</i> und <i>-minima</i> in der Fernfeldnäherung (Fraunhofer-Näherung)	<p>Zum Begriff „idealer“ oder „idealisierter“ Doppelspalt: gemeint ist der Doppelspalt ohne Berücksichtigung des Einzelspalteinflusses</p> <p>pbK 2.1 Modellieren (6), (11),</p> <p>pbK 2.2 Kommunikation (5): Formel herleiten können</p>
Interferenz am „idealen“ [Mehrfachspalt ¹], <i>Intensitätsverteilungen</i> [mit Hilfe des Zeigermodells ²] untersuchen: Doppelspalt [sowie 3- und 4-fach-Spalt ¹]	<p>¹ Der Mehrfachspalt wird im Bildungsplan 2016 nicht verlangt.</p> <p>² Das Zeigermodell wird im Bildungsplan 2016 nicht verlangt.</p> <p>Gangunterschied vs. Zeigermodell → ZPG VI: 7.0</p>
<i>Interferenzmuster</i> am <i>Gitter</i> , Formel für <i>Hauptmaxima</i> in der Fernfeldnäherung beim Gitter [und Mehrfachspalt]	<p>Lage der Hauptmaxima berechnen können</p> <p>pbK 2.1 Modellieren (6), (11),</p> <p>pbK 2.2 Kommunikation (5): Formel herleiten können</p>
<i>Interferenzmuster</i> am <i>Einzelspalt</i> , Formel für <i>Interferenzminima</i> in der Fernfeldnäherung beim Einzelspalt	<p>Lage der Minima berechnen können</p> <p>pbK 2.1 Modellieren (6), (11),</p> <p>pbK 2.2 Kommunikation (5): Formel herleiten können</p>
<i>Interferenzmuster</i> am realen <i>Doppelspalt</i> und <i>Gitter</i> ,	<p>Berücksichtigung der endlichen Spaltbreite,</p> <p>pbK 2.1 Modellieren (9)</p>



Untersuchung von Interferenzphänomene im Experiment, Methoden zur Erhöhung der Messgenauigkeit, Sicherheitsaspekte beim Umgang mit Lasern	Schülerexperimente zur Interferenz am Einzelspalt und am Doppelspalt Hinweis: Laut BP müssen die Schülerinnen und Schüler Interferenz selbst experimentell untersuchen können! pbK 2.1 Experimentieren (3), (4) pbK 2.3 Bewerten (1), (2)
Anwendungen optischer Interferenz, Interferenzphänomene im Alltag (zum Beispiel Interferenz an dünnen Schichten, Interferenz an Gitterstrukturen, Laser-Speckle)	Schülerexperimente: Wellenlängenbestimmung mit Gittern, Bestimmen des Spurabstands einer CD (oder des Fadenabstands einer Gardine) aus Interferenzmustern,
Historische Entwicklung von Modellvorstellungen des <i>Lichts</i> (z. B. Lichtstrahlen, Lichtteilchen, Lichtwellen, elektromagn. Wellen, Photonen); Funktion von Modellen in der Physik; Hypothese – Experiment – Bewertung	Grenzen der jeweiligen Modelle, Zusammenhang zwischen Modellen und experimentellen Möglichkeiten, pbK 2.3 Bewerten (3), (4), grundsätzliche empirische Überprüfbarkeit physikalischer Aussagen und Modelle
Thema	Bemerkungen
Quantenphysik	
<i>lichtelektrischer Effekt</i> (Hallwachs-Effekt, Photozelle) und seine Erklärung im Photonen-Modell der Quantenphysik (Einstein'sche Lichtquantenhypothese), Photonenenergie ($E_{\text{Quant}} = h \cdot f$) und Einstein'sche Gleichung zum Photoeffekt ($E_{\text{kin,max}} = h \cdot f - E_A$), Bedeutung von Naturkonstanten am Beispiel der Plank'schen Konstanten	Experimente mit einer Photozelle h -Bestimmung mittels einer Photozelle: Funktionalen Zusammenhang ermitteln: Diagramm und als Alternative lineare Regression mit dem WTR nutzen Naturkonstanten als universelle Konstanten, Bedeutung von h in der Physik und im SI
Energie und Impuls bei Quantenobjekten ($E_{\text{Quant}} = h \cdot f, p = \frac{h}{\lambda}$), <i>de-Broglie-Wellenlänge</i> bei Quanten-objekten mit Ruhemasse ($\lambda = \frac{h}{p}$)	Aufgaben zu Impuls und Wellenlänge bei Interferenzexperimenten mit Elektronen- oder Atomstrahlen
Licht am Doppelspalt (bei Einzelphotonenexperimenten), Elektronen und He-Atome am <i>Doppelspalt</i> , Photonen, Elektronen, He-Atome als <i>Quantenobjekte</i>	Filme und Simulationen zu den in der Schule nicht durchführbaren Experimenten nutzen, Grenzen der klassischen Modelle
Erkenntnisgewinnung in der Physik (Hypothese – Experiment – Modell – Falsifizierbarkeit), Anforderungen an physikalische Modelle	pbK 2.1 Experimentieren (1), (2), pbK 2.1 Modellieren (11) Modelle müssen nicht anschaulich sein (Beispiel: quantenphysikalisches Modell),



<p>Grundzüge der Quantenphysik: stochastische Vorhersagbarkeit, Fähigkeit zur <i>Interferenz</i>, Unbestimmtheit von Eigenschaften</p>	<p>Bemerkung: Die Grundzüge können im Unterricht zunächst auch nur anhand von einer Sorte von Quantenobjekten (z.B. Photonen oder Elektronen) erarbeitet und danach auf andere ausgeweitet werden.</p>
<p>Grundzüge der Quantenphysik: Messung in der Quantenphysik (unter anderem bei Interferenzexperimenten mit einzelnen <i>Quantenobjekten</i>),</p>	<p>Vergleich der stochastischen Vorhersagbarkeit von Messergebnissen in der Quantenphysik mit dem deterministischen Modell der klassischen Physik</p>
<p>Grundzüge der Quantenphysik: Komplementarität am Beispiel von <i>Interferenzfähigkeit</i> und <i>Welcher-Weg-Information</i> (zum Beispiel Doppelspalt und Mach-Zehnder-Interferometer)</p>	<p>Schüler„experimente“ an geeigneten Simulationen</p>
<p>Anwenden der Grundzüge der Quantenphysik auf neue Experimente (zum Beispiel Mach-Zehnder-Interferometer, Michelson-Interferometer, Einzelspalt)</p>	<p>Vorhersagen anhand der Grundzüge treffen und möglichst mit Schüler„experimente“ an geeigneten Simulationen überprüfen</p>
<p>Heisenberg'sche <i>Unbestimmtheitsrelation</i> bezüglich der Unbestimmtheit von Ort und Impuls ($\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$)*, Konsequenzen aus der <i>Unbestimmtheitsrelation</i>: Aufgabe des klassischen Bahnbegriffs und des klassischen Determinismus * Bemerkung: Der Bildungsplan nutzt die Abschätzung $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$.</p>	<p>mögliche Vertiefung: Energie-Zeit-Unbestimmtheit, Tunneleffekt und Rastertunnelmikroskope</p>
<p>Zusammenfassender Vergleich der klassischen Physik mit der Quantenphysik – unter anderem: Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Verhaltens von klassischen <i>Wellen</i>, klassischen <i>Teilchen</i> und <i>Quantenobjekten</i> am <i>Doppelspalt</i>, Determinismus versus Wahrscheinlichkeitsaussagen</p>	<p>mögliche Vertiefung: Interpretationen der Quantenphysik</p>
<p>[Darstellung von Wahrscheinlichkeiten im Wolkenmodell, Beschreibung von Quantenobjekten im Wolkenmodell (z.B. Photonen im Interferometer)]</p>	<p>mögliche Vertiefung (Wolkenmodell: Veranschaulichung der Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdichte durch Wolken mit entsprechendem Dichteverlauf, „Wahrscheinlichkeitswolke“)</p>
<p>[Quantenverschlüsselung und Experimente zur Quantenphysik]</p>	<p>mögliche Vertiefung: Besuch eines Schülerlabors zur Quantenphysik, pbK 2.1 Erkenntnisgewinnung (14)</p>