

## 1. Einführungsphase

<b>Thema: Kinematik und Dynamik</b>	
<b>Grundlegendes Anforderungsniveau (45 Stunden)</b>	
<b>Verbindliche Inhalte</b>	<b>Kompetenzen: Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ort, Zeit</li> <li>• Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit</li> <li>• Vektoreigenschaften der Geschwindigkeit</li> <li>• Beschleunigung</li> <li>• gleichförmige und gleichförmig beschleunigte Bewegung</li> <li>• freier Fall</li> <li>• waagerechter Wurf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• analysieren Bewegungen auch anhand von Bild- oder Videomaterial.</li> <li>• identifizieren gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen als Spezialfälle allgemeiner Bewegungen.</li> <li>• bestimmen Strecken, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen auch mit Methoden der Differenzial- und Integralrechnung.</li> <li>• führen komplexe Bewegungen auf die Überlagerung von einfachen Bewegungen zurück.</li> <li>• führen eine quantitative Analyse des waagerechten Wurfs durch.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Masse, Kraft und Beschleunigung</li> <li>• Trägheitsprinzip</li> <li>• Reibungskraft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben und berechnen Kräfte als Ursache von Bewegungsänderungen.</li> <li>• nutzen ihr Wissen über den vektoriellen Charakter der Kraft zur Kräfteaddition und Kräftezerlegung.</li> <li>• Unterscheiden zwischen realen und idealisierten Bewegungen.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• kinetische und potenzielle Energie</li> <li>• Energieerhaltung</li> <li>• senkrechter Wurf als Anwendung des Energieerhaltungssatzes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden den Energieerhaltungssatz zur quantitativen Beschreibung von Bewegungen an.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impuls und Impulserhaltungssatz</li> <li>• elastische und inelastische Stöße</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern den Impulserhaltungssatz bei elastischen und inelastischen Stößen.</li> </ul>
<b>Erhöhtes Anforderungsniveau (45 Stunden)</b>	
<b>Zusätzliche verbindliche Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iterative Verfahren</li> <li>• Impuls und Impulserhaltung quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sagen reale Bewegungen mithilfe iterativer Verfahren voraus.</li> <li>• wenden den Impulserhaltungssatz zur quantitativen Beschreibung von elastischen und inelastischen Stößen an.</li> </ul>
<b>Optionale Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern den Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden den Begriff der Leistung zur quantitativen</li> </ul>

	<b>Beschreibung von Energieumwandlungen an.</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reaktionszeit, Reaktionsweg</li> <li>• Bremsweg, Anhalteweg</li> <li>• Überholweg, Überholzeit</li> <li>• Luftreibung, cw-Wert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden ihr physikalisches Fachwissen auf Situationen im Straßenverkehr an.</li> <li>• kennen die quadratische Abhängigkeit der Luftreibung von der Geschwindigkeit</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raketenantrieb, Raketengleichung</li> <li>• Newton'sche Axiome</li> <li>• Hooke'sches Gesetz und Spannenergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären den Raketenantrieb mithilfe des Impulserhaltungssatzes.</li> <li>• die Newton'schen Axiome fachlich und historisch einordnen.</li> <li>• berechnen die in einer gespannten Feder gespeicherte Energie.</li> </ul>
<b>Physikalische Modelle und Konzepte</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Im Sinne einer Verkehrserziehung und als Anbindung an den Fahrschulunterricht der SuS bietet sich eine thematische Einbettung der Einheit in den Kontext Straßenverkehr an.</li> <li>• Die Einbeziehung von Methoden der Differenzial- und Integralrechnung ist zu Beginn der Einführungsphase problematisch, da der Mathematikunterricht diese Methoden zu diesem Zeitpunkt noch nicht bereit stellt. Daher ist die Verwendung graphischer Methoden ( <math>s(t)</math>- und <math>v(t)</math>- Diagramme ) anzuraten. Eine differenzielle Formulierung der Bewegungsgleichungen ist erst im Rahmen der Schwingungslehre erforderlich.</li> </ul>	
<b>Mögliche Experimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Videoanalysen von Bewegungsvorgängen</li> <li>• Schülerexperimente mit Zeitmarkengebern</li> <li>• Experimente mit der Luftkissenfahrbahn (Impulserhaltung, Grundgleichung der Mechanik)</li> <li>• Experimente zum freien Fall und zum waagerechten Wurf</li> <li>• Freihandversuch mit einem Lineal zu Bestimmung der Reaktionszeit der SuS</li> </ul>	
<b>Wortschatz</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanik, Kinematik, Dynamik</li> <li>• Ort, Zeit, Durchschnittsgeschwindigkeit, mittlere Geschwindigkeit, Momentangeschwindigkeit, <math>s(t)</math>-Diagramm, <math>v(t)</math>-Diagramm, Beschleunigung, Fallbeschleunigung, Erdbeschleunigung</li> <li>• freier Fall, Vakuum, waagerechter (horizontaler) Wurf, senkrechter (vertikaler) Wurf</li> <li>• Masse, (Massen-)Trägheit, Trägheitsprinzip, Grundgleichung der Mechanik</li> <li>• Kraft, Gewichtskraft, Erdanziehung, Erdanziehungskraft, Reibung, Reibungskraft</li> <li>• Impuls, Impulserhaltung, Impulserhaltungssatz, Impulsübertrag</li> <li>• Energie, kinetische Energie, potenzielle Energie, Lageenergie, Wärmeenergie, Energieerhaltung, Energieerhaltungssatz, Energieumwandlung</li> <li>• Iteration, iteratives Verfahren</li> <li>• Arbeit, Leistung, Energiestrom</li> <li>• Reaktionszeit, Reaktionsweg, Bremsweg, Anhalteweg, Überholweg, Überholzeit, cw-Wert</li> <li>• Raketenantrieb, Raketengleichung</li> <li>• Axiom</li> </ul>	

Formeln
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>v = \frac{\Delta s}{\Delta t}</math>; <math>s = v \cdot t</math>; <math>a = \frac{\Delta v}{\Delta t}</math>; <math>v = a \cdot t</math>; <math>s = \frac{1}{2} a t^2</math>; <math>s = \frac{v^2}{2a}</math>; <math>s(t) = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2</math>; <math>v(t) = v_0 + a \cdot t</math></li> <li>• <math>s = \frac{1}{2} g t^2</math>; <math>v = g \cdot t</math>; <math>F_g = m \cdot g</math></li> <li>• <math>E = F \cdot s</math>; <math>E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2</math>; <math>E_{pot} = m g h</math>; <math>E_{kin} + E_{pot} = E'_{kin} + E'_{pot}</math></li> <li>• <math>F = m \cdot a</math>; <math>p = m \cdot v</math>; <math>p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2</math>; <math>F = \frac{\Delta p}{\Delta t}</math></li> <li>• <math>W = F \cdot s</math>; <math>P = \frac{\Delta E}{\Delta t}</math>; <math>E = P \cdot t</math>; <math>P = F \cdot v</math>; <math>F = \frac{\Delta m \cdot v}{\Delta t}</math></li> </ul>
Weitere Hinweise
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Einbindung von Smartphones für Videoaufnahmen ist ratsam.</li> </ul>

Thema: Kreisbewegung und Gravitation	
Grundlegendes Anforderungsniveau (15 Stunden)	
Verbindliche Inhalte	Kompetenzen: Die Schülerinnen und Schüler ...
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahn- und Winkelgeschwindigkeit</li> <li>• Periodendauer und Frequenz</li> <li>• Zentripetalkraft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die Kreisbewegung als eine beschleunigte Bewegungen.</li> <li>• berechnen Bahn- und Winkelgeschwindigkeit sowie Periodendauer und Frequenz bei Kreisbewegungen.</li> <li>• erläutern die auftretenden Kräfte bei Kreisbewegungen.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gravitationsgesetz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nennen das Gravitationsgesetz</li> <li>• analysieren und berechnen Kreisbewegungen im Gravitationsfeld.</li> <li>• analysieren und berechnen Planetenbahnen.</li> </ul>
Optionale Inhalte	Die Schülerinnen und Schüler ...
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zentrifugalkraft</li> <li>• Zentripetalbeschleunigung</li> <li>• Corioliskraft</li> <li>• Foucault'sches Pendel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• identifizieren die Zentrifugalkraft als Schein- bzw. Trägheitskraft.</li> <li>• analysieren die Entstehung von Luft- und Wasserwirbeln.</li> <li>• analysieren die Bewegung des Foucault'schen Pendels.</li> </ul>
Physikalische Modelle und Konzepte	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	

Mögliche Experimente
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimente mit einer Drehscheibe zur qualitativen Analyse der Zentripetalkraft</li> <li>• quantitative Untersuchung der Zentripetalkraft mittels Zentrifuge (die Apparatur in der Sammlung ist relativ kompliziert und liefert nur bedingt quantitativ auswertbare Ergebnisse)</li> <li>• Versuch von Cavendish zur Bestimmung der Gravitationskonstante (die Apparatur in der Sammlung ist defekt, kann aber zur Behandlung der Funktionsweise des Experiments genutzt werden)</li> </ul>
Wortschatz
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreisbewegung, Kreisbahn, Bahnradius, Bahngeschwindigkeit, Winkelgeschwindigkeit</li> <li>• Periodendauer, Umlaufzeit, Frequenz, Drehzahl, Hertz</li> <li>• Zentripetalkraft, <b>Zentrifugalkraft, Scheinkraft, Trägheitskraft, Zentripetalbeschleunigung, Corioliskraft</b></li> <li>• Gravitation, Gravitationskraft, Gravitationskonstante, Planetenbahn</li> </ul>
Formeln
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f = \frac{1}{T}</math>; <math>\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}</math>; <math>v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f = \omega r</math>; <math>F_z = \frac{m v^2}{r} = m \omega^2 r</math>; <math>a_z = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r</math></li> <li>• <math>F_G = G \frac{m M}{r^2}</math></li> </ul>
Weitere Hinweise
<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>

Thema: Schwingungen und Wellen	
Grundlegendes Anforderungsniveau (30 Stunden)	
Verbindliche Inhalte	Kompetenzen: Die Schülerinnen und Schüler ...
<ul style="list-style-type: none"> <li>• charakteristische Größen: Schwingungsdauer, Frequenz, Wellenlänge, Amplitude, Elongation, Ausbreitungsgeschwindigkeit</li> <li>• Faden- und Federpendel</li> <li>• Schwingungsgleichung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben Schwingungen und Wellen mit Hilfe ihrer charakteristischen Größen.</li> <li>• stellen Schwingungen und Wellen mit Hilfe von Sinusfunktionen graphisch dar.</li> <li>• ermitteln aus der Schwingungsgleichung die charakteristischen Größen.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitudinal- und Transversalwellen</li> <li>• Huygens'sches Prinzip</li> <li>• Reflexion</li> <li>• Beugung und Interferenz</li> <li>• stehende Wellen</li> <li>• Dopplereffekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären Ausbreitung und Reflexion von Wellen mit Hilfe von gekoppelten Oszillatoren</li> <li>• untersuchen Beugung und Interferenzphänomene experimentell.</li> <li>• erklären mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips die Entstehung von Interferenzmustern.</li> <li>• erklären den Dopplereffekt qualitativ.</li> </ul>

Optionale Inhalte	Die Schülerinnen und Schüler ...
<ul style="list-style-type: none"> <li>• schwingende Wassersäule in einem U-Rohr</li> <li>• Resonanz</li> <li>• gedämpfte Schwingungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• berechnen mit Hilfe der Schwingungsgleichung die charakteristischen Größen.</li> <li>• erklären Resonanzphänomene qualitativ.</li> <li>• beschreiben den exponentiellen Abfall der Amplitude bei gedämpften Schwingungen.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeigerdiagramme, Überlagerung von Schwingungen, Schwebungen</li> <li>• Fourier-Transformation</li> <li>• akustische Unschärfe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben Überlagerungen von Schwingungen mit Hilfe von Zeigerdiagrammen.</li> <li>• analysieren Schwingungs- und Wellenmuster auf Basis der Fourier-Transformation qualitativ.</li> <li>• beschreiben die Konsequenzen der akustischen Unschärfe.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brechung und Reflexion</li> <li>• Chladni-Figuren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären Brechung und Reflexion mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips.</li> <li>• erklären qualitativ die Entstehung von Chladni-Figuren.</li> </ul>
<b>Physikalische Modelle und Konzepte</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es empfiehlt sich eine kurze Wiederholung des Hooke'schen Gesetzes.</li> <li>• Sinusförmige Schwingungen ergeben sich aus der Projektion von Kreisbewegungen. Dadurch können die charakteristischen Größen unmittelbar von den Kreisbewegungen übernommen werden.</li> <li>• Die Behandlung von Überlagerung von Schwingungen erleichtert das Verständnis des Huygens'schen Prinzips sowie von Beugung und Interferenz.</li> <li>• Es bietet sich an, ein breites Spektrum von Wellen zu behandeln (Wellenmaschine, Wasserwellen, Schallwellen, Mikrowellen, etc.).</li> <li>• Im Zusammenhang mit der Schwingungsgleichung werden die Bewegungsgleichungen in differenzieller Form behandelt.</li> <li>• Die Behandlung der Fourier-Transformation und der akustischen Unschärfe dienen als Grundlage für das Verständnis des Welle-Teilchen-Dualismus (Wellenpakete) und der Heisenberg'schen Unschärferelation.</li> </ul>	
<b>Mögliche Experimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Synchronisierung von projizierter Kreisbewegung und Federpendel</li> <li>• Visualisierung von Sinusschwingungen mit Hilfe von Federspiegel, Laser und Drehspiegel</li> <li>• Experimente zum Feder- und Fadenpendel</li> <li>• Experimente mit der Wellenwanne</li> <li>• Wellenmaschine</li> <li>• virtuelle Experimente mit dem Programm <i>Wellenwanne.exe</i></li> <li>• Interferenz von Schallwellen (Sinusgenerator und Lautsprecher)</li> <li>• Beugung von Mikrowellen; stehende Mikrowellen</li> <li>• Kundt'sches Rohr</li> </ul>	
<b>Wortschatz</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (sinusförmige) Schwingung, Oszillator, Periodendauer, Schwingungsdauer, Frequenz, Winkelgeschwindigkeit, Amplitude, Elongation</li> <li>• Rückstellkraft, Federpendel, Federkonstante, Fadenpendel</li> </ul>	

- Schwingungsgleichung, Koeffizientenvergleich
- gekoppelte Oszillatoren, Welle, Medium, Transversalwelle, Longitudinalwelle, Wellental, Wellenberg, Wellengeschwindigkeit, Ausbreitungsgeschwindigkeit
- Huygens'sches Prinzip, Wellenstrahlen, Wellenfronten, Elementarwelle, Überlagerung
- Reflexion, stehende Welle, loses Ende, festes Ende, Schwingungsknoten, Schwingungsbauch
- Beugung, (konstruktive und destruktive) Interferenz, Interferenzmuster, Wegunterschied, Hyperbel, Interferenzminimum, Interferenzmaximum
- Dopplereffekt
- Brechung, Chladni-Figur, Resonanz, Resonanzkörper, Resonanzkatastrophe
- gedämpfte Schwingung, Dämpfung, Zeigerdiagramm, Schwebung, Wellenpaket, Fourier-Analyse, Fourier-Transformation, akustische Unschärfe

### Formeln

- $f = \frac{1}{T}$ ;  $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ ;  $v = \lambda \cdot f$
- $v(t) = \dot{s}(t)$ ;  $a(t) = \dot{v}(t) = \ddot{s}(t)$ ;  $m \cdot a = m \cdot \ddot{s} = F$ ;  $F = -D \cdot \Delta s$
- $y(t) = \check{y} \cdot \sin(\omega t)$ ;  $\dot{y}(t) = \omega \cdot A \cdot \cos(\omega t)$ ;  $\ddot{y}(t) = -\omega^2 \cdot A \cdot \sin(\omega t)$
- $\omega = \sqrt{\frac{l}{g}}$ ;  $\omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$
- $n \cdot \lambda = L$

### Weitere Hinweise

-

## 2. Qualifikationsphase I

<b>Thema: Ladungen und Felder</b>	
<b>Grundlegendes Anforderungsniveau (45 Stunden)</b>	
<b>Verbindliche Inhalte</b>	<b>Kompetenzen: Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• elektrische Ladung</li> <li>• geladene Körper</li> <li>• Influenz</li> <li>• Kräfte zwischen Ladungen</li> <li>• Abschirmung elektrischer Felder</li> <li>• elektrische Feldstärke</li> <li>• Potential, Spannung und potentielle Energie</li> <li>• Feldlinien, Äquipotentiallinien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• interpretieren Experimente zum Nachweis elektrischer Ladungen.</li> <li>• beschreiben die Kräfte zwischen und innerhalb von geladenen Körpern.</li> <li>• Erläutern den Zusammenhang von Kraft und elektrischer Feldstärke.</li> <li>• beschreiben den Zusammenhang von potentieller Energie einer Ladung und dem Potential im elektrischen Feld.</li> <li>• skizzieren elektrische Felder mittels Feld- und Äquipotentiallinien.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Millikanversuch, Elementarladung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern den Millikanversuch und werten ihn aus</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewegungen im homogenen elektrischen Feld</li> <li>• Beschleunigung und Ablenkung von Ladungen im homogenen elektrischen Feld</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• analysieren die Bewegung geladener Teilchen im homogenen elektrischen Feld.</li> <li>• berechnen die Geschwindigkeit von beschleunigten Ladungen mit Hilfe des Energiesatzes.</li> <li>• vergleichen die Bewegungen im homogenen elektrischen Feld mit denen im Gravitationsfeld (freier Fall, waagerechter und senkrechter Wurf).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coulomb'sches Gesetz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden das Coulomb'sche Gesetz an und vergleichen es mit dem Gravitationsgesetz.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• magnetische Feldstärke</li> <li>• Lorentzkraft</li> <li>• homogenes Magnetfeld</li> <li>• Nachweis von Magnetfeldern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen das Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters und einer stromdurchflossenen Spule dar.</li> <li>• beschreiben und berechnen die Kräfte auf elektrische Leiter und bewegte Ladungen im Magnetfeld.</li> <li>• erläutern den Zusammenhang zwischen Kraft und magnetischer Feldstärke.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewegungen von Ladungen in homogenen Magnetfeldern</li> <li>• e/m-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr</li> <li>• Anwendungen elektrischer und magnetischer Felder: Braun'sche Röhre, Kreisbeschleuniger, Massenspektrometer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analysieren die Bewegung geladener Teilchen in homogenen Magnetfeldern.</li> <li>• erläutern den Fadenstrahlrohr-Versuch zur Bestimmung von e/m und werten ihn aus.</li> <li>• erläutern technische Anwendungen, in denen Ladungen beschleunigt bzw. abgelenkt werden.</li> </ul>

<b>Erhöhtes Anforderungsniveau (55 Stunden)</b>	
<b>Zusätzliche verbindliche Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• dielektrische Polarisierung</li> <li>• Eigenschaften des Plattenkondensators: Kapazität, gespeicherte Ladungsmenge, gespeicherte Energie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• berechnen Kapazität und gespeicherte elektrische Energie eines Plattenkondensators.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hall-Effekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären den Hall-Effekt und führen entsprechende Berechnungen durch.</li> <li>• erklären die Funktionsweise einer Hallsonde zur Messung der magnetischen Feldstärke.</li> </ul>
<b>Optionale Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flächenladungsdichte</li> <li>• Grundgleichung des elektrischen Feldes</li> <li>• elektrische Feldkonstante <math>\epsilon_0</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nennen die Grundgleichung des elektrischen Feldes und wenden sie auf geeignete Fragestellungen an.</li> <li>• bestimmen die elektrische Feldkonstante.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oszilloskop</li> <li>• Lissajous-Figuren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären die Funktionsweise eines Oszilloskops.</li> <li>• erklären die Entstehung von Lissajous-Figuren.</li> </ul>
<b>Physikalische Modelle und Konzepte</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zur Unterscheidung der Energie von der elektrischen Feldstärke wird für die Energie das Formelzeichen <math>W</math> verwendet.</li> <li>• Die in dieser Einheit behandelten Definitionen und Modellvorstellungen von elektrischem Potential und elektrischer Spannung sollten den Definitionen und Modellvorstellungen aus der Mittelstufe gegenüber gestellt werden. Hierbei spielt die Bedeutung elektrischer Energie eine zentrale Rolle.</li> <li>• Bei der Behandlung von Influenz bietet sich die Herleitung der Grundgleichung des elektrischen Feldes sowie die Bestimmung der elektrischen Feldkonstante an. Das Coulomb'sche Gesetz erhält man dann sehr einfach über den Gauß'schen Satz.</li> </ul>	
<b>Mögliche Experimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wattebausch im Feld zweier Konduktorkugeln</li> <li>• <a href="#">Applet zu elektrischen Feldern</a></li> <li>• Torsionswaage zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Kraft und elektrischer Feldstärke</li> <li>• <a href="#">Experimente zur Kapazität eines Plattenkondensators</a></li> <li>• <a href="#">Applet zum Millikan-Versuch</a></li> <li>• Elektrofeldmeter zur Messung von elektrischen Feldstärken</li> <li>• Stromwaage zur quantitativen Untersuchung der Lorentzkraft auf einen geraden Leiter</li> <li>• Fadenstrahlrohr zur e/m-Bestimmung</li> <li>• Experimente mit der Braun'schen Röhre (Ablenkröhre)</li> <li>• Messungen von Magnetfeldern mit einer Hallsonde</li> <li>• <a href="#">Auf- und Entladevorgänge bei Kondensatoren.</a></li> </ul>	



### Wortschatz

- elektrische Ladung, Coulomb, elektrisches Feld, elektrische Feldlinie, elektrische Feldstärke, elektrische Kraft/Wechselwirkung
- elektrischer Strom, Stromstärke, Ampère
- elektrisches Potential, Äquipotentialflächen, Äquipotentiallinien, elektrische Spannung, Volt
- Plattenkondensator, **Kapazität, Farad, Dielektrikum, dielektrische Polarisierung, elektrischer Dipol**
- Influenz, **Grundgleichung des elektrischen Feldes, Flächenladungsdichte, elektrische Feldkonstante, Dielektrizitätskonstante**
- Coulomb-Kraft, Coulomb-Feld, radialsymmetrisches Feld, Coulomb-Potential
- Millikanversuch, Elementarladung, Elektron, Viskosität, Stoke'sche Reibung, Ladungsquantelung
- Magnetfeld, magnetische Feldlinien, magnetische Kraft/Wechselwirkung, Spule, Helmholtz-Spule
- Lorentzkraft, Dreifingerregel, Linke-Hand-Regel, Stromwaage
- Ablenkröhre, Braun'sche Röhre, Elektrode, Kathode, Anode, Elektronenkanone, Fadenstrahlrohr, Massenspektrometer, Kreisbeschleuniger
- **Hall-Effekt, Hall-Sonde, Hall-Spannung**
- **Oszilloskop, Oszillograph, Lissajous-Figur**

### Formeln

- $I = \frac{Q}{t}$ ;  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ ;  $W = q \cdot E \cdot s$ ;  $\varphi = \frac{W_{pot}}{q}$ ;  $U = \Delta\varphi = E \cdot s$ ;  $W = q \cdot U$
- $\frac{Q}{A} = \epsilon_0 E$
- $C = \frac{Q}{U} = \frac{1}{\epsilon_r \epsilon_0} \cdot \frac{A}{d}$ ;  $W = \frac{1}{2} C U^2$
- $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$ ;  $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$ ;  $\varphi = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$ ;  $W_{pot} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{r}$
- $F_L = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha$ ;  $F_L = e \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$
- $U_H = b \cdot v \cdot B$ ;  $U_H = \frac{R_H \cdot I \cdot B}{d}$

### Weitere Hinweise

-

<b>Thema: Elektrodynamik</b>	
<b>Erhöhtes Anforderungsniveau (25 Stunden)</b>	
<b>Verbindliche Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Magnetfeld einer Spule</li> <li>• Induktionsgesetz</li> <li>• Wirbelströme</li> <li>• Induktivität einer Spule</li> <li>• Selbstinduktion</li> <li>• Anwendungen der Induktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern das Induktionsgesetz.</li> <li>• analysieren technische Anwendungen der Induktion.</li> <li>• berechnen die magnetische Feldstärke um einen Leiter und in einer Spule.</li> <li>• berechnen die Induktivität einer Spule.</li> <li>• erläutern das zeitliche Verhalten einer Spule im Stromkreis.</li> </ul>
<b>Optionale Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maxwell-Gleichungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen als Induktionserscheinung.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auf- und Entladen eines Kondensators</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben Auf- und Entladung eines Kondensators.</li> <li>• führen Berechnungen durch und lösen Differentialgleichungen.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• elektrische Schwingkreise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären die Vorgänge in einem elektrischen Schwingkreis.</li> <li>• führen Berechnungen durch und lösen Differentialgleichungen.</li> </ul>
<b>Physikalische Modelle und Konzepte</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	
<b>Mögliche Experimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	
<b>Wortschatz</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	
<b>Formeln</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	
<b>Weitere Hinweise</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die weitere Ausarbeitung dieses Abschnitts erfolgt, wenn Physik als Profulfach unterrichtet wird.</li> </ul>	

<b>Thema: Welleneigenschaften des Lichts</b>	
<b>Grundlegendes Anforderungsniveau (15 Stunden)</b>	
<b>Verbindliche Inhalte</b>	<b>Kompetenzen: Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beugung, Huygens'sches Prinzip</li> <li>• Interferenzphänomene: Doppelspalt, Gitter, Einfachspalt, dünne Schichten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• untersuchen Interferenzphänomene experimentell.</li> <li>• erklären Wellenphänomene des Lichts, indem sie Analogien zu mechanischen oder akustischen Phänomenen nutzen.</li> <li>• erklären mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips die Entstehung von optischen Interferenzmustern.</li> <li>• berechnen die Lage von Maxima und Minima bei Beugung an Doppelspalt und Gitter.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kohärenz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Voraussetzungen für Interferenz unter Berücksichtigung von Kohärenz.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Farben und Töne</li> <li>• diskrete und kontinuierliche Spektren</li> <li>• elektromagnetisches Spektrum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• analysieren die Spektren verschiedener Lichtquellen (Glühlampen, Laserpointer, LED) und bestimmen die Wellenlängen der Spektren.</li> <li>• ordnen den Farben der Spektren die entsprechenden Wellenlängen zu.</li> </ul>
<b>Erhöhtes Anforderungsniveau (20 Stunden)</b>	
<b>Zusätzliche verbindliche Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beugung an Einfachspalt und Gitter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• berechnen die Lage von Maxima und Minima bei Beugung an Einfachspalt und an dünnen Schichten.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polarisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• untersuchen Polarisationsphänomene experimentell.</li> </ul>
<b>Optionale Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensitätsverlauf bei Beugung am Gitter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären den Intensitätsverlauf durch Überlagerung der Beugungsmuster von Gitter und Einzelspalt.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beugung an einer CD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• analysieren Beugungsphänomene an einer CD.</li> </ul>
<b>Physikalische Modelle und Konzepte</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zur Veranschaulichung sollte auf Modellvorstellungen aus der Einheit „Schwingungen und Wellen“ zurückgegriffen werden.</li> </ul>	
<b>Mögliche Experimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interferenz an Gitter, Spalt und Doppelspalt: Aufnahme und Analyse von Spektren verschiedener Lichtquellen (Glühlampe, Laserpointer, LED), auch als Schülerexperiment</li> <li>• Vielstrahinterferenz an Seifenblasen oder Ölfilmen</li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Beugung an einer CD</b></li> <li>• <b>Experimente mit Polarisationsfiltern</b></li> </ul>
<p><b>Wortschatz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Licht, elektromagnetische Welle, (diskretes und kontinuierliches) Spektrum, elektromagnetisches Spektrum</li> <li>• Welle, Wellenberg, Wellental, Wellenlänge, Frequenz, Lichtgeschwindigkeit, Amplitude, Intensität</li> <li>• Spalt, Einzelspalt, Einfachspalt, Doppelspalt</li> <li>• Elementarwelle, Huygens'sches Prinzip</li> <li>• Beugung, Beugungsmuster, (konstruktive und destruktive), Interferenz, Interferenzmuster, Intensitätsverlauf, Wegunterschied, Maximum, Interferenzmaximum, Minimum, Interferenzminimum, Hauptmaximum, Nebenmaximum, n-te Ordnung, Breite des Hauptmaximums (nullter Ordnung)</li> <li>• dünne Schicht, Vielstrahlinterferenz</li> <li>• <b>Transversalwelle, lineare und zirkulare Polarisation, polarisiertes Licht, Polarisationsfilter, Schwingungsebene</b></li> <li>• Kohärenz, kohärentes Licht, Phase, Phasenunterschied, Phasenbeziehung</li> </ul>
<p><b>Formeln</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>c = \lambda \cdot f</math>; <math>n \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha</math>; <math>(n + \frac{1}{2}) \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha</math>; <math>\tan \alpha = \frac{D}{L}</math></li> </ul>
<p><b>Weitere Hinweise</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>

<b>Thema: Quantenphysik des Lichts</b>	
<b>Grundlegendes Anforderungsniveau (25 Stunden)</b>	
<b>Verbindliche Inhalte</b>	<b>Kompetenzen: Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Photoeffekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die experimentellen Befunde zum Photoeffekt.</li> <li>• erklären den Photoeffekt mit den Teilcheneigenschaften des Lichts.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Röntgenstrahlung</li> <li>• Bragg-Reflexion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• interpretieren die Entstehung der Röntgenbremsstrahlung.</li> <li>• erklären die Bragg-Reflexion und führen entsprechende Berechnungen durch.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eigenschaften von Photonen: Energie, Masse, Impuls</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben das Verhalten von Licht mit Hilfe von Photoneneigenschaften.</li> </ul>
<b>Optionale Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Compton-Effekt</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>erklären und berechnen Impulsüberträge und Wellenlängenänderung beim Compton-Effekt.</b></li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Photonensegel</li> <li>• Kometenschweif</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären und berechnen den Photonensegel-Antrieb.</li> <li>• erklären die Krümmung eines Kometenschweifs.</li> </ul>
<b>Physikalische Modelle und Konzepte</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die statistische Interpretation des Welle-Teilchen-Dualismus erfolgt im Zusammenhang mit den Materiewellen.</li> </ul>	
<b>Mögliche Experimente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein Elektroskop zeigt den Photoeffekt bei einer negativ geladenen Zinkplatte an</li> <li>• Quantitative bzw. halbquantitative Experimente mit einer Photozelle zur Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums</li> <li>• Aufnahme eines Röntgenspektrum; Bragg-Reflexion an einem LiF-Kristall; Umkehrung des Photoeffekts</li> <li>• Grenzspannung von Leuchtdioden; Umkehrung des Photoeffekts</li> <li>• Lichtmühle</li> </ul>	
<b>Wortschatz</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Photoeffekt, Lichtquant, Photon, Energiequantelung, Einstein'sches Postulat</li> <li>• Photozelle, Photokathode, Ringanode, Austrittsarbeit, Planck'sches Wirkungsquantum, Gegenspannung, Gegenfeldmethode, Grenzspannung, Grenzfrequenz, Photostrom</li> <li>• Röntgenröhre, Kupferanode, Geiger-Müller-Zählrohr, Zählrate, Bremsstrahlung, Röntgenstrahlung, Röntgenlicht, Röntgenphoton, Umkehrung des Photoeffekts, Grenzwellenlänge, kurzwellige Grenze, charakteristische Röntgenstrahlung</li> <li>• Bragg-Reflexion, Bragg-Bedingung, Vielstrahlinterferenz, Einkristall, LiF-Kristall, Gitternetzebenen, Gitteratome, Gitterabstand, Glanzwinkel</li> <li>• Compton-Effekt, Compton-Streuung, quasifreies Elektron, Impulsübertrag, elastischer Stoß</li> <li>• Sonnensegel, Photonensegel, Solarsegel, Lichtmühle, Kometenschweif</li> </ul>	
<b>Formeln</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>c = \lambda \cdot f</math>; <math>E = h \cdot f</math>; <math>E_{kin} = h \cdot f - W_A</math>; <math>E_{kin} = h \cdot f + W_Q</math>; <math>p = \frac{h}{\lambda}</math>; <math>E = c \cdot p</math>; <math>n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \vartheta</math></li> </ul>	
<b>Weitere Hinweise</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	

### 3. Qualifikationsphase II

<b>Thema: Atome und Spektren</b>	
<b>Grundlegendes Anforderungsniveau (30 Stunden)</b>	
<b>Verbindliche Inhalte</b>	<b>Kompetenzen: Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rutherford'sches Atommodell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben das Rutherford'sche Atommodell.</li> <li>• analysieren und berechnen Kreisbewegungen im radialsymmetrischen elektrischen Feld.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissions- und Absorptionsspektren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nutzen Spektren, um Eigenschaften der aussendenden Quelle zu bestimmen.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grenzen des Bohr'schen Atommodells</li> <li>• Linienspektren</li> <li>• Energieniveaus des Wasserstoffatoms</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern Grenzen des Bohr'schen Atommodells.</li> <li>• erläutern die Entstehung von Linienspektren.</li> <li>• berechnen Linienspektren mit Hilfe von vorgegebenen Energieniveaus.</li> </ul>
<b>Erhöhtes Anforderungsniveau (40 Stunden)</b>	
<b>Zusätzliche verbindliche Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieaustausch im radialsymmetrischen Feld: Fluchtgeschwindigkeit, Ionisationsenergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• führen Rechnungen zur Bestimmung von Fluchtgeschwindigkeit und Ionisationsenergie mittels Energiebilanz durch.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drehimpuls und Drehimpulserhaltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären Drehbewegungen unter Nutzung der Drehimpulserhaltung.</li> </ul>
<b>Optionale Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rutherford'scher Streuversuch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben den Rutherford'schen Streuversuch.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dopplerverbreiterung von Spektrallinien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären die Dopplerverbreiterung von Spektrallinien.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balmer-Serie und Balmer-Formel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• berechnen die sichtbaren Linien des Wasserstoffatoms mit Hilfe der Balmer-Formel.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Franck-Hertz-Versuch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären Aufbau und Durchführung des Franck-Hertz-Versuchs und interpretieren die Versuchsergebnisse.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• wasserstoffähnliche Systeme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wenden das Bohr'sche Atommodell auf wasserstoffähnliche Systeme an.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären die Funktionsweise eines Lasers (optische Resonatoren, Besetzungsinversion, erzwungene Emission).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• charakteristische Röntgenstrahlung</li> <li>• Moseley'sches Gesetz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären die Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung.</li> <li>• wenden das Moseley'sche Gesetz an.</li> </ul>

<b>Physikalische Modelle und Konzepte</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• In dieser Einheit werden Atome sowie Wechselwirkungen von Atomen mit Licht und Materie (Elektronenstöße) mit klassischen bzw. halbklassischen Modellvorstellungen beschrieben. Dabei zeigen sich sowohl die Leistungen als auch die Grenzen der klassischen Physik und der entsprechenden Modelle. Diese Einheit ist also eine Brücke zwischen klassischer Physik und Quantenphysik.</li> <li>• Die Behandlung des Franck-Hertz-Versuchs wird empfohlen.</li> </ul>
<b>Mögliche Experimente</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untersuchungen an Linienspektren von Gasdampf lampen</li> <li>• Resonanzabsorption von Licht einer Natriumdampflampe in verdampftem Kochsalz</li> <li>• <b>Franck-Hertz-Versuch</b></li> <li>• <a href="#">Applet zum Franck-Hertz-Versuch</a></li> </ul>
<b>Wortschatz</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rutherford'sches Atommodell, Atomkern, Atomhülle, Proton, Elektron, Neutron, Hüllenelektron, Elektronenbahn, Coulomb-Kraft, Coulomb-Potential, Stabilitätsproblem, Hertz'sche Dipolstrahlung</li> <li>• Drehimpuls, Drehimpulserhaltung, Drehimpulserhaltungssatz, Bahndrehimpuls</li> <li>• Emission, Emissionsspektrum, Emissionslinie, Absorption, Absorptionsspektrum, Absorptionslinie, Resonanzabsorption</li> <li>• <b>Franck-Hertz-Versuch, Franck-Hertz-Röhre, Dreielektrodenröhre, elastische und inelastischer Stoß, Gitter, Gegenspannung</b></li> <li>• Bohr'sches Atommodell, Bohr'sches Postulat, Drehimpulsquantelung, stationäre Bahn, Bohr'scher Radius</li> <li>• Energieniveauschema, Termschema, Zustand, gebundener Zustand, stationärer Zustand, Grundzustand, angeregter Zustand, Anregung, Anregungsenergie, Ionisation, Ionisierungsenergie, Elektronenvolt</li> </ul>
<b>Formeln</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>F_Z = \frac{m v^2}{r}; F_C = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2}; E_{pot} = -\frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r}; F_C = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \cdot \frac{Z \cdot e^2}{r^2}; E_{pot} = -\frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \cdot \frac{Z \cdot e^2}{r}</math></li> <li>• <math>L = m \cdot v \cdot r = p \cdot r; L_1 + L_2 = L'_1 + L'_2</math></li> <li>• <math>L = m v r = n \cdot \frac{h}{2 \pi}; E_n = -\frac{m_e e^4}{8 h^3 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -13,6 eV \cdot \frac{1}{n^2}; \Delta E = E_n - E_m = h \cdot f;</math></li> <li>• <math>f = C \cdot \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right); E_n = -\frac{m_e Z^2 e^4}{8 h^3 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -13,6 eV \cdot Z^2 \cdot \frac{1}{n^2}</math></li> </ul>
<b>Weitere Hinweise</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>

<b>Thema: Quantenphysik der Materie</b>	
<b>Grundlegendes Anforderungsniveau (30 Stunden)</b>	
<b>Verbindliche Inhalte</b>	<b>Kompetenzen: Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiewellen</li> <li>• De-Broglie-Wellenlänge</li> <li>• Bragg-Reflexion</li> <li>• Unschärferelation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• werten Experimente zu den Welleneigenschaften von Elektronen aus (Elektronenbeugungsröhre, Beugung an Spalt und Doppelspalt)</li> <li>• beschreiben, dass Quantenobjekte stets Wellen- und Teilcheneigenschaften aufweisen, sich diese aber nicht unabhängig voneinander beobachten lassen.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orbitale des Wasserstoffatoms</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären die Bedeutung eines Orbitals.</li> </ul>
<b>Erhöhtes Anforderungsniveau (40 Stunden)</b>	
<b>Zusätzliche verbindliche Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• linearer Potentialtopf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verwenden den linearen Potentialtopf als einfaches Atommodell zur Bestimmung quantisierter Energieniveaus.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantenzahlen</li> <li>• Pauli-Prinzip</li> <li>• Aufbau des Periodensystems</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen den Aufbau des Periodensystems mit Hilfe der Quantenzahlen dar.</li> </ul>
<b>Optionale Inhalte</b>	<b>Die Schülerinnen und Schüler ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahnelektron als stehende De-Broglie-Welle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• interpretieren das Bahnelektron des Wasserstoffatoms als stehende De-Broglie-Welle.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debye-Scherrer-Verfahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären die Bragg-Reflexion am polykristallinen Graphit und führen entsprechende Berechnungen durch.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interpretationen der Quantenphysik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern verschiedene Interpretationen der Quantenphysik.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Farbstoffmoleküle</li> <li>• kovalente Bindung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären die Spektren von Farbstoffmolekülen im Rahmen des Potentialtopfmodells und führen entsprechende Berechnungen durch.</li> <li>• erklären die kovalente Bindung im Rahmen des Potentialtopfmodells.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schrödingergleichung</li> <li>• numerische Lösung der Schrödingergleichung</li> <li>• analytische Lösung der Schrödingergleichung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lösen die Schrödingergleichung mit numerischen und analytischen Verfahren (linearer Potentialtopf, radialer Anteil der Schrödingergleichung des Wasserstoffatoms).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tunneleffekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben und erklären den Tunneleffekt.</li> </ul>



<b>Physikalische Modelle und Konzepte</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eine qualitative Behandlung der Fourier-Transformation kann als Grundlage für das Verständnis von Wellenpaketen dienen. Die Heisenberg'sche Unschärferelation folgt dann aus der akustischen Unschärfe.</li> <li>• Der Welle-Teilchen-Dualismus wird im Rahmen der Kopenhagener Deutung interpretiert: Das Amplitudenquadrat der Wellenfunktion ist ein Maß für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Quantenobjekts.</li> <li>• Es sollte darauf hingewiesen werden, dass die Phasengeschwindigkeit <math>u = \lambda \cdot f</math> von Materiewellen im Allgemeinen größer als die Lichtgeschwindigkeit ist, dass es sich hierbei aber nicht um die Geschwindigkeit der Wellenpaketes bzw. des Quantenobjekts handelt.</li> </ul>
<b>Mögliche Experimente</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektronenbeugung in der Elektronenbeugungsröhre</li> <li>• Untersuchungen am virtuellen Doppelspalt (Doppelspalt.exe)</li> </ul>
<b>Wortschatz</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiewelle, De-Broglie-Wellenlänge, De-Broglie-Beziehung, Welle-Teilchen-Dualismus</li> <li>• Elektronenbeugung, Elektronenbeugungsröhre, polykristallines Graphit, Debye-Scherrer-Verfahren, Bragg-Reflexion, Gitternetzebene, Beugungsring</li> <li>• Wellenfunktion, Wahrscheinlichkeitswelle, statistische Interpretation, Kopenhagener Deutung, Aufenthaltswahrscheinlichkeit, Heisenberg'sche Unschärferelation</li> <li>• linearer Potentialtopf, Potentialwand, Potentialbarriere, stehende Welle, Energieniveauschema, Termschema, Grundzustand, angeregter Zustand</li> <li>• Orbital, Orbitalmodell, Wasserstofforbitale</li> <li>• Farbstoffmolekül, kovalente Bindung, Tunneleffekt, Tunnelwahrscheinlichkeit</li> <li>• Schrödingergleichung, Differentialgleichung, Differentialoperator, Hamilton-Funktion, numerisches Verfahren, iteratives Verfahren</li> <li>• Quantenzahl, Hauptquantenzahl, Nebenquantenzahl, Orientierungsquantenzahl, Bahndrehimpuls, Spin, Elektronenspin, Eigendrehimpuls, Spinquantenzahl, Pauli-Prinzip, Periodensystem der Elemente, Schale, Schalenmodell</li> </ul>
<b>Formeln</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\lambda = \frac{h}{p}</math>; <math>n \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha</math>; <math>(n + \frac{1}{2}) \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha</math>; <math>\tan \alpha = \frac{D}{L}</math>; <math>n \cdot \lambda = 2 d \cdot \sin \vartheta</math></li> <li>• <math>\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}</math>; <math>n \cdot \lambda = L</math>; <math>E_n = \frac{h^2}{8 m_e l^2} \cdot n^2</math>; <math>E_n = -\frac{m_e e^4}{8 h^3 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -13,6 eV \cdot \frac{1}{n^2}</math></li> <li>• <math>-\frac{\hbar^2}{2 m_e} \cdot \frac{d^2}{dx^2} \psi(x) + E_{pot} \psi(x) = E \psi(x)</math>; <math>\psi''(x) + \frac{8 \pi^2 m_e}{h^2} \cdot (E - E_{pot}) \psi(x) = 0</math></li> </ul>
<b>Weitere Hinweise</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>

#### **4. Wahl- und Vertiefungsthemen (optional, 15-20 Stunden)**

- **Referate zu ausgewählten Themen der Physik**

**Mögliche Themen:**

- Elektronenmikroskop
- Laser
- Kernspintomographie
- Kernfusionsreaktoren
- Kernfusion in Sternen
- Polarlichter
- Teilchenbeschleuniger (Ringbeschleuniger, Linearbeschleuniger)
- etc.

- **Spezielle Relativitätstheorie**

**Mögliche Inhalte:**

- Gleichzeitigkeit
- Zeitdilatation
- Längenkontraktion
- dynamische Masse
- Masse-Energie-Äquivalenz
- Ausblick in die allgemeine Relativitätstheorie
- etc.

- **Astronomie und Astrophysik**

**Mögliche Inhalte:**

- 

- **Kernphysik**

**Mögliche Inhalte:**

-

## 5. Verschiedenes

### 5.1 Hinweis zur Zeitabschätzung der Unterrichtseinheiten

Kontingenzstundentafel:

	E	Q1	Q2
Grundlegendes Anforderungsniveau	3	3	3
Erhöhtes Anforderungsniveau	3	4	4

Aus der Kontingenzstundentafel folgt eine untere Abschätzung für die Anzahl der zur Verfügung stehenden Unterrichtsstunden in den einzelnen Jahrgängen:

	E	Q1	Q2
Grundlegendes Anforderungsniveau	90	90	75
Erhöhtes Anforderungsniveau	90	120	100

Die Zeitabschätzungen der einzelnen Unterrichtseinheiten ist als Orientierungshilfe zu verstehen. In Q2 ergibt sich demzufolge ein zeitlicher Spielraum für ein Wahlthema, welches jedoch nicht verbindlich ist. Es ist auch möglich, die verbindlichen Themen entsprechend zu vertiefen.

### 5.2 Klausuren

	E	Q1	Q2
Grundlegendes Anforderungsniveau	2	2	2
	2	2	2
		2	2
Erhöhtes Anforderungsniveau	2	2	6
	2	2	
		4	