

# **Schulinterner Lehrplan zum Kernlehrplan für die gymnasiale Oberstufe**

## **Physik**

**Gültig bei Eintritt in die Oberstufe im Schuljahr 2022/23  
oder später.**

**(Stand 14.06.2023)**

# Inhalt

	Seite
<b>1 Die Fachgruppe Physik am Städtischen Willibrord-Gymnasium</b>	<b>3</b>
<b>2 Entscheidungen zum Unterricht</b>	<b>5</b>
2.1 Unterrichtsvorhaben	5
2.1.1 <i>Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben</i>	7
2.1.2 <i>Konkretisierte Unterrichtsvorhaben</i>	13
2.1.2.1 <i>Einführungsphase</i>	13
2.1.2.2 <i>Qualifikationsphase: Grundkurs</i>	17
2.1.2.3 <i>Qualifikationsphase: Leistungskurs</i>	27
2.2 Grundsätze der fachmethodischen und fachdidaktischen Arbeit im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe	39
2.3 Grundsätze der Leistungsbewertung und Leistungsrückmeldung	41
2.3.1 <i>Grundsätze im Präsenzunterricht</i>	41
2.3.2 <i>Grundsätze im Distanzunterricht</i>	45
2.4 Lehr- und Lernmittel	46
<b>3 Entscheidungen zu fach- und unterrichtsübergreifenden Fragen</b>	<b>49</b>
<b>4 Qualitätssicherung und Evaluation</b>	<b>50</b>

# **1 Die Fachgruppe Physik am Städtischen Willibrord-Gymnasium**

Das Willibrord-Gymnasium ist das einzige Gymnasium der Stadt. Es ist eine ländlich gelegene Schule mit großem Einzugsbereich (Stadtgebiet und den zugehörigen Ortschaften) und hat eine entsprechend heterogene Schülerschaft, was den sozialen und ethnischen Hintergrund betrifft. Das Willibrord-Gymnasium ist eine Ganztagschule.

Die Sekundarstufe I ist in der Regel drei- bis vierzügig. In der Einführungsphase werden meist ein bis zwei parallele Grundkurse eingerichtet, aus denen sich für die Q-Phase typischerweise zwei Grundkurse und gelegentlich ein Leistungskurs entwickeln.

Der Unterricht findet im 45-Minuten-Takt statt, die Kursblockung sieht grundsätzlich für Grundkurse mindestens eine, für Leistungskurse zwei Doppelstunden vor.

Für den Physikunterricht stehen dem Willibrord-Gymnasium Emmerich zwei Experimentierräume sowie ein Hörsaal zur Verfügung. Die Fachräume sind mit Smartboards (inkl. Internetanschluss) ausgestattet. Eine umfangreiche Physiksammlung hält für die verschiedenen, inhaltlichen Bereiche diverse (Demonstrations-) Experimente vor, so dass viele der obligatorischen Experimente in der Qualifikationsphase real durchgeführt werden können. Ferner stehen zwei Computerräume zur Verfügung. Zudem sind die Schülerinnen und Schüler mit iPads ausgestattet.

Der grafikfähige Taschenrechner wird in der Einführungsphase eingeführt und kann bei Auswertungen von Messreihen eingesetzt werden.

Den im Schulprogramm ausgewiesenen Zielen, Schülerinnen und Schüler ihren Begabungen und Neigungen entsprechend individuell zu fördern und ihnen Orientierung für ihren weiteren Lebensweg zu bieten, fühlt sich die Fachgruppe Physik in besonderer Weise verpflichtet:

Durch ein fachliches Förderprogramm unter Einbeziehung von Schülerinnen und Schülern („Schüler helfen Schülern“), begleitet durch individuelle Gespräche der Lehrkräfte und dort getroffene Lernvereinbarungen, werden Schülerinnen und Schüler mit Übergangs- und Lernschwierigkeiten intensiv unterstützt.

Schülerinnen und Schüler aller Klassen- und Jahrgangsstufen werden zur Teilnahme an Wettbewerben im Fach Physik angehalten und, wo erforderlich, begleitet.

Für den Fachunterricht aller Stufen besteht Konsens darüber, dass wo immer möglich physikalische Fachinhalte mit Lebensweltbezug vermittelt werden. Für die Sekundarstufe I gibt es dazu verbindliche Absprachen mit anderen Fachgruppen, wie z. B. Chemie und Mathematik.

In der Sekundarstufe II kann verlässlich darauf aufgebaut werden, dass die Verwendung von Kontexten im Physikunterricht bekannt ist.

## 2 Entscheidungen zum Unterricht

### 2.1 Unterrichtsvorhaben

Die Darstellung der Unterrichtsvorhaben im schulinternen Lehrplan besitzt den Anspruch, sämtliche im Kernlehrplan angeführten Kompetenzen. Dies entspricht der Verpflichtung jeder Lehrkraft, Lerngelegenheiten für ihre Lerngruppe so anzulegen, dass alle Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans von den Schülerinnen und Schülern erworben werden können.

Die entsprechende Umsetzung erfolgt auf zwei Ebenen: der Übersichts- und der Konkretisierungsebene.

Im „Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben“ (Kapitel 2.1.1) wird gemäß Fachkonferenzbeschluss die Verteilung der Unterrichtsvorhaben dargestellt. Das Übersichtsraster dient dazu, den Kolleginnen und Kollegen einen schnellen Überblick über die Zuordnung der Unterrichtsvorhaben zu den einzelnen Jahrgangsstufen sowie den im Kernlehrplan genannten Kompetenzen, Inhaltsfeldern und inhaltlichen Schwerpunkten sowie in der Fachkonferenz verabredeten verbindlichen Kontexten zu verschaffen. Um Klarheit für die Lehrkräfte herzustellen und die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, werden in der Kategorie „Kompetenzen“ an dieser Stelle nur die übergeordneten Kompetenzerwartungen ausgewiesen, während die konkretisierten Kompetenzerwartungen erst auf der Ebene konkretisierter Unterrichtsvorhaben Berücksichtigung finden. Während der Fachkonferenzbeschluss zum „Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben“ einschließlich der dort genannten Kontexte zur Gewährleistung vergleichbarer Standards sowie zur Absicherung von Lerngruppenübertritten und Lehrkraftwechseln für alle Mitglieder der Fachkonferenz Bindekraft entfalten soll, besitzt die exemplarische Ausweisung „konkreter Unterrichtsvorhaben“ (Kapitel 2.1.2, Tabellenspalte 3) empfehlenden Charakter, es sei denn, die Verbindlichkeit bestimmter Aspekte ist dort, markiert durch Fettdruck, explizit angegeben. Insbesondere Referendarinnen und Referendaren sowie neuen Kolleginnen und Kollegen dienen die konkretisierten Unterrichtsvorhaben vor allem zur standardbezogenen Orientierung in der neuen Schule, aber auch zur Verdeutlichung von unterrichtsbezogenen fachgruppeninternen Absprachen zu didaktisch-methodischen Zugängen, fächerübergreifenden Kooperationen, Lernmitteln und -orten sowie vorgesehenen Leistungsüberprüfungen, die im Einzelnen auch den Kapiteln 2.2 bis 2.4 zu entnehmen sind. Abweichungen von den empfohlenen Vorgehensweisen bezüglich der konkretisierten Unterrichtsvorhaben sind im Rahmen der pädagogischen Freiheit der Lehrkräfte jederzeit möglich. Sicherzustellen bleibt allerdings auch hier, dass im Rahmen der Umsetzung der Unter-

richtsvorhaben insgesamt alle Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans Berücksichtigung finden.

## 2.1.1 Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben

Unterrichtsvorhaben der Einführungsphase		
Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
<p><i>Physik in Verkehr und Sport</i></p> <p>Wie lassen sich Bewegungen beschreiben, vermessen und analysieren?</p> <p>Wie lassen sich Ursachen von Bewegungen erklären?</p>	<p><i>Grundlagen der Mechanik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kinematik: gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegung; freier Fall; waagerechter Wurf; vektorielle Größen</li> <li>Dynamik: Newton'sche Gesetze; beschleunigende Kräfte; Kräftegleichgewicht; Reibungskräfte</li> </ul>	<p>E7 Arbeits- und Denkweisen K4 Argumentation E5 Auswertung E6 Modelle UF2 Auswahl</p>
<p><i>Superhelden und Crashtests – Erhaltungssätze in verschiedenen Situationen</i></p> <p>Wie lassen sich mit Erhaltungssätzen Bewegungsvorgänge vorhersagen und analysieren?</p>	<p><i>Grundlagen der Mechanik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Erhaltungssätze: Impuls; Energie (Lage-, Bewegungs- und Spannenergie); Energiebilanzen; Stoßvorgänge</li> </ul>	<p>E7 Arbeits- und Denkweisen K4 Argumentation E6 Modelle</p>
<p><i>Bewegung im Weltall Weltraum</i></p> <p>Wie bewegen sich die Planeten im Sonnensystem?</p> <p>Wie lassen sich aus (himmlischen) Beobachtungen Gesetze ableiten?</p>	<p><i>Kreisbewegung und Gravitation und physikalische Weltbilder</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kreisbewegung: gleichförmige Kreisbewegung, Zentripetalkraft</li> <li>Gravitation: Schwerkraft, Newton'sches Gravitationsgesetz, Kepler'sche Gesetze, Gravitationsfeld</li> <li>Wandel physikalischer Weltbilder: geo- und heliozentrische Weltbilder;</li> </ul>	<p>UF4 Vernetzung E3 Hypothesen E6 Modelle E7 Arbeits- und Denkweisen</p>
<p><i>Weltbilder in der Physik</i></p> <p>Revolutioniert die Physik unsere Sicht auf die Welt?</p>	<p><i>Physikalische Weltbilder</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Grundprinzipien der speziellen Relativitätstheorie, Zeitdilatation</li> </ul>	<p>UF4 Vernetzung E3 Hypothesen E6 Modelle E7 Arbeits- und Denkweisen</p>

### Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase – GRUNDKURS

Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
-----------------------	---	-----------------------

<p><i>Periodische Vorgänge in alltäglichen Situationen</i></p> <p>Wie lassen sich zeitlich und räumlich periodische Vorgänge am Beispiel von harmonischen Schwingungen sowie mechanischen Wellen beschreiben und erklären?</p>	<p><i>Klassische Wellen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Federpendel</li> <li>• Mechanische harmonische Schwingungen und Wellen</li> <li>• Polarisierung von Wellen</li> </ul>	<p>E7 Arbeits- und Denkweisen K4 Argumentation E5 Auswertung</p>
<p><i>Beugung und Interferenz von Wellen – ein neues Lichtmodell</i></p> <p>Wie kann man Ausbreitungsphänomene von Licht beschreiben und erklären?</p>	<p><i>Klassische Wellen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Huygens'sches Prinzip</li> <li>• Reflexion, Brechung, Beugung, Superposition und Polarisation von Wellen</li> </ul>	<p>E2 Wahrnehmung und Messung E5 Auswertung K3 Präsentation</p>
<p><i>Erforschung des Elektrons</i></p> <p>Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden?</p>	<p><i>Geladene Teilchen in Feldern</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Magnetische und elektrische Felder</li> <li>• Elektrische Spannung</li> <li>• Magnetische Flussdichte</li> <li>• Bahnformen von geladenen Teilchen in homogenen Feldern</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe UF3 Systematisierung E5 Auswertung E6 Modelle</p>
<p><i>Photonen und Elektronen als Quantenobjekte</i></p> <p>Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?</p>	<p><i>Quantenobjekte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teilchenaspekte von Photonen: Energiequantelung von Licht, Photoeffekt</li> <li>• Wellenaspekt von Elektronen: De-Broglie-Wellenlänge, Interferenz von Elektronen am Doppelspalt</li> <li>• Photon und Elektron als Quantenobjekte: Wellen- und Teilchenmodell, Kopenhagener Deutung</li> </ul>	<p>E6 Modelle E7 Arbeits- und Denkweisen K4 Argumentation B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><i>Energieversorgung und Transport mit Generatoren und Transformatoren</i></p> <p>Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden?</p>	<p><i>Elektrodynamik und Energieübertragung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• magnetischer Fluss, elektromagnetische Induktion, Induktionsgesetz; Wechselspannung</li> <li>• Generator, Transformator</li> </ul>	<p>UF2 Auswahl UF4 Vernetzung E2 Wahrnehmung und Messung E5 Auswertung E6 Modelle K3 Präsentation B1 Kriterien</p>



<p><i>Anwendungsbereiche des Kondensators</i></p> <p>Wie kann man Energie in elektrischen Systemen speichern?</p> <p>Wie kann man elektrische Schwingungen erzeugen?</p>	<p><i>Elektrodynamik und Energieübertragung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auf- und Entladevorgang am Kondensator</li> <li>• elektromagnetische Schwingungen</li> </ul>	<p>UF4 Vernetzung E5 Auswertung B1 Kriterien</p>
<p><i>Mensch und Strahlung – Chancen und Risiken ionisierender Strahlung</i></p> <p>Wie wirkt ionisierende Strahlung auf den menschlichen Körper?</p>	<p><i>Strahlung und Materie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ionisierende Strahlung</li> <li>• Geiger-Müller-Zählrohr</li> <li>• biologische Wirkungen</li> <li>• Spektrum der elektromagnetischen Strahlung</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe B3 Werte und Normen B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>
<p><i>Erforschung des Mikro- und Makrokosmos</i></p> <p>Wie lassen sich aus Spektralanalysen Rückschlüsse auf die Struktur von Atomen ziehen?</p>	<p><i>Strahlung und Materie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Linienspektrum</li> <li>• Energieniveauschema</li> <li>• Kern- Hülle-Modell</li> <li>• Röntgenstrahlung</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe E5 Auswertung E2 Wahrnehmung</p>
<p><i>Massendefekt und Kernumwandlung</i></p> <p>Wie lassen sich energetische Bilanzen bei Umwandlungs- und Zerfallsprozessen quantifizieren?</p> <p>Wie entsteht ionisierende Strahlung?</p>	<p><i>Strahlung und Materie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nukleonen</li> <li>• Zerfallsprozesse und -fusion</li> </ul>	<p>UF3 Systematisierung E6 Modelle</p>

Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase – LEISTUNGSKURS		
Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
<p><i>Untersuchung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern</i></p> <p>Wie lassen sich Kräfte auf bewegte Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern beschreiben?</p> <p>Wie können Ladungen und Masse eines Elektrons bestimmt werden?</p>	<p><i>Ladungen und Felder</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ladungen, elektrische Felder, elektrische Feldstärke; Coulomb'sches Gesetz, elektrisches Potential, elektrische Spannung, Kondensator und Kapazität; magnetische Felder, magnetische Flussdichte</li> <li>geladene Teilchen in elektrischen Längs- und Querfeldern; Lorentzkraft</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe UF3 Systematisierung E5 Auswertung E6 Modelle</p>
<p><i>Massenspektrometer und Zyklotron als Anwendung in der physikalischen Forschung</i></p> <p>Welche weiterführende Anwendungen von bewegten Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern gibt es in Forschung und Technik?</p>	<p><i>Ladungen, Felder und Induktion</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bewegungen in Feldern: geladene Teilchen in elektrischen Längs- und Querfeldern; Lorentzkraft; geladene Teilchen in gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldern</li> </ul>	<p>UF2 Auswahl UF4 Vernetzung UF3 Systematisierung</p>
<p><i>Die elektromagnetische Induktion als Grundlage für die Kopplung elektrischer und magnetischer Felder und als Element von Energieumwandlungsketten</i></p> <p>Wie kann elektrische Energie gewonnen und im Alltag bereits gestellt werden?</p>	<p><i>Induktion</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Elektromagnetische Induktion: magnetischer Fluss, Induktionsgesetz, Lenz'sche Regel; Selbstinduktion, Induktivität</li> </ul>	<p>UF2 Auswahl UF4 Vernetzung E2 Wahrnehmung und Messung E5 Auswertung E6 Modelle K3 Präsentation B1 Kriterien</p>
<p><i>Zeitliche und energetische Betrachtungen bei Kondensator und Spule</i></p> <p>Wie speichern elektrische und magnetische Felder Energie und wie geben sie diese wieder ab?</p>	<p><i>Ladungen, Felder und Induktion</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kondensator und Kapazität</li> <li>Induktivität</li> </ul>	<p>UF4 Vernetzung E5 Auswertung B1 Kriterien</p>

<p><i>Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und deren Eigenschaften</i></p> <p>Welche Analogien gibt es zwischen mechanischen und elektromagnetischen schwingenden Systemen?</p>	<p><i>Schwingende Systeme</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Harmonische Schwingungen und ihre Kenngrößen</li> <li>• Federpendel, Fadenpendel, Resonanz, Schwingkreis, Hertz'scher Dipol</li> </ul>	<p>E7 Arbeits- und Denkweisen K4 Argumentation E5 Auswertung</p>
<p><i>Wellen und Interferenzphänomene</i></p> <p>Warum kam es im 17. Jh. zu einem Streit über das Licht/die Natur des Lichts?</p> <p>Ist für die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen ein Trägermedium notwendig? (Gibt es den „Äther“?)</p>	<p><i>Wellen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Huygens'sches Prinzip, Reflexion, Brechung, Beugung; Polarisierung und Superposition von Wellen;</li> <li>• Michelson-Interferometer</li> </ul>	<p>E7 Arbeits- und Denkweisen K4 Argumentation E5 Auswertung</p>
<p><i>Quantenphysik als Weiterentwicklung des physikalischen Weltbildes</i></p> <p>Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?</p>	<p><i>Quantenphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teilchenaspekte von Photonen: Energiequantelung von Licht, Photoeffekt, Bremsstrahlung</li> <li>• Photonen und Elektronen als Quantenobjekte: Doppelspaltexperiment, Bragg-Reflexion, Elektronenbeugung; Wahrscheinlichkeitsinterpretation, Delayed-Choice-Experiment; Kopenhagener Deutung</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe UF3 Systematisierung E5 Auswertung E6 Modelle E7 Arbeits- und Denkweisen K4 Argumentation</p>
<p><i>Struktur der Materie</i></p> <p>Wie hat sich unsere Vorstellung vom Aufbau der Materie historisch bis heute entwickelt?</p>	<p><i>Atom- und Kernphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atomaufbau: Atommodelle, eindimensionaler Potentialtopf, Energieniveauschema; Röntgenstrahlung</li> <li>• Radioaktiver Zerfall: Kernaufbau</li> </ul>	<p>E6 Modelle B4 Möglichkeiten und Grenzen E7 Arbeits- und Denkweisen</p>
<p><i>Mensch und Strahlung - Chancen und Risiken ionisierender Strahlung</i></p> <p>Welche Auswirkungen haben ionisierende Strahlung auf den Menschen und wie kann man sich davor schützen?</p> <p>Wie nutzt man die ionisierende Strahlung in der</p>	<p><i>Atom- und Kernphysik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atomaufbau: Röntgenstrahlung</li> <li>• Ionisierende Strahlung: Strahlungsarten, Nachweismöglichkeiten ionisierender Strahlung, Eigenschaften ionisierender Strahlung, Absorption ionisierender Strahlung</li> </ul>	<p>UF1 Wiedergabe B3 Werte und Normen B4 Möglichkeiten und Grenzen</p>

Medizin?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radioaktiver Zerfall: Zerfallsreihen, Halbwertszeit</li> </ul>	
<i>Massendefekt und Kernumwandlung</i>  Wie kann man natürliche Kernumwandlung beschreiben und wissenschaftlich nutzen? Welche Möglichkeiten der Energiegewinnung ergeben sich durch Kernumwandlungen in Natur und Technik?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radioaktiver Zerfall: Zerfallsreihen, Zerfallsgesetz, Halbwertszeit; Altersbestimmung</li> <li>• Kernspaltung und -fusion: Bindungsenergien, Massendefekt; Kettenreaktion</li> </ul>	UF3 Systematisierung E6 Modelle

## 2.1.2 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben

### 2.1.2.1 Einführungsphase

#### Inhaltsfeld: *Mechanik*

**Leitfragen:** *Wie lassen sich Bewegungen beschreiben, vermessen und analysieren?*

*Wie lassen sich Ursachen von Bewegungen erklären?*

*Wie lassen sich mit Erhaltungssätzen Bewegungsvorgänge vorhersagen und analysieren?*

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium Empfehlung
<p>Kinematik: gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegung;</p> <p>freier Fall; waagerechter Wurf; vektorielle Größen</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• erläutern die Größen Ort, Strecke, Geschwindigkeit, Beschleunigung und ihre Beziehungen zueinander an unterschiedlichen Beispielen (S1, K4),</li><li>• unterscheiden gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen und erklären zugrunde liegende Ursachen auch am waagerechten Wurf (S2, S3, S7),</li><li>• stellen Bewegungszustände durch Komponentenzerlegung bzw. Vektoraddition dar (S1, S7, K7),</li><li>• planen selbstständig Experimente zur quantitativen und qualitativen Untersuchung einfacher Bewegungen (E5, S5),</li><li>• interpretieren die Messdatenauswertung von Bewegungen unter qualitativer Berücksichtigung von Messunsicherheiten (E7, S6, K9),</li><li>• ermitteln anhand von Messdaten und Diagrammen funktionale Beziehungen zwischen mechanischen Größen (E6, E4, S6, K6),</li><li>• bestimmen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen mithilfe mathematischer Verfahren und digitaler Werkzeuge (E4, S7),</li><li>• beurteilen die Güte digitaler Messungen von Bewegungsvorgängen mithilfe geeigneter Kriterien (B4, B5, E7, K7).</li></ul>	<p>Digitale Videoanalyse (z.B. mit <i>VIANA</i>, <i>Tracker</i>) von Bewegungen im Sport (Fahrradfahrt o. anderes Fahrzeug, Sprint, Flug von Bällen)</p> <p>Luftkissenfahrbahn mit digitaler Messwerterfassung: Messreihe zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung</p> <p>Freier Fall und Bewegung auf einer schiefen Ebene</p> <p>Wurfbewegungen Basketball, Korbwurf, Abstoß beim Fußball, günstigster Winkel</p>

<p>Dynamik: Newton'sche Gesetze Kräfte und Bewegung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Größen Beschleunigung, Masse, Kraft, und ihre Beziehungen zueinander an unterschiedlichen Beispielen (S1, K4),</li> <li>• analysieren in verschiedenen Kontexten Bewegungen qualitativ und quantitativ anhand wirkender Kräfte (S1, S3, K7),</li> <li>• stellen Bewegungs- und Gleichgewichtszustände durch Komponentenzerlegung bzw. Vektoraddition dar (S1, S7, K7),</li> <li>• erklären mit den Newton'schen Gesetzen Bewegungen (S1, E2, K4),</li> <li>• erläutern qualitativ die Auswirkungen von Reibungskräften bei realen Bewegungen (S1, S2, K4).</li> <li>• untersuchen Bewegungen mithilfe des Newton'schen Kraftgesetzes (E4, K4),</li> <li>• begründen die Auswahl relevanter Größen bei der Analyse von Bewegungen (E3, E8, S5, K4),</li> </ul>	<p>Luftkissenfahrbahn mit digitaler Messwerterfassung: Messung der Beschleunigung eines Körpers in Abhängigkeit von der beschleunigenden Kraft Protokolle: Funktionen und Anforderungen</p>
<p>Erhaltungssätze: Impuls und Energie</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Größen Geschwindigkeit, Masse, Kraft, Energie, Leistung, Impuls und ihre Beziehungen zueinander an unterschiedlichen Beispielen (S1, K4),</li> <li>• beschreiben eindimensionale Stoßvorgänge mit Impuls- und Energieübertragung (S1, S2, K3),</li> <li>• analysieren in verschiedenen Kontexten Bewegungen qualitativ und quantitativ aus energetischer Sicht (S1, S3, K7),</li> <li>• erklären mithilfe von Erhaltungssätzen Bewegungen (S1, E2, K4),</li> <li>• untersuchen Bewegungen mithilfe von Erhaltungssätzen (E4, K4),</li> <li>• begründen die Auswahl relevanter Größen bei der Analyse von Bewegungen (E3, E8, S5, K4),</li> <li>• bewerten Ansätze aktueller und zukünftiger Mobilitätsentwicklung unter den Aspekten Sicherheit und mechanischer Energiebilanz (B6, K1, K5),</li> <li>• bewerten die Darstellung bekannter vorrangig mechanischer Phänomene in verschiedenen Medien bezüglich ihrer Relevanz und Richtigkeit (B1, B2, K2, K8).</li> </ul>	<p>Sportvideos, Unfälle, Aktionfilme Luftkissenfahrbahn mit digitaler Messwerterfassung: Messreihen zu elastischen und unelastischen Stößen</p>

## Inhaltsfeld: *Kreisbewegung, Gravitation und physikalische Weltbilder*

**Leitfrage:** *Wie bewegen sich die Planeten im Sonnensystem?  
Wie lassen sich aus (himmlischen) Beobachtungen Gesetze ableiten?  
Revolutioniert die Physik unsere Sicht auf die Welt?*

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium Empfehlung
gleichförmige Kreisbewegung, Zentripetalkraft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Bedeutung von Bezugssystemen bei der Beschreibung von Bewegungen (S2, S3, K4),</li> <li>• interpretieren Messergebnisse aus Experimenten zur quantitativen Untersuchung der Zentripetalkraft (E4, E6, S6, K9),</li> </ul>	<p>Messung der Zentralkraft</p> <p>An dieser Stelle sollen das experimentell-erkundende Verfahren und das deduktive Verfahren zur Erkenntnisgewinnung am Beispiel der Herleitung der Gleichung für die Zentripetalkraft als zwei wesentliche Erkenntnismethoden der Physik bearbeitet werden.</p>
Newton'sches Gravitationsgesetz, Gravitationsfeld Kepler'sche Gesetze	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deuten eine vereinfachte Darstellung des Cavendish-Experiments qualitativ als direkten Nachweis der allgemeinen Massenanziehung (E3, E6),</li> <li>• ermitteln mithilfe der Kepler'schen Gesetze und des Newton'schen Gravitationsgesetzes astronomische Größen (E4, E8),</li> </ul>	<p>Drehbare Sternkarte und aktuelle astronomische Tabellen</p> <p>Animationen zur Darstellung der Planetenbewegungen</p>
geo- und heliozentrische Weltbilder; Grundprinzipien der speziellen Relativitätstheorie, Zeitdilatation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen Änderungen bei der Beschreibung von Bewegungen der Himmelskörper beim Übergang vom geozentrischen Weltbild zu modernen physikalischen Weltbildern auf der Basis zentraler astronomischer Beobachtungsergebnisse dar (S2, K1, K3, K10),</li> <li>• erläutern die Bedeutung der Invarianz der Lichtgeschwindigkeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie (S2, S3, K4),</li> <li>• erläutern die Bedeutung von Bezugssystemen bei der Beschreibung von Bewegungen (S2, S3, K4),</li> <li>• erklären mit dem Gedankenexperiment der Lichtuhr unter Verwendung grundlegender Prinzipien der speziellen Relativitätstheorie das Phänomen der Zeitdilatation zwischen bewegten</li> </ul>	<p>Arbeit mit dem Lehrbuch, Recherche im Internet</p>

	<p>Bezugssystemen qualitativ und quantitativ (S3, S5, S7).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ziehen das Ergebnis des Gedankenexperiments der Lichtuhr zur Widerlegung der absoluten Zeit heran (E9, E11, K9, B1).</li> <li>• ordnen die Bedeutung des Wandels vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild für die Emanzipation der Naturwissenschaften von der Religion ein (B8, K3),</li> <li>• beurteilen Informationen zu verschiedenen Weltbildern und deren Darstellungen aus unterschiedlichen Quellen hinsichtlich ihrer Vertrauenswürdigkeit und Relevanz (B2, K9, K10)</li> </ul>	
--	--	--



### 2.1.2.2 Qualifikationsphase: Grundkurs

#### Inhaltsfeld: *Klassische Wellen und geladene Teilchen in Feldern*

**Leitfragen:** *Wie lassen sich zeitlich und räumlich periodische Vorgänge am Beispiel von harmonischen Schwingungen sowie mechanischen Wellen beschreiben und erklären?*

*Wie kann man Ausbreitungsphänomene von Licht beschreiben und erklären?*

*Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden?*

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium Empfehlung
Periodische Vorgänge in alltäglichen Situationen	<ul style="list-style-type: none"><li>• erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen, deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie deren Zusammenhänge (S1, S3),</li><li>• erläutern am Beispiel des Federpendels Energieumwandlungen harmonischer Schwingungen (S1, S2, K4),</li><li>• erklären mithilfe der Superposition stehende Wellen (S1, E6, K3),</li><li>• erläutern die lineare Polarisation als Unterscheidungsmerkmal von Longitudinal- und Transversalwellen (S2, E3, K8),</li><li>• konzipieren Experimente zur Abhängigkeit der Periodendauer von Einflussgrößen beim Federpendel und werten diese unter Anwendung digitaler Werkzeuge aus (E6, S4, K6),</li><li>• beurteilen Maßnahmen zur Störgeräuschreduzierung hinsichtlich deren Eignung (B7, K1, K5).</li></ul>	
Beugung und Interferenz von Wellen – ein neues Lichtmodell	<ul style="list-style-type: none"><li>• erläutern mithilfe der <b>Wellenwanne</b> qualitativ auf der Grundlage des Huygens'schen Prinzips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz (S1, E4, K6),</li><li>• erläutern die lineare Polarisation als Unterscheidungsmerkmal von Longitudinal- und Transversalwellen (S2, E3, K8),</li></ul>	<b>Lange Schraubenfeder, Wellenwanne</b>

	weisen anhand des Interferenzmusters bei <b>Doppelspalt- und Gitterversuchen</b> mit mono- und polychromatischem Licht die Wellennatur des Lichts nach und bestimmen daraus Wellenlängen (E7, E8, K4).	
Erforschung des Elektrons	<ul style="list-style-type: none"> <li>stellen elektrische Feldlinienbilder von homogenen, Radial- und Dipolfeldern sowie magnetische Feldlinienbilder von homogenen und Dipolfeldern dar (S1, K6),</li> <li>beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte (S2, S3, E6),</li> <li>erläutern am Beispiel des Plattenkondensators den Zusammenhang zwischen elektrischer Spannung und elektrischer Feldstärke im homogenen elektrischen Feld (S3)</li> <li>berechnen Geschwindigkeitsänderungen von Ladungsträgern nach Durchlaufen einer elektrischen Spannung (S1, S3, K3),</li> <li>erläutern am <b>Fadenstrahlrohr</b> die Erzeugung freier Elektronen durch den glühelektrischen Effekt, deren Beschleunigung beim Durchlaufen eines elektrischen Felds sowie deren Ablenkung im homogenen magnetischen Feld durch die Lorentzkraft (S4, S6, E6, K5),</li> <li>entwickeln mithilfe des Superpositionsprinzips elektrische und magnetische Feldlinienbilder (E4, E6),</li> <li>modellieren mathematisch die Beobachtungen am <b>Fadenstrahlrohr</b> und ermitteln aus den Messergebnissen die Elektronenmasse (E4, E9, K7),</li> <li>erläutern Experimente zur Variation elektrischer Einflussgrößen und deren Auswirkungen auf die Bahnformen von Ladungsträgern in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern (E2, K4),</li> <li>schließen aus der statistischen Auswertung einer vereinfachten Version des <b>Millikan-Versuchs</b> auf die Existenz einer kleinsten Ladung (E3, E11, K8),</li> </ul>	<p>e/m-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr und Helmholtzspulenpaar auch Ablenkung des Strahls mit Permanentmagneten (Lorentzkraft) evtl. Stromwaage (bei hinreichend zur Verfügung stehender Zeit) Messung der Stärke von Magnetfeldern mit der Hallsonde</p> <p>schwebender Wattebausch Millikanversuch Schwebefeldmethode (keine Stokes'sche Reibung) Auch als Simulation möglich</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden eine Messmethode zur Bestimmung der magnetischen Flussdichte an (E3, K6),</li> <li>• erschließen sich die Funktionsweise des <b>Zyklotrons</b> auch mithilfe von Simulationen (E1, E10, S1, K1),</li> </ul> <p>beurteilen die Schutzwirkung des Erdmagnetfeldes gegen den Strom geladener Teilchen aus dem Weltall</p>	
--	--	--

## Inhaltsfeld: *Quantenobjekte*

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

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium Empfehlung
Photonen und Elektronen als Quantenobjekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern anhand eines <i>Experiments zum Photoeffekt</i> den Quantencharakter von Licht (S1, E9, K3),</li> <li>• stellen die Lichtquanten- und De-Broglie-Hypothese sowie deren Unterschied zur klassischen Betrachtungsweise dar (S1, S2, E8, K4),</li> <li>• wenden die De-Broglie-Hypothese an, um das Beugungsbild beim <i>Doppelspaltversuch mit Elektronen</i> quantitativ zu erklären (S1, S5, E6, K9),</li> <li>• erläutern die Determiniertheit der Zufallsverteilung der diskreten Energieabgabe beim Doppelspaltexperiment mit stark intensitätsreduziertem Licht (S3, E6, K3),</li> <li>• berechnen Energie und Impuls über Frequenz und Wellenlänge für Quantenobjekte (S3),</li> <li>• erklären an geeigneten Darstellungen die Wahrscheinlichkeitsinterpretation für Quantenobjekte (S1, K3), erläutern bei Quantenobjekten die „Welcher-Weg“-Information als Bedingung für das Auftreten oder Ausbleiben eines Interferenzmusters in einem Interferenzexperiment (S2, K4),</li> <li>• leiten anhand eines <i>Experiments zum Photoeffekt</i> den Zusammenhang von Energie, Wellenlänge und Frequenz von Photonen ab (E6, S6),</li> </ul>	Computersimulation Doppelspalt Photoeffekt

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• untersuchen mithilfe von Simulationen das Verhalten von Quantenobjekten am Doppelspalt (E4, E8, K6, K7), (MKR 1.2)</li> <li>• beurteilen an Beispielen die Grenzen und Gültigkeitsbereiche von Wellen- und Teilchenmodellen für Licht und Elektronen (E9, E11, K8),</li> <li>• erläutern die Problematik der Übertragbarkeit von Begriffen aus der Anschauungswelt auf Quantenobjekte (B1, K8),</li> <li>• stellen die Kontroverse um den Realitätskopenhagener Deutung dar (B8, K9),</li> <li>• beschreiben anhand quantenphysikalischer Betrachtungen die Grenzen der physikalischen Erkenntnisfähigkeit (B8, E11, K8).</li> </ul>	
--	---	--

## Inhaltsfeld: *Elektrodynamik und Energieübertragung*

**Leitfragen:** *Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden?*  
*Wie kann man Energie in elektrischen Systemen speichern?*  
*Wie kann man elektrische Schwingungen erzeugen?*

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium Empfehlung
Energieversorgung und Transport mit Generatoren und Transformatoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern das Auftreten von Induktionsspannungen am Beispiel der <b>Leiterschaukel</b> durch die Wirkung der Lorentzkraft auf bewegte Ladungsträger (S3, S4, K4),</li> <li>• führen Induktionserscheinungen bei einer <b>Leiterschleife</b> auf die zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte oder die zeitliche Änderung der durchsetzten Fläche zurück (S1, S2, K4),</li> <li>• beschreiben das Induktionsgesetz mit der mittleren Änderungsrate und in differentieller Form des magnetischen Flusses (S7),</li> <li>• untersuchen die gezielte Veränderung elektrischer Spannungen und Stromstärken durch <b>Transformatoren</b> mithilfe angeleiteter Experimente als Beispiel für die technische Anwendung der Induktion (S1, S4, E6, K8),</li> <li>• erklären am physikalischen <b>Modellexperiment zu Freileitungen</b> technologische Prinzipien der Bereitstellung und Weiterleitung von elektrischer Energie (S1, S3, K8),</li> <li>• interpretieren die mit einem <b>Oszilloskop bzw. Messwerterfassungssystem</b> aufgenommenen Daten bei elektromagnetischen Induktions- und Schwingungsversuchen unter Rückbezug auf die experimentellen Parameter (E6, E7, K9),</li> <li>• modellieren mathematisch das Entstehen von Induktionsspannungen für die beiden Spezialfälle einer zeitlich konstanten Fläche und einer zeitlich konstanten magnetischen Flussdichte (E4, E6, K7),</li> <li>• erklären das Entstehen von sinusförmigen Wechselspannungen in <b>Generatoren</b> mithilfe des Induktionsgesetzes (E6, E10, K3,</li> </ul>	<p>bewegter Leiter im (homogenen) Magnetfeld - „Leiterschaukelversuch“</p> <p>Messung von Spannungen mit diversen Spannungsmessgeräten (nicht nur an der Leiterschaukel)</p> <p>Gedankenexperimente zur Überführungsarbeit, die an einer Ladung verrichtet wird.</p> <p>Deduktive Herleitung der Beziehung zwischen U, v und B</p> <p>Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen, Filme und Applets zum Generatorprinzip</p> <p>Experimente mit drehenden Leiterschleifen in (näherungsweise homogenen) Magnetfeldern, Wechselstromgeneratoren</p> <p>Messung und Registrierung von Induktionsspannungen mit Oszilloskop und digitalem Messwerterfassungssystem</p> <p>diverse „Netzteile“ von Elektro-Kleingeräten (mit klassischem Transformator)</p> <p>Demo-Aufbautransformator mit geeigneten Messgeräten</p> <p>ruhende Induktionsspule in wechselstromdurchflossener Feldspule - mit Messwerterfassungssystem zur zeitaufgelösten Registrierung der Induktionsspannung und des zeitlichen Verlaufs der Stärke des magnetischen Feldes</p> <p>Modellexperiment (z.B. mit Hilfe von Aufbautransforma-</p>

	<p>K4),</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen Hypothesen zum Verhalten des Rings beim <b>Thomson'schen Ringversuch</b> bei Zunahme und Abnahme des magnetischen Flusses im Ring auf und erklären diese mithilfe des Induktionsgesetzes (E2, E9, S3, K4, K8),</li> <li>• beurteilen ausgewählte Beispiele zur Energiebereitstellung und -umwandlung unter technischen und ökologischen Aspekten (B3, B6, K8, K10)</li> <li>• beurteilen das Potential der Energierückgewinnung auf der Basis von Induktionsphänomenen bei elektrischen Antriebssystemen (B7, K2).</li> </ul>	<p>toren) zur Energieübertragung und zur Bestimmung der „Ohm'schen Verluste“ bei der Übertragung elektrischer Energie bei unterschiedlich hohen Spannungen</p> <p>Freihandexperiment: Untersuchung der Relativbewegung eines aufgehängten Metallrings und eines starken Stabmagneten</p> <p>Thomson'scher Ringversuch</p> <p>diverse technische und spielerische Anwendungen, z.B. Dämpfungselement an einer Präzisionswaage, Wirbelstrombremse, „fallender Magnet“ im Alu-Rohr.</p>
Anwendungsbereiche des Kondensators	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die Kapazität als Kenngröße eines Kondensators und bestimmen diese für den Spezialfall des Plattenkondensators in Abhängigkeit seiner geometrischen Daten (S1, S3),</li> <li>• erläutern qualitativ die bei einer elektromagnetischen Schwingung in der Spule und am Kondensator ablaufenden physikalischen Prozesse (S1, S4, E4),</li> <li>• untersuchen den <b>Auf- und Entladevorgang bei Kondensatoren</b> unter Anleitung experimentell (S4, S6, K6),</li> <li>• modellieren mathematisch den zeitlichen Verlauf der Stromstärke bei <i>Auf- und Entladevorgängen bei Kondensatoren</i> (E4, E6, S7),</li> <li>• interpretieren den Flächeninhalt zwischen Graph und Abszissenachse im <i>Q-U-Diagramm</i> als Energiegehalt des Plattenkondensators (E6, K8),</li> <li>• beurteilen den Einsatz des Kondensators als Energiespeicher in ausgewählten alltäglichen Situationen (B3, B4, K9).</li> </ul>	
Streuung von Elektronen an Festkörpern, de Broglie-Wellenlänge	<p>erläutern die Aussage der de Broglie-Hypothese, wenden diese zur Erklärung des Beugungsbildes beim <i>Elektronenbeugungsexperiment</i> an und bestimmen die Wellenlänge der Elektronen (UF1, UF2, E4).</p>	<p><b>Experiment zur Elektronenbeugung an polykristallinem Graphit</b></p>

## Inhaltsfeld: *Strahlung und Materie*

**Leitfragen:** *Wie wirkt ionisierende Strahlung auf den menschlichen Körper?*

*Wie lassen sich aus Spektralanalysen Rückschlüsse auf die Struktur von Atomen ziehen?*

*Wie lassen sich energetische Bilanzen bei Umwandlungs- und Zerfallsprozessen quantifizieren?*

*Wie entsteht ionisierende Strahlung?*

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium Empfehlung
Mensch und Strahlung – Chancen und Risiken ionisierender Strahlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• unterscheiden <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>-, <math>\gamma</math>- Strahlung, Röntgenstrahlung und Schwerionenstrahlung als Arten ionisierender Strahlung (S1),</li> <li>• ordnen verschiedene Frequenzbereiche dem elektromagnetischen Spektrum zu (S1, K6),</li> <li>• erläutern den Aufbau und die Funktionsweise des <b>Geiger-Müller-Zählrohrs</b> als Nachweisgerät für ionisierende Strahlung (S4, S5, K8),</li> <li>• untersuchen experimentell anhand der Zählraten bei <b>Absorptionsexperimenten</b> unterschiedliche Arten ionisierender Strahlung (E3, E5, S4, S5),</li> <li>• begründen wesentliche biologisch-medizinische Wirkungen ionisierender Strahlung mit deren typischen physikalischen Eigenschaften (E6, K3),</li> <li>• quantifizieren mit der Größe der effektiven Dosis die Wirkung ionisierender Strahlung und bewerten daraus abgeleitete Strahlenschutzmaßnahmen (E8, S3, B2).</li> <li>• bewerten die Bedeutung hochenergetischer Strahlung hinsichtlich der Gesundheitsgefährdung sowie ihres Nutzens bei medizinischer Diagnose und Therapie (B5, B6, K1, K10).</li> </ul>	<p>Recherche</p> <p>Absorptionsexperimente zu <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>-, <math>\gamma</math>-Strahlung</p> <p>Ggf. Einsatz von Videos</p>



<p>Erforschung des Mikro- und Makrokosmos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären die Energie emittierter und absorbierter Photonen am Beispiel von Linienspektren leuchtender Gase und Fraunhofer'scher Linien mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (S1, S3, E6, K4),</li> <li>• beschreiben die Energiewerte für das Wasserstoffatom mithilfe eines quantenphysikalischen Atommodells (S2),</li> <li>• interpretieren die Orbitale des Wasserstoffatoms als Veranschaulichung der Nachweiswahrscheinlichkeiten für das Elektron (S2, K8),</li> <li>• erklären die Entstehung von <b>Bremsstrahlung</b> und <b>charakteristischer Röntgenstrahlung</b> (S3, E6, K4),</li> <li>• interpretieren die Bedeutung von <b>Flammenfärbung und Linienspektren bzw. Spektralanalyse</b> für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E6, E10),</li> <li>• interpretieren die Messergebnisse des <b>Franck-Hertz-Versuchs</b> (E6, E8, K8),</li> <li>• erklären das <b>charakteristische Röntgenspektrum</b> mit den Energieniveaus der Atomhülle (E6),</li> <li>• identifizieren vorhandene Stoffe in der Sonnen- und Erdatmosphäre anhand von Spektraltafeln des <b>Sonnenspektrums</b> (E3, E6, K1),</li> <li>• stellen an der historischen Entwicklung der Atommodelle die spezifischen Eigenschaften und Grenzen naturwissenschaftlicher Modelle heraus (B8, E9).</li> </ul>	<p>Literaturrecherche, Schulbuch</p> <p>Erzeugung von Linienspektren mithilfe von Gasentladungslampe</p> <p>Franck-Hertz-Versuch</p> <p>Aufnahme von Röntgenspektren (kann mit interaktiven Bildschirmexperimenten (IBE) oder Lehrbuch geschehen, falls keine Schulröntgeneinrichtung vorhanden ist)</p> <p>Flammenfärbung</p> <p>Darstellung des Sonnenspektrums mit seinen Fraunhoferlinien</p> <p>Spektralanalyse</p>
---	--	--

<p>Massendefekt und Kernumwandlung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern den Begriff der Radioaktivität und zugehörige Kernumwandlungsprozesse auch mithilfe der Nuklidkarte (S1, S2),</li> <li>• wenden das zeitliche Zerfallsgesetz für den radioaktiven Zerfall an (S5, S6, K6),</li> <li>• erläutern qualitativ den Aufbau eines Atomkerns aus Nukleonen, den Aufbau der Nukleonen aus Quarks sowie die Rolle der starken Wechselwirkung für die Stabilität des Kerns (S1, S2),</li> <li>• erläutern qualitativ am <math>\beta^-</math>-Umwandlung die Entstehung der Neutrinos mithilfe der schwachen Wechselwirkung und ihrer Austauschteilchen (S1, S2, K4),</li> <li>• erklären anhand des Zusammenhangs <math>E = \Delta m c^2</math> die Grundlagen der Energiefreisetzung bei Kernspaltung und -fusion über den Massendefekt (S1) (S1),</li> <li>• ermitteln im Falle eines einstufigen radioaktiven Zerfalls anhand der gemessenen Zählraten die Halbwertszeit (E5, E8, S6),</li> <li>• vergleichen verschiedene Vorstellungen von der Materie mit den Konzepten der modernen Physik (B8, K9).</li> </ul>	<p>Nuklidkarte</p> <p>Es z.B. kann auf Internetseiten des CERN und DESY zurückgegriffen werden.</p> <p>Lehrbuch, Animationen</p>
--	---	--

### 2.1.2.3 Qualifikationsphase: Leistungskurs

#### Inhaltsfeld: *Ladungen, Felder und Induktion*

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

*Wie können Ladung und Masse eines Elektrons bestimmt werden?*

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

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

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

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium Empfehlung
	Die Schülerinnen und Schüler...	
Untersuchung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären grundlegende elektrostatische Phänomene mithilfe der Eigenschaften elektrischer Ladungen (S1),</li> <li>• stellen elektrische Feldlinienbilder von homogenen, Radial- und Dipolfeldern sowie magnetische Feldlinienbilder von homogenen und Dipolfeldern dar (S1, K6),</li> <li>• beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte (S2, S3, E6),</li> <li>• erläutern anhand einer einfachen Version des Millikan-Versuchs die grundlegenden Ideen und Ergebnisse zur Bestimmung der Elementarladung (S3, S5, E7, K9)</li> <li>• erläutern die Bestimmung der Elektronenmasse am Beispiel des Fadenstrahlrohrs mithilfe der Lorentzkraft sowie die Erzeugung und Beschleunigung freier Elektronen (S4, S5, S6, E6, K5)</li> <li>• bestimmen mithilfe des Coulomb'schen Gesetzes Kräfte von punktförmigen Ladungen aufeinander sowie resultierende Beträge und Richtungen von Feldstärken (E8, E10, S1, S3),</li> <li>• entwickeln mithilfe des Superpositionsprinzips elektrische und magnetische Feldlinienbilder (E4, E6, K5),</li> <li>• modellieren mathematisch Bahnformen geladener Teilchen in</li> </ul>	<p>einfache Versuche zur Reibungselektrizität – Anziehung / Abstoßung,</p> <p>halbquantitative Versuche mit Hilfe eines Elektrometerverstärkers:</p> <p>Zwei aneinander geriebene Kunststoffstäbe aus unterschiedlichen Materialien tragen betragsmäßig gleiche, aber entgegengesetzte Ladungen, Influenzversuche</p> <p>Skizzen zum prinzipiellen Aufbau des Millikanversuchs, realer Versuchsaufbau oder entsprechende Medien (z. B: RCL (remote control laboratory),</p> <p>einfache Versuche und visuelle Medien zur Veranschaulichung elektrischer Felder im Feldlinienmodell,</p> <p>Plattenkondensator (homogenes E-Feld)</p> <p>evtl. Apparatur zur Messung der Feldstärke gemäß der Definition,</p> <p>Spannungsmessung am Plattenkondensator,</p> <p>Bestimmung der Elementarladung mit dem Millikanversuch</p>

	<p>homogenen elektrischen und magnetischen Längs- und Querfeldern sowie in orthogonal gekreuzten Feldern (E1, E2, E4, S7),</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Untersuchung magnetischer Flussdichten mithilfe des Hall-Effekts (E4, E7, S1, S5)</li> <li>• konzipieren Experimente zur Bestimmung der Abhängigkeit der magnetischen Flussdichte einer langgestreckten stromdurchflossenen Spule von ihren Einflussgrößen (E2, E5),</li> </ul>	<p>Fadenstrahlrohr (zunächst) zur Erarbeitung der Versuchsidee,</p> <p>(z.B.) Stromwaage zur Demonstration der Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld sowie zur Veranschaulichung der Definition der magnetischen Feldstärke,</p> <p>Versuche mit z.B. Oszilloskop, Fadenstrahlrohr, altem (Monochrom-) Röhrenmonitor o. ä. zur Demonstration der Lorentzkraft,</p> <p>Fadenstrahlrohr zur <math>e/m</math> – Bestimmung (das Problem der Messung der magnetischen Feldstärke wird ausgelagert.)</p> <p>Hallsonde, Halleffektgerät,</p> <p>diverse Spulen, deren Felder vermessen werden (insbesondere lange Spulen und Helmholtzspulen),</p> <p>Elektronenstrahlableitkröhre</p> <p>visuelle Medien und Computersimulationen (ggf. RCLs) zum Massenspektrometer, Zyklotron und evtl. weiteren Teilchenbeschleunigern</p>
Massenspektrometer und Zyklotron als Anwendung in der physikalischen Forschung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• modellieren mathematisch Bahnformen geladener Teilchen in homogenen elektrischen und magnetischen Längs- und Querfeldern sowie in orthogonal gekreuzten Feldern (E1, E2, E4, S7),</li> <li>• stellen Hypothesen zum Einfluss der relativistischen Massenzunahme auf die Bewegung geladener Teilchen im Zyklotron auf (E2, E4, S1, K4),</li> <li>• bewerten Teilchenbeschleuniger in Großforschungseinrichtungen im Hinblick auf ihre Realisierbarkeit und ihren gesellschaftlichen Nutzen hin (B3, B4, K1, K7),</li> </ul>	<p>Zyklotron (in einer Simulation mit und ohne Massenveränderlichkeit)</p>

<p>Die elektromagnetische Induktion als Grundlage für die Kopplung elektrischer und magnetischer Felder und als Element von Energieumwandlungsketten</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nutzen das Induktionsgesetz auch in differentieller Form unter Verwendung des magnetischen Flusses (S2, S3, S7),</li> <li>• erklären Verzögerungen bei Einschaltvorgängen sowie das Auftreten von Spannungsschüben bei Ausschaltvorgängen mit der Kenngröße Induktivität einer Spule anhand der Selbstinduktion (S1, S7, E6),</li> <li>• führen die Funktionsweise eines Generators auf das Induktionsgesetz zurück (E10, K4),</li> <li>• begründen qualitative Versuche zur Lenz'schen Regel sowohl mit dem Wechselwirkungs- als auch mit dem Energiekonzept (E2, E9, K3).</li> <li>• identifizieren und beurteilen Anwendungsbeispiele für die elektromagnetische Induktion im Alltag (B6, K8).</li> </ul>	<p>Medien zur Information über prinzipielle Verfahren zur Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie,</p> <p>Bewegung eines Leiters im Magnetfeld - Leiterschaukel,</p> <p>einfaches elektrodynamisches Mikrofon,</p> <p>Gleich- und Wechselspannungsgeneratoren (vereinfachte Funktionsmodelle für Unterrichtszwecke)</p> <p>quantitativer Versuch zur elektromagnetischen Induktion bei Änderung der Feldgröße <math>B</math>, registrierende Messung von <math>B(t)</math> und <math>U_{\text{ind}}(t)</math>,</p> <p>„Aufbau-“ Transformatoren zur Spannungswandlung</p> <p>Modellversuch zu einer „Überlandleitung“ (aus CrNi-Draht) mit zwei „Trafo-Stationen“, zur Untersuchung der Energieverluste bei unterschiedlich hohen Spannungen,</p> <p>Versuch (qualitativ und quantitativ) zur Demonstration der Selbstinduktion (registrierende Messung und Vergleich der Ein- und Ausschaltströme in parallelen Stromkreisen mit rein ohmscher bzw. mit induktiver Last),</p> <p>Versuche zur Demonstration der Wirkung von Wirbelströmen, diverse „Ringversuche“</p>
--	---	--

<p>Zeitliche und energetische Betrachtungen bei Kondensator und Spule</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben qualitativ und quantitativ die Zusammenhänge von Ladung, Spannung und Stromstärke unter Berücksichtigung der Parameter Kapazität und Widerstand bei Lade- und Entladevorgängen am Kondensator auch mithilfe von Differentialgleichungen und deren vorgegebenen Lösungsansätzen (S3, S6, S7, E4, K7),</li> <li>• geben die in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern gespeicherte Energie in Abhängigkeit der elektrischen Größen und der Kenngrößen der Bauelemente an (S1, S3, E2)</li> <li>• prüfen Hypothesen zur Veränderung der Kapazität eines Kondensators durch ein Dielektrikum (E2, E3, S1),</li> <li>• ermitteln anhand von Messkurven zu Auf- und Entladevorgängen bei Kondensatoren sowie zu Ein- und Ausschaltvorgängen bei Spulen zugehörige Kenngrößen (E4, E6, S6),</li> </ul>	<p>diverse Kondensatoren (als Ladungs-/ Energiespeicher),</p> <p>Aufbaukondensatoren mit der Möglichkeit die Plattenfläche und den Plattenabstand zu variieren,</p> <p>statische Voltmeter bzw. Elektrometermessverstärker, Schülerversuche zur Auf- und Entladung von Kondensatoren sowohl mit großen Kapazitäten (Messungen mit Multimeter) als auch mit kleineren Kapazitäten (Messungen mit Hilfe von Messwerterfassungssystemen),</p> <p>Computer oder GTR/CAS-Rechner zur Messwertverarbeitung</p>
---	---	--

## Inhaltsfeld: *Schwingende Systeme und Wellen*

Leitfrage: Welche Analogien gibt es zwischen mechanischen und elektromagnetischen schwingenden Systemen?  
 Warum kam es im 17. Jh. zu einem Streit über das Licht/die Natur des Lichts?  
 Ist für die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen ein Trägermedium notwendig?

Inhalt	Kompetenzen	Experiment / Medium Empfehlung
Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und deren Eigenschaften	<p>Die Schülerinnen und Schüler...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen sowie deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit und deren Zusammenhänge (S1, S3, K4),</li> <li>• vergleichen mechanische und elektromagnetische Schwingungen unter energetischen Aspekten und hinsichtlich der jeweiligen Kenngrößen (S1, S3),</li> <li>• erläutern qualitativ die physikalischen Prozesse bei ungedämpften, gedämpften und erzwungenen mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen (S1, E1),</li> <li>• leiten für das Federpendel und unter Berücksichtigung der Kleinwinkelnäherung für das Fadenpendel aus dem linearen Kraftgesetz die zugehörigen Differentialgleichungen her (S3, S7, E2),</li> <li>• ermitteln mithilfe der Differentialgleichungen und der Lösungsansätze für das ungedämpfte Fadenpendel, die ungedämpfte Federschwingung und den ungedämpften Schwingkreis die Periodendauer sowie die Thomson'sche Gleichung (S3, S7, E8),</li> <li>• beschreiben den Hertz'schen Dipol als (offenen) Schwingkreis (S1, S2, K8),</li> <li>• untersuchen experimentell die Abhängigkeit der Periodendauer und Amplitudenabnahme von Einflussgrößen bei mechanischen und elektromagnetischen harmonischen Schwingungen unter</li> </ul>	

	<p>Anwendung digitaler Werkzeuge (E4, S4),</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• untersuchen experimentell am Beispiel des Federpendels das Phänomen der Resonanz auch unter Rückbezug auf Alltagssituationen (E5, E6, K1),</li> <li>• beurteilen Maßnahmen zur Vermeidung von Resonanzkatastrophen (B5, B6, K2),</li> <li>• unterscheiden am Beispiel von Schwingungen deduktives und induktives Vorgehen als Grundmethoden der Erkenntnisgewinnung (B8, K4)</li> </ul>	
Wellen und Interferenz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Eigenschaften harmonischer mechanischer Schwingungen und Wellen sowie deren Beschreibungsgrößen Elongation, Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit und deren Zusammenhänge (S1, S3, K4),</li> <li>• erläutern mithilfe der Wellenwanne qualitativ auf der Grundlage des Huygens'schen Prinzips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz (S1, E4, K6),</li> <li>• beschreiben mathematisch die räumliche und zeitliche Entwicklung einer harmonischen eindimensionalen Welle (S1, S2, S3, S7),</li> <li>• erklären mithilfe der Superposition stehende Wellen (S1, E6, K3),</li> <li>• erläutern die lineare Polarisierung als Unterscheidungsmerkmal von Longitudinal- und Transversalwellen (S2, E3, K8),</li> <li>• stellen für Einzel-, Doppelspalt und Gitter die Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz und deren quantitative Bestätigung im Experiment für mono- und polychromatisches Licht dar (S1, S3, S6, E6),</li> <li>• erläutern qualitativ die Entstehung eines elektrischen bzw. magnetischen Wirbelfelds bei B- bzw. E-Feldänderung und die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle (S1, K4).</li> <li>• weisen anhand des Interferenzmusters bei Spalt- und Gitterversuchen die Welleneigenschaften des Lichts nach und bestimmen</li> </ul>	Demonstration des Durchgangs eines einzelnen Quantenobjekts durch einen Doppelspalt mithilfe eines Simulationsprogramms und mithilfe von Videos



	<p>daraus die Wellenlänge des Lichts (E5, E6, E7, S6),</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern Aufbau und Funktionsweise des Michelson-Interferometers (E2, E3, S3, K3).</li> <li>• beurteilen die Bedeutung von Schwingkreisen für die Umsetzung des Sender-Empfänger-Prinzips an alltäglichen Beispielen (B1, B4, K1),</li> </ul>	
--	--	--

## Inhaltsfeld: *Quantenobjekte*

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

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium Empfehlung
Quantenphysik als Weiterentwicklung des physikalischen Weltbildes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären den Photoeffekt mit der Einstein'schen Lichtquantenhypothese (S1, S2, E3).</li> <li>• beschreiben den Aufbau und die Funktionsweise der Röntgenröhre (S1),</li> <li>• stellen anhand geeigneter Phänomene dar, dass Licht sowohl Wellen- als auch Teilchencharakter aufweisen kann (S2, S3, E6, K8)</li> <li>• erklären bei Quantenobjekten anhand des Delayed-Choice-Experiments unter Verwendung der Koinzidenzmethode das Auftreten oder Verschwinden eines Interferenzmusters mit dem Begriff der Komplementarität (S1, S5, E3, K3),</li> <li>• erklären am Beispiel von Elektronen die De-Broglie-Hypothese (S1, S3),</li> <li>• berechnen Energie und Impuls über Frequenz und Wellenlänge für Quantenobjekte (S3),</li> <li>• deuten das Quadrat der Wellenfunktion qualitativ als Maß für die Nachweiswahrscheinlichkeitsdichte von Elektronen (S3),</li> <li>• erläutern die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation in der Version der Unmöglichkeit-Formulierung (S2, S3, E7, E11, K4).</li> <li>• interpretieren die experimentellen Befunde zum Photoeffekt hinsichtlich des Widerspruchs zur klassischen Physik (E3, E8, S2, K3),</li> <li>• bestimmen aus den experimentellen Daten eines Versuchs zum Photoeffekt das Planck'sche Wirkungsquantum (E6, S6),</li> <li>• interpretieren das Auftreten der kurzwelligen Grenze des Brems-</li> </ul>	

	<p>strahlungsspektrums (E6, S1),</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären experimentelle Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre mit den Welleneigenschaften von Elektronen (E3, E6),</li> <li>• modellieren qualitativ das stochastische Verhalten von Quantenobjekten am Doppelspalt bei gleichzeitiger Determiniertheit der Zufallsverteilung mithilfe der Eigenschaften der Wellenfunktion (E4, E6, K4).</li> <li>• beurteilen die Problematik der Übertragbarkeit von Begriffen aus der Anschauungswelt auf Quantenobjekte (B1, K8),</li> <li>• stellen die Kontroverse um den Realitätsbegriff der Kopenhagener Deutung dar (B8, K9),</li> <li>• beschreiben anhand quantenphysikalischer Betrachtungen die Grenzen der exakten Vorhersagbarkeit von physikalischen Phänomenen (B8, K8, E11).</li> </ul>	
--	--	--

## Inhaltsfeld: Atom- und Kernphysik

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

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

*Wie nutzt man die ionisierende Strahlung in der Medizin?*

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

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

Inhalt	Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler...	Experiment / Medium Empfehlung
Struktur der Materie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geben wesentliche Beiträge in der historischen Entwicklung der Atommodelle bis zum ersten Kern-Hülle-Modell (Dalton, Thomson, Rutherford) wieder (S2, K3),</li> <li>• erklären die Energie absorbierter und emittierter Photonen mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (S3, E6, K4),</li> <li>• erklären die Entstehung von Bremsstrahlung und charakteristischer Röntgenstrahlung (S3, E6, K4),</li> <li>• beschreiben die Energiewerte für das Wasserstoffatom und wasserstoffähnliche Atome mithilfe eines quantenphysikalischen Atommodells (S2),</li> <li>• erläutern das Modell des eindimensionalen Potentialtopfs und seine Grenzen (S2, K4),</li> <li>• beschreiben anhand des Modells des eindimensionalen Potentialtopfs die Verallgemeinerung eines quantenmechanischen Atommodells hin zu einem Ausblick auf Mehrelektronensysteme unter Verwendung des Pauli-Prinzips (S2, S3, E10),</li> <li>• interpretieren die Orbitale des Wasserstoffatoms als Veranschaulichung der Nachweiswahrscheinlichkeiten für das Elektron (S2, K8),</li> <li>• erläutern qualitativ den Aufbau eines Atomkerns aus Nukleonen, den Aufbau der Nukleonen aus Quarks sowie die Rolle der star-</li> </ul>	um die Erde (Video)

	<p>ken Wechselwirkung für die Stabilität des Kerns (S1, S2, K3),</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>interpretieren Linienspektren bei Emission und Absorption sowie die Ergebnisse des Franck-Hertz-Versuchs mithilfe des Energieniveauschemas (E2, E10, S6),</li> </ul> <p>stellen an der historischen Entwicklung der Atommodelle die spezifischen Eigenschaften und Grenzen naturwissenschaftlicher Modelle heraus (B8, E9),</p>	
Menschen und Strahlung- Chancen und Risiken ionisierender Strahlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>erklären die Entstehung von Bremsstrahlung und charakteristischer Röntgenstrahlung (S3, E6, K4),</li> <li>ordnen verschiedene Frequenzbereiche dem elektromagnetischen Spektrum zu (S1, K6),</li> <li>unterscheiden <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>-, <math>\gamma</math>- Strahlung, Röntgenstrahlung und Schwerionenstrahlung als Arten ionisierender Strahlung (S1),</li> <li>erläutern den Aufbau und die Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs als Nachweisgerät ionisierender Strahlung (S4, S5, K8),</li> <li>erklären die Ablenkbarkeit in elektrischen und magnetischen Feldern sowie Durchdringungs- und Ionisierungsfähigkeit von ionisierender Strahlung mit ihren Eigenschaften (S1, S3),</li> <li>erläutern qualitativ an der <math>\beta</math>-Umwandlung die Entstehung der Neutrinos mithilfe der schwachen Wechselwirkung und ihrer Austauschteilchen (S1, S2, K4).</li> <li>leiten auf der Basis der Definition der Aktivität das Gesetz für den radioaktiven Zerfall einschließlich eines Terms für die Halbwertszeit her (S7, E9),</li> <li>wählen für die Planung von Experimenten mit ionisierender Strahlung zwischen dem Geiger-Müller-Zählrohr und einem energiesensiblen Detektor gezielt aus (E3, E5, S5, S6),</li> <li>konzipieren Experimente zur Bestimmung der Halbwertszeit kurzlebiger radioaktiver Substanzen (E2, E5, S5),</li> <li>quantifizieren mit der Größe der effektiven Dosis die Wirkung ionisierender Strahlung und bewerten daraus abgeleitete Strahlenschutzmaßnahmen (E8, S3, B2).</li> </ul>	<p>Einsteins Fahrstuhl-Gedankenexperiment</p> <p>Das Zwillingsparadoxon (mit Beschleunigungsphasen und Phasen der gleichförmigen Bewegung</p> <p>Film / Video</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>wägen die Chancen und Risiken bildgebender Verfahren in der Medizin unter Verwendung ionisierender Strahlung gegeneinander ab (B1, B4, K3)</li> </ul>	
Massendefekt und Kernumwandlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>beschreiben natürliche Zerfallsreihen sowie künstlich herbeigeführte Kernumwandlungsprozesse (Kernspaltung und -fusion, Neutroneneinfang) auch mithilfe der Nuklidkarte (S1),</li> <li>beschreiben Kernspaltung und Kernfusion mithilfe der starken Wechselwirkung zwischen den Nukleonen auch unter quantitativer Berücksichtigung von Bindungsenergien (S1, S2)</li> <li>bestimmen mithilfe des Zerfallsgesetzes das Alter von Materialien mit der C-14-Methode (E4, E7, S7, K1),</li> <li>bewerten Nutzen und Risiken von Kernspaltung und Kernfusion hinsichtlich der globalen Energieversorgung (B5, B7, K3, K10), diskutieren ausgewählte Aspekte der Endlagerung radioaktiver Abfälle unter Berücksichtigung verschiedener Quellen (B2, B4, K2, K10).</li> </ul>	

## **2.2 Grundsätze der fachmethodischen und fachdidaktischen Arbeit im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe**

In Absprache mit der Lehrerkonferenz sowie unter Berücksichtigung des Schulprogramms hat die Fachkonferenz Physik die folgenden fachmethodischen und fachdidaktischen Grundsätze beschlossen. Die Grundsätze 1 bis 14 beziehen sich auf fachübergreifende Aspekte, die Grundsätze 15 bis 26 sind fachspezifisch angelegt.

### ***Überfachliche Grundsätze:***

- 1.) Geeignete Problemstellungen zeichnen die Ziele des Unterrichts vor und bestimmen die Struktur der Lernprozesse.
- 2.) Inhalt und Anforderungsniveau des Unterrichts entsprechen dem Leistungsvermögen der Schülerinnen und Schüler.
- 3.) Die Unterrichtsgestaltung ist auf die Ziele und Inhalte abgestimmt.
- 4.) Medien und Arbeitsmittel sind lernernah gewählt.
- 5.) Die Schülerinnen und Schüler erreichen einen Lernzuwachs.
- 6.) Der Unterricht fördert und fordert eine aktive Teilnahme der Lernenden.
- 7.) Der Unterricht fördert die Zusammenarbeit zwischen den Lernenden und bietet ihnen Möglichkeiten zu eigenen Lösungen.
- 8.) Der Unterricht berücksichtigt die individuellen Lernwege der einzelnen Schülerinnen und Schüler.
- 9.) Die Lernenden erhalten Gelegenheit zu selbstständiger Arbeit und werden dabei unterstützt.
- 10.) Der Unterricht fördert strukturierte und funktionale Einzel-, Partner- bzw. Gruppenarbeit sowie Arbeit in kooperativen Lernformen.
- 11.) Der Unterricht fördert strukturierte und funktionale Arbeit im Plenum.
- 12.) Die Lernumgebung ist vorbereitet; der Ordnungsrahmen wird eingehalten.
- 13.) Die Lehr- und Lernzeit wird intensiv für Unterrichtszwecke genutzt.
- 14.) Es herrscht ein positives pädagogisches Klima im Unterricht.

### ***Fachliche Grundsätze:***

- 15.) Der Physikunterricht ist problemorientiert und Kontexten ausgerichtet.
- 16.) Der Physikunterricht ist kognitiv aktivierend und verständnisfördernd.
- 17.) Der Physikunterricht unterstützt durch seine experimentelle Ausrichtung Lernprozesse bei Schülerinnen und Schülern.
- 18.) Der Physikunterricht knüpft an die Vorerfahrungen und das Vorwissen der Lernenden an.
- 19.) Der Physikunterricht stärkt über entsprechende Arbeitsformen kommunikative Kompetenzen.

- 20.) Der Physikunterricht bietet nach experimentellen oder deduktiven Erarbeitungsphasen immer auch Phasen der Reflexion, in denen der Prozess der Erkenntnisgewinnung bewusst gemacht wird.
- 21.) Der Physikunterricht fördert das Einbringen individueller Lösungs-ideen und den Umgang mit unterschiedlichen Ansätzen. Dazu gehört auch eine positive Fehlerkultur.
- 22.) Im Physikunterricht wird auf eine angemessene Fachsprache und die Kenntnis grundlegender Formeln geachtet. Schülerinnen und Schüler werden zu regelmäßiger, sorgfältiger und selbstständiger Dokumentation der erarbeiteten Unterrichtsinhalte angehalten.
- 23.) Der Physikunterricht ist in seinen Anforderungen und im Hinblick auf die zu erreichenden Kompetenzen und deren Teilziele für die Schülerinnen und Schüler transparent.
- 24.) Der Physikunterricht bietet immer wieder auch Phasen der Übung und des Transfers auf neue Aufgaben und Problemstellungen.
- 25.) Der Physikunterricht bietet die Gelegenheit zum regelmäßigen wiederholenden Üben sowie zu selbstständigem Aufarbeiten von Unterrichtsinhalten.
- 26.) Im Physikunterricht wird ein GTR verwendet. Die Messwertauswertung kann auf diese Weise oder per PC erfolgen.



## **2.3 Grundsätze der Leistungsbewertung und Leistungsrückmeldung**

### **2.3.1 Grundsätze im Präsenzunterricht**

Auf der Grundlage von § 48 SchulG, § 13 APO-GOST sowie Kapitel 3 des Kernlehrplans Physik hat die Fachkonferenz im Einklang mit dem entsprechenden schulbezogenen Konzept die nachfolgenden Grundsätze zur Leistungsbewertung und Leistungsrückmeldung beschlossen. Die nachfolgenden Absprachen stellen die Minimalanforderungen an das lerngruppenübergreifende gemeinsame Handeln der Fachgruppenmitglieder dar. Bezogen auf die einzelne Lerngruppe kommen ergänzend weitere der in den Folgeabschnitten genannten Instrumente der Leistungsüberprüfung zum Einsatz.

#### **Überprüfungsformen**

In Kapitel 3 des KLP Physik Lehrplan werden Überprüfungsformen angegeben, die Möglichkeiten bieten, Leistungen im Bereich der „sonstigen Mitarbeit“ oder den Klausuren zu überprüfen. Um abzusichern, dass am Ende der Qualifikationsphase von den Schülerinnen und Schülern alle geforderten Kompetenzen erreicht werden, sind alle Überprüfungsformen notwendig. Besonderes Gewicht wird im Grundkurs auf experimentelle Aufgaben und Aufgaben zur Datenanalyse gelegt.

#### **Lern- und Leistungssituationen**

In **Lernsituationen** ist das Ziel der Kompetenzerwerb. Fehler und Umwege dienen den Schülerinnen und Schülern als Erkenntnismittel, den Lehrkräften geben sie Hinweise für die weitere Unterrichtsplanung. Das Erkennen von Fehlern und der konstruktiv-produktive Umgang mit ihnen sind ein wesentlicher Teil des Lernprozesses.

Bei **Leistungs- und Überprüfungssituationen** steht dagegen der Nachweis der Verfügbarkeit der erwarteten bzw. erworbenen Kompetenzen im Vordergrund.

#### **Beurteilungsbereich Sonstige Mitarbeit**

Folgende Aspekte können bei der Leistungsbewertung der sonstigen Mitarbeit eine Rolle spielen (die Liste ist nicht abschließend):

- Sicherheit, Eigenständigkeit und Kreativität beim Anwenden fachspezifischer Methoden und Arbeitsweisen
- Verständlichkeit und Präzision beim zusammenfassenden Darstellen und Erläutern von Lösungen einer Einzel-, Partner-, Gruppenarbeit oder einer anderen Sozialform sowie konstruktive Mitarbeit bei dieser Arbeit
- Klarheit und Richtigkeit beim Veranschaulichen, Zusammenfassen und Beschreiben physikalischer Sachverhalte
- sichere Verfügbarkeit physikalischen Grundwissens (z. B. physikalische Größen, deren Einheiten, Formeln, fachmethodische Verfahren)
- situationsgerechtes Anwenden geübter Fertigkeiten
- angemessenes Verwenden der physikalischen Fachsprache
- konstruktives Umgehen mit Fehlern
- fachlich sinnvoller, sicherheitsbewusster und zielgerichteter Umgang mit Experimentalmedien
- fachlich sinnvoller und zielgerichteter Umgang mit Modellen, Hilfsmitteln und Simulationen
- zielgerichtetes Beschaffen von Informationen
- Erstellen von nutzbaren Unterrichtsdokumentationen, ggf. Portfolio
- Klarheit, Strukturiertheit, Fokussierung, Zielbezogenheit und Adressatengerechtigkeit von Präsentationen, auch mediengestützt
- sachgerechte Kommunikationsfähigkeit in Unterrichtsgesprächen und Kleingruppenarbeiten
- Einbringen kreativer Ideen
- fachliche Richtigkeit bei kurzen, auf die Inhalte weniger vorangegangener Stunden beschränkten schriftlichen Überprüfungen

## **Beurteilungsbereich Klausuren**

Verbindliche Absprache:

Die Aufgaben für Klausuren in parallelen Kursen werden im Vorfeld abgesprochen und nach Möglichkeit gemeinsam gestellt.

Für Aufgabenstellungen mit experimentellem Anteil gelten die Regelungen, die in Kapitel 3 des KLP formuliert sind.

Dauer und Anzahl richten sich nach den Angaben der APO-GOST.

Einführungsphase:

2 Klausuren im ersten Halbjahr (90 Minuten), im zweiten Halbjahr werden 2 Klausuren (je 90 Minuten) geschrieben.

Qualifikationsphase 1:

2 Klausuren pro Halbjahr (90 Minuten im GK und 135 Minuten im LK), wobei in einem Fach die erste Klausur im 2. Halbjahr durch 1 Facharbeit ersetzt werden kann bzw. muss. Die Verpflichtung zu einer Facharbeit kann durch die Belegung eines Projektkurses aufgehoben werden.

Qualifikationsphase 2.1:

2 Klausuren (je 135 Minuten im GK und je 180 Minuten im LK)

Qualifikationsphase 2.2:

1 Klausur, die – was den formalen Rahmen angeht – unter Abiturbedingungen geschrieben wird.

In der Qualifikationsphase werden die Notenpunkte durch äquidistante Unterteilung der Notenbereiche (mit Ausnahme des Bereichs ungenügend) erreicht.

Die Leistungsbewertung in den **Klausuren** wird mit Blick auf die schriftliche Abiturprüfung mit Hilfe eines Kriterienrasters zu den Teilleistungen durchgeführt. Dieses Kriterienraster wird den korrigierten Klausuren beigelegt und den Schülerinnen und Schülern auf diese Weise transparent gemacht.

Die Zuordnung der Hilfspunkte zu den Notenstufen orientiert sich in der Qualifikationsphase am Zuordnungsschema des Zentralabiturs. Die Note ausreichend soll bei Erreichen von ca. 45 % der Hilfspunkte erteilt werden. Von dem Zuordnungsschema kann abgewichen werden, wenn sich z.B. besonders originelle Teillösungen nicht durch Hilfspunkte gemäß den Kriterien des Erwartungshorizonts abbilden lassen oder eine Abwertung wegen besonders schwacher Darstellung angemessen erscheint.

## **Facharbeiten**

Wissenschaftspropädeutisches Lernen zielt darauf ab, Schülerinnen und Schüler mit den Prinzipien und Formen selbstständigen Lernens vertraut zu machen. Wissenschaftliche Vorgehensweise und Eigenständigkeit sind daher grundlegende Kriterien für die Bewertung von Facharbeiten.

Die notwendige Differenzierung und Transparenz der Bewertung wird gewährleistet

- durch die gezielte Beratung der Schülerinnen und Schüler in den obligatorischen und begleitenden Beratungsgesprächen (Finden und Eingrenzen des Themas, Vorgehensweise, Ziele, Gliederung usw.)
- durch Materialien (siehe Homepage der Schule: [www.willibrord-gymnasium-emmerich.de](http://www.willibrord-gymnasium-emmerich.de)), in denen die formale Gestaltung der Arbeit detailliert verdeutlicht wird,
- durch eine einheitliche Bewertungsgrundlage, wonach sich die Note zusammensetzt,
- durch Fachlehrer-Gutachten, die Vorzüge und Defizite detailliert und differenziert darstellt.

## **Grundsätze der Leistungsrückmeldung und Beratung**

Für Präsentationen, Arbeitsprotokolle, Dokumentationen und andere **Lernprodukte der sonstigen Mitarbeit** erfolgt eine Leistungsrückmeldung, bei der inhalts- und darstellungsbezogene Kriterien angesprochen werden. Hier werden zentrale Stärken als auch Optimierungsperspektiven für jede Schülerin bzw. jeden Schüler hervorgehoben.

Die Leistungsrückmeldungen bezogen auf die **mündliche Mitarbeit** erfolgen auf Nachfrage der Schülerinnen und Schüler außerhalb der Unterrichtszeit, spätestens aber in Form von mündlichem Quartalsfeedback oder Eltern-/Schülersprechtagen. Auch hier erfolgt eine individuelle Beratung im Hinblick auf Stärken und Verbesserungsperspektiven.

## **Mündliche Abiturprüfungen**

Auch für das mündliche Abitur (im 4. Fach oder bei Abweichungs- bzw. Bestehensprüfungen im 1. bis 3. Fach) wird ein Kriterienraster für den ersten und zweiten Prüfungsteil vorgelegt, aus dem auch deutlich wird, wann eine gute oder ausreichende Leistung erreicht wird.

### 2.3.2 Grundsätze im Distanzunterricht

Die grundsätzlichen, für den Präsenzunterricht gültigen Absprachen zur Leistungsbewertung und – Rückmeldung gelten auch im Distanzunterricht. „Da Klassenarbeiten und Prüfungen [...] in der Regel im Rahmen des Präsenzunterrichts statt[finden], [...] sind weitere in den Unterrichtsvorhaben vorgesehen und für den Distanzunterricht geeignete Formen der Leistungsüberprüfung möglich“ (Zweite Verordnung zur befristeten Änderung der Ausbildungs- und Prüfungsordnungen gemäß § 52 SchulG, § 6 Absatz 2 und 3).

Die Fachkonferenz Physik einigt sich auf Grundlage dieser Verordnung auf folgende geeignete Formate für den Beurteilungsbereich „Sonstige Leistungen im Unterricht“:

	analog	digital
mündlich	Präsentation von Arbeitsergebnissen <ul style="list-style-type: none"> <li>• über Telefonate</li> </ul>	Präsentation von Arbeitsergebnissen <ul style="list-style-type: none"> <li>• über Audiofiles / Podcasts</li> <li>• Erklärvideos</li> <li>• über Videosequenzen</li> <li>• im Rahmen von Videokonferenzen</li> </ul>
schriftlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektarbeiten</li> <li>• Lerntagebücher</li> <li>• Portfolios</li> <li>• Bildern</li> <li>• Plakate</li> <li>• Arbeitsblätter und Hefte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektarbeiten</li> <li>• Lerntagebücher</li> <li>• Portfolios</li> <li>• Kollaborative Erarbeitungen physikalischer Sachzusammenhänge / Aufgaben / Auswertungen von Messwerten und physikalischer Interpretation</li> <li>• Erstellen von digitalen Schaubildern</li> <li>• Bildern</li> <li>• Weitere kreative Lösungen (z.B. Videos / Dokumentationen und Auswertungen von Heimexperimenten, die mit einfachen Haushaltsgegenständen durchgeführt werden können)</li> </ul>

## 2.4 Lehr- und Lernmittel

Für den Physikunterricht in der Sekundarstufe II ist an der Schule derzeit das Buch Metzler, „Physik“, 3. Auflage, Schroedel-Verlag eingeführt.

Die Schülerinnen und Schüler arbeiten die im Unterricht behandelten Inhalte in häuslicher Arbeit nach.

Zu ihrer Unterstützung erhalten sie dazu i.d.R. das digitale Tafelbild, das in den entsprechend von der Fachlehrkraft einzurichtenden Kurs auf der Lernplattform itslearning hochzuladen ist.

Fachliteratur und didaktische Literatur: siehe Inventarliste der Fachbibliothek

Weitere Quellen, Hinweise und Hilfen zum Unterricht

Plattformen für Unterrichtsmaterialien und digitale Instrumente:

Nr.	URL / Quellenangabe (Datum des letzten Zugriffs: 28.01.2020)	Kurzbeschreibung des Inhalts / der Quelle
1	<a href="http://www.mabo-physik.de/index.html">http://www.mabo-physik.de/index.html</a>	Simulationen zu allen Themenbereichen der Physik
2	<a href="http://www.leifiphysik.de">http://www.leifiphysik.de</a>	Aufgaben, Versuch, Simulationen etc. zu allen Themenbereichen
3	<a href="https://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/mathematisch-naturwissenschaftliche-faecher/physik">https://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/mathematisch-naturwissenschaftliche-faecher/physik</a>	Fachbereich Physik des Landesbildungsservers Baden-Württemberg
4	<a href="https://www.howtosmile.org/topics">https://www.howtosmile.org/topics</a>	Digitale Bibliothek mit Freihandexperimenten, Simulationen etc. diverser Museen der USA

5	<a href="http://phyphox.org/de/home-de">http://phyphox.org/de/home-de</a>	phyphox ist eine sehr umfangreiche App mit vielen Messmöglichkeiten und guten Messergebnissen. Sie bietet vielfältige Einsatzmöglichkeiten im Physikunterricht. Sie läuft auf Smartphones unter IOS und Android und wurde an der RWTH Aachen entwickelt.
6	<a href="http://www.viananet.de/">http://www.viananet.de/</a>	Videoanalyse von Bewegungen
7	<a href="https://www.planet-schule.de">https://www.planet-schule.de</a>	Simulationen, Erklärvideos,...
8	<a href="https://phet.colorado.edu/de/simulations/category/physics">https://phet.colorado.edu/de/simulations/category/physics</a>	Simulationen

Die Fachkonferenz hat sich zu Beginn des Schuljahres darüber hinaus auf die nachstehenden Hinweise geeinigt, die bei der Umsetzung des schulinternen Lehrplans ergänzend zur Umsetzung der Ziele des Medienkompetenzrahmens NRW eingesetzt werden können. Bei den Materialien handelt es sich nicht um fachspezifische Hinweise, sondern es werden zur Orientierung allgemeine Informationen zu grundlegenden Kompetenzerwartungen des Medienkompetenzrahmens NRW gegeben, die parallel oder vorbereitend zu den unterrichtsspezifischen Vorhaben eingebunden werden können:

- **Digitale Werkzeuge / digitales Arbeiten**

Umgang mit Quellenanalysen:

<https://medienkompetenzrahmen.nrw/unterrichtsmaterialien/detail/informationen-aus-dem-netz-einstieg-in-die-quellenanalyse/> (Datum des letzten Zugriffs: 31.01.2020)

Erstellung von Erklärvideos:

<https://medienkompetenzrahmen.nrw/unterrichtsmaterialien/detail/erkl%C3%A4rvideo-im-unterricht/> (Datum des letzten Zugriffs: 31.01.2020)

Erstellung von Tonaufnahmen:

<https://medienkompetenzrahmen.nrw/unterrichtsmaterialien/detail/das-mini-tonstudio-aufnehmen-schneiden-und-mischen-mit-audacity/> (Datum des letzten Zugriffs: 31.01.2020)

Kooperatives Schreiben:

<https://zumpad.zum.de/> (Datum des letzten Zugriffs: 31.01.2020)

- **Rechtliche Grundlagen**

Urheberrecht – Rechtliche Grundlagen und Open Content:

<https://medienkompetenzrahmen.nrw/unterrichtsmaterialien/detail/urheberrecht-rechtliche-grundlagen-und-open-content/> (Datum des letzten Zugriffs: 31.01.2020)

Creative Commons Lizenzen:

<https://medienkompetenzrahmen.nrw/unterrichtsmaterialien/detail/creative-commons-lizenzen-was-ist-cc/> (Datum des letzten Zugriffs: 31.01.2020)

Allgemeine Informationen Daten- und Informationssicherheit:

<https://www.medienberatung.schulministerium.nrw.de/Medienberatung/Datenschutz-und-Datensicherheit/> (Datum des letzten Zugriffs: 31.01.2020)



### **3 Entscheidungen zu fach- und unterrichtsübergreifenden Fragen**

Die Fachkonferenz Physik hat sich im Rahmen des Schulprogramms für folgende zentrale Schwerpunkte entschieden:

#### **Zusammenarbeit mit anderen Fächern**

Durch die unterschiedliche Belegung von Fächern können Schülerinnen und Schüler Aspekte aus anderen Kursen mit in den Physikunterricht einfließen lassen. Es wird Wert darauf gelegt, dass in bestimmten Fragestellungen die Expertise einzelner Schülerinnen und Schüler gesucht wird, die aus einem von ihnen belegten Fach genauere Kenntnisse mitbringen und den Unterricht dadurch bereichern.

#### **Vorbereitung auf die Erstellung der Facharbeit**

Um eine einheitliche Grundlage für die Erstellung und Bewertung der Facharbeiten in der Jahrgangsstufe Q1 zu gewährleisten, findet im Vorfeld des Bearbeitungszeitraums ein fachübergreifender Informationstag statt. Die AG Facharbeit hat schulinterne Richtlinien für die Erstellung einer Facharbeit angefertigt, die die unterschiedlichen Arbeitsweisen in den wissenschaftlichen Fachbereichen berücksichtigen. Im Verlauf des Projekttag werden den Schülerinnen und Schülern in einer zentralen Veranstaltung und in Gruppen diese schulinternen Richtlinien vermittelt.

#### **Exkursionen**

In der gymnasialen Oberstufe können in Absprache mit der Stufen- und Schulleitung nach Möglichkeit unterrichtsbegleitende Exkursionen durchgeführt werden. Diese können im Unterricht vor- bzw. nachbereitet werden. Die Fachkonferenz hält folgende Exkursionen für sinnvoll:

EP 1: Besuch eines Science Centers

EP 2: Besuch eines Planetariums

Q1.1: Besuch eines Industrieunternehmens

Q1.2: Besuch eines Schülerlabors

Q2.1: Besuch einer Physikveranstaltung einer Universität am Tag der offenen Tür

## **4      Qualitätssicherung und Evaluation**

### **Evaluation des schulinternen Curriculums**

Das schulinterne Curriculum stellt keine starre Größe dar, sondern ist als „lebendes Dokument“ zu betrachten. Dementsprechend werden die Inhalte stetig überprüft, um ggf. Modifikationen vornehmen zu können. Die Fachkonferenz trägt durch diesen Prozess zur Qualitätsentwicklung und damit zur Qualitätssicherung des Faches Physik bei.

Die Evaluation erfolgt jährlich. Zu Schuljahresbeginn werden die Erfahrungen des vergangenen Schuljahres in der Fachschaft gesammelt, bewertet und eventuell notwendige Konsequenzen und Handlungsschwerpunkte formuliert.

### **Fachgruppenarbeit**

Die folgende Checkliste dient dazu, den Ist-Zustand bzw. auch Handlungsbedarf in der fachlichen Arbeit festzustellen und zu dokumentieren, Beschlüsse der Fachkonferenz zur Fachgruppenarbeit in übersichtlicher Form festzuhalten sowie die Durchführung der Beschlüsse zu kontrollieren und zu reflektieren. Die Liste wird regelmäßig überarbeitet und angepasst. Sie dient auch dazu, Handlungsschwerpunkte für die Fachgruppe zu identifizieren und abzusprechen.

Handlungsfelder		Handlungsbedarf	Verant- wortlich	Zu erle- digen bis
Ressourcen				
räumlich	Unterrichtsräume	(1.2.4), 1.2.5, 1.2.6, 2.2.2		
	Bibliothek	Sammlung		
	Computerraum	4.3.1, 4.3.2		
	Raum für Fach- teamarbeit	Sammlung		
	...			
materiell/ sachlich	Lehrwerke	s. o.		
	Fachzeitschriften	-		
	Geräte/ Medien	s. Sammlung		
	...			
<i>Kooperation bei Unterrichtsvorhaben</i>				
<i>Leistungsbewertung/ Leistungsdiagnose</i>				
<i>Fortbildung</i>				
<i>Fachspezifischer Bedarf</i>				
<i>Fachübergreifender Bedarf</i>				

