

Lehrplan

# Physik

Gymnasiale Oberstufe

Einführungsphase

- Erprobungsphase -

2015

# Inhalt

Zum Umgang mit dem Lehrplan

Themenfelder Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe

## Zum Umgang mit dem Lehrplan

Der Lehrplan ist nach Themenfeldern gegliedert, denen jeweils didaktische und methodische Kommentare vorangestellt sind. Diese betreffen z. B. geeignete Schwerpunktsetzungen in der unterrichtlichen Umsetzung, Hinweise auf die Tiefe der Behandlung und Hinweise auf die Basiskonzepte.

Daran anschließend sind in zwei Spalten verbindliche Kompetenzerwartungen bzw. Schüleraktivitäten, die zum Kompetenzaufbau beitragen, aufgeführt. In der linken Spalte sind Kompetenzerwartungen aus dem Bereich Fachwissen (inhaltsbezogene Kompetenzen) ausgewiesen. In der rechten Spalte werden diesen Kompetenzerwartungen aus den Bereichen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung (prozessbezogene Kompetenzen) zugeordnet.

Die Kompetenzschwerpunkte sind bewusst detailliert beschrieben. Dies geschieht mit dem Ziel, die Intensität der Bearbeitung möglichst präzise festzulegen. So kann vermieden werden, dass Lernbereiche entweder zu intensiv oder zu oberflächlich behandelt werden. Die detaillierte Darstellung darf hierbei nicht als Stofffülle missverstanden werden. Der Lehrplan beschränkt sich vielmehr auf wesentliche Inhalte und Themen, die auch Bezugspunkte für schulische und schulübergreifende Leistungsüberprüfungen sind.

Kontexte und Unterrichtsmethoden können grundsätzlich frei gewählt werden. Häufig können Inhalte exemplarisch ausgewählt werden. Die Wahl der Experimente, mit denen die verbindlichen Teilkompetenzen aufgebaut werden können, bleibt in allen Fällen, in denen kein bestimmtes Experiment verpflichtend vorgegeben ist, der Lehrkraft überlassen.

Zusätzlich zum verbindlichen Rahmen gibt der Lehrplan zu jedem Thema Hinweise für eine mögliche unterrichtliche Umsetzung wie z. B. Hinweise zu Experimenten, Projekten, Kontexten, außerschulische Lernorten, usw. Daneben werden Bezüge zu anderen Fächern aufgezeigt. Auf eine Auflistung von Standardexperimenten wurde mit Blick auf zahlreiche Lehr- und Arbeitsmaterialien in der Regel verzichtet. Diese Hinweise haben lediglich orientierenden Charakter. Sie sollen Hilfen bei der didaktischen und methodischen Ausgestaltung des Unterrichts anbieten und können je nach gewähltem Kontext gewinnbringend verwertet werden.

Als Richtwerte für die Gewichtung der verbindlich zu behandelnden Lernbereiche bei der Planung des Unterrichts sind Prozentwerte angegeben. Darüber hinaus lässt der Lehrplan Zeit für Vertiefungen, individuelle Schwerpunktsetzungen, fächerübergreifende Bezüge und die Behandlung aktueller Themen.

Die im Lehrplan angegebene Reihenfolge innerhalb des Schuljahres ist nur insofern verbindlich, wie es sachlogisch geboten scheint und wie Rahmenbedingungen es vorgeben (z. B. Vergleichsarbeiten, Beschlüsse der Fachkonferenz). Die Anordnung im Lehrplan zeigt eine mögliche Reihenfolge der Bearbeitung auf.

## Themenfelder Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe

<b>Themenfelder Einführungsphase</b>	<b>Physik</b>
<b>Kraft und Bewegung</b>	<b>70 %</b>
Trägheitssatz und gleichförmige Bewegung	
Grundgesetz der Mechanik und gleichmäßig beschleunigte Bewegung	
Wechselwirkungsprinzip und Stoßprozesse	
Gleichförmige Kreisbewegung	
<b>Kernenergie und Radioaktivität</b>	<b>30 %</b>
Kern-Hüllen-Modell	
Kernbindungsenergie	
Kernkraftwerke	
Radioaktivität	

Das Themenfeld Kraft und Bewegung umfasst die Gebiete der Kinematik und Dynamik, mit den Newton'schen Axiomen als tragenden Säulen der klassischen Mechanik. Ziel der Klassenstufe 10 ist dabei eine, über die qualitativen Betrachtungen der Klassenstufen 7 bis 9 hinausgehende, mathematisch-quantitative Beschreibung.

Dies gelingt nur durch die Reduktion der Wirklichkeit auf ein Modell, das alle wichtigen Aspekte der betrachteten Bewegung repräsentiert. Die Festlegung eines Koordinatensystems und Auswahl eines geeigneten Massenpunktes soll von den Schülerinnen und Schülern als solcher Akt der Modellbildung verstanden werden. Die „geschickte“ Wahl des Bezugssystems kann im Verlauf der Erarbeitung des Themenfeldes immer wieder an konkreten Beispielen erörtert werden. Sie entscheidet nicht nur über die Zuweisung der Attribute „ruhend“ und „bewegt“, sondern auch über den mathematischen Aufwand bei der Beschreibung der auftretenden Größen (Zentripetalkraft vs. Zentrifugalkraft, Corioliskraft).

Im Allgemeinen erfolgen die Bewegungen von Körpern im dreidimensionalen Raum und die Größen zu ihrer Beschreibung sind dreidimensionale Vektoren. Deren Kennzeichnung erfolgt in der üblichen Weise mit dem Vektorpfeil über dem Symbol der Größe.

Für die Beschreibung der meisten, im vorliegenden Lehrplan aufgeführten Bewegungen genügt allerdings ein eindimensionales Koordinatensystem (entlang der Trajektorie des betrachteten Massenpunktes). Die zugehörigen eindimensionalen Vektoren sind durch die Angabe ihrer Beträge in Verbindung mit einem Vorzeichen für die Richtung hinreichend charakterisiert. Der vorliegende Lehrplan verwendet für die „vorzeichenbehafteten Beträge“ die Symbole der Größen ohne Vektorpfeil. Die Definitionen der mittleren Geschwindigkeit und Beschleunigung, die Bewegungsgesetze und die Stoßgesetze sind entsprechend formuliert.

Der Lehrplan lässt sich mit klassischen experimentellen Methoden in der vorliegenden Form und Reihenfolge umsetzen (Fahrbahn, Lichtschranken, Stoppuhren). Die Schülerbeteiligung an den Experimenten kann aber mit erheblichem Aufwand verbunden sein. Modernere Methoden, insbesondere die Videoanalyse von Bewegungen, bieten einen unmittelbaren und zugleich transparenten Weg zur Erfassung der Bahndaten. Tablets und Smartphones werden dabei zum physikalischen Messgerät. Die Reihenfolge der angestrebten Kompetenzen muss dann entsprechend der gewählten Herangehensweise umgeordnet werden.

Die Beschreibung der gleichförmigen Kreisbewegung benutzt mit der Bahngeschwindigkeit, der Frequenz und der Winkelgeschwindigkeit drei aus Schülersicht sehr ähnliche Größen. Deren Gemeinsamkeit als „zeitliche Änderungsrate“ sollte ebenso betont werden, wie der Unterschied in der sich ändernden Größe. Ein Vergleich mit der Stromstärke kann dies unter Umständen noch deutlicher machen.

Die bei der gleichförmigen Kreisbewegung auftretenden Kräfte lassen sich in der Klassenstufe 10 nur auf experimentellem Weg bestimmen. Neben dem klassischen Weg über die „Zentralkraft-Maschine“ bieten sich neue Zugangswege mit deutlich größerer Schülerbeteiligung unter Zuhilfenahme der Gyrosensoren in Tablets und Smartphones an. Der Messprozess selbst verschwindet dabei allerdings in der „Black Box“. Zu den verwendeten Beispielen und Aufgaben sollten unbedingt auch solche aus der Astronomie zählen, gerade weil hier (auch im historischen Kontext) diskutiert werden muss, inwieweit die Modellierung als gleichförmige Kreisbewegung adäquat ist.

Das ganze Themenfeld erfordert von den Schülerinnen und Schülern ein sicheres Anwenden mathematischer Kompetenzen zum Beschreiben und Lösen physikalischer Probleme. Diese Verzahnung der Physik mit der Mathematik muss im Unterricht deutlich zu Tage treten, auch als Ausblick auf die Physik in der Kursphase. Die Physik darf aber nie hinter die Mathematik zurücktreten. Zu jedem Zeitpunkt muss klar sein, dass hier nicht mit Zahlen, sondern mit Größen gerechnet wird, die Vorgänge und Phänomene in der realen Welt beschreiben.

## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<p><b>Trägheitssatz und gleichförmige Bewegung</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>definieren die mittlere Geschwindigkeit <math>\bar{v}</math> als den Quotienten aus dem zurückgelegten Weg <math>\Delta s</math> und der benötigten Zeitspanne <math>\Delta t</math>:  <math display="block">\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t},</math></li> <li>erläutern den vektoriellen Charakter der Geschwindigkeit,</li> <li>bezeichnen Bewegungen mit konstantem Geschwindigkeitsbetrag <math>v</math> als gleichförmig,</li> <li>bezeichnen die Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit <math>\vec{v}</math> als geradlinig, gleichförmige Bewegung,</li> <li>geben den Trägheitssatz als 1. Newton'sches Axiom an:  Die Geschwindigkeit <math>\vec{v}</math> eines Körpers bleibt genau dann gleich, wenn insgesamt keine Kraft auf ihn einwirkt,</li> <li>erläutern, dass zur Beschreibung einfacher Bewegungen eines Körpers meist ein ausgezeichneter Punkt ausreicht (Massenpunkt),</li> <li>erläutern, dass Ortsangaben für einen Massenpunkt die Wahl eines festen Bezugssystems voraussetzen,</li> <li>erläutern den Einfluss der Wahl unterschiedlicher Bezugssysteme auf die Beschreibung von Ruhe und Bewegung,</li> <li>unterscheiden zwischen dem Ort <math>s(t)</math> eines Massenpunktes zum Zeitpunkt <math>t</math> und dem in der Zeitspanne <math>\Delta t</math> zurückgelegten Weg <math>\Delta s</math>,</li> <li>geben das Orts-Zeit-Gesetz für die gleichförmige Bewegung an:  <math display="block">s(t) = v \cdot t + s_0,</math></li> <li>lösen einfache Aufgaben mit Hilfe des Orts-Zeit-Gesetzes,</li> <li>berechnen die Treffpunkte und Treffzeiten bei zwei gleichzeitigen gleichförmigen Bewegungen.</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>recherchieren Beispiele für Bewegungen und ordnen sie nach den Kriterien gleichförmig/ungleichförmig und geradlinig/nicht geradlinig,</li> <li>planen ein Experiment zur Bestimmung einer mittleren Geschwindigkeit und führen es durch,</li> <li>planen ein Experiment zur Realisierung einer kräftefreien Bewegung, beteiligen sich an der Durchführung und diskutieren die Fehlerquellen und deren Größenordnung,</li> <li>zeichnen die <math>s(t)</math>-Diagramme für verschiedene gleichförmige Bewegungen (auch mehrere, gleichzeitig ablaufende),</li> <li>bestimmen mit Hilfe von <math>s(t)</math>-Diagrammen verschiedene Parameter gleichförmiger Bewegungen (Startpunkte, Geschwindigkeiten, Treffpunkte und Treffzeiten).</li> </ul>

## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<p><b>Grundgesetz der Mechanik und gleichmäßig beschleunigte Bewegung</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• folgern aus dem 1. Newton'schen Axiom, dass sich die Geschwindigkeit <math>\vec{v}</math> eines Körpers nach Betrag oder Richtung ändert, wenn der Betrag der Gesamtkraft auf ihn nicht Null ist,</li> <li>• bezeichnen Bewegungen mit nicht konstanten Geschwindigkeiten als beschleunigte Bewegungen,</li> <li>• nennen Beispiele für beschleunigte Bewegungen unter dem Einfluss einer konstanten Kraft,</li> <li>• unterscheiden die Momentangeschwindigkeit <math>v(t)</math> zu einem Zeitpunkt <math>t</math> von der mittleren Geschwindigkeit <math>\bar{v}</math> während einer Zeitspanne <math>\Delta t</math>,</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• definieren die mittlere Beschleunigung <math>\bar{a}</math> als den Quotienten aus der Geschwindigkeitsänderung <math>\Delta v</math> und der benötigten Zeitspanne <math>\Delta t</math> und geben ihre Einheit an:  <math display="block">\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}, [a] = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2},</math> </li> <li>• erläutern den vektoriellen Charakter der Beschleunigung,</li> <li>• bezeichnen eine Bewegung mit konstanter Beschleunigung <math>\vec{a}</math> als gleichmäßig beschleunigte Bewegung,</li> <li>• geben das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung an:  <math display="block">v(t) = a \cdot t + v_0,</math> </li> <li>• formulieren das Grundgesetz der Mechanik als 2. Newton'sches Axiom:            Wirkt auf einen Körper der Masse <math>m</math> die Kraft <math>\vec{F}</math>, so erfährt er die Beschleunigung <math>\vec{a}</math> in Richtung der Kraft und es gilt:  <math display="block">\vec{F} = m \cdot \vec{a},</math> </li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• planen einfache Experimente, bei denen sich der Betrag der Geschwindigkeit, die Richtung der Geschwindigkeit und sowohl Betrag, als auch Richtung der Geschwindigkeit ändern und führen diese durch,</li> <li>• diskutieren Möglichkeiten die Momentangeschwindigkeit bei einer beschleunigten Bewegung zu messen,</li> <li>• planen ein Experiment zur näherungsweise Bestimmung einer Momentangeschwindigkeit bei einer beschleunigten Bewegung unter dem Einfluss einer konstanten Kraft, beteiligen sich aktiv an seiner Durchführung und beurteilen die Qualität der Messwerte,</li> <li>• beteiligen sich aktiv an der Durchführung eines Experiments zur Bestimmung von Momentangeschwindigkeiten im Verlauf einer beschleunigten Bewegung unter dem Einfluss einer konstanten Kraft und protokollieren das Ergebnis in Form eines <math>v(t)</math>-Diagramms,</li> <li>• bestimmen mit Hilfe von <math>v(t)</math>-Diagrammen einfache Parameter gleichmäßig beschleunigter Bewegungen (Startgeschwindigkeiten, Beschleunigungen),</li> <li>• bilden Hypothesen über die Abhängigkeit der erreichten Beschleunigung <math>a</math> und beteiligen sich aktiv an der experimentellen Überprüfung,</li> </ul>

## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• rechnen die Einheit der Kraft in SI-Basis-einheiten um,</li> <li>• lösen Aufgaben mit Hilfe der vektorfreien Formulierung des 2. Newton'schen Axiomes <math>F = m \cdot a</math>,</li> <li>• bezeichnen eine Bewegung unter dem ausschließlichen Einfluss der Gewichtskraft als freien Fall,</li> <li>• interpretieren den Ortsfaktor <math>\vec{g}</math> als Erdbeschleunigung,</li> <li>• geben den Wert der Erdbeschleunigung am Normort an: <math>g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}</math>,</li> <li>• geben das Orts-Zeit-Gesetz für den freien Fall an: <math>s(t) = \frac{1}{2} g \cdot t^2</math>,</li> <li>• verallgemeinern das Orts-Zeit-Gesetz für den freien Fall auf beliebige, gleichmäßig beschleunigte Bewegungen: <math>s(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0</math>,</li> <li>• interpretieren den senkrechten Wurf als spezielle, gleichmäßig beschleunigte Bewegung,</li> <li>• lösen Aufgaben zum Orts-Zeit-Gesetz und zum Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung,</li> <li>• lösen Aufgaben zum freien Fall und zum senkrechten Wurf auch mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schließen aus dem 2. Newtonschen Axiom auf die Unabhängigkeit der Beschleunigung eines frei fallenden Körpers von seiner Masse,</li> <li>• beobachten den freien Fall von Körpern verschiedener Masse im luftgefüllten und evakuierten Fallrohr,</li> <li>• planen ein Experiment zu Ermittlung des Orts-Zeit-Gesetzes für den freien Fall, beteiligen sich aktiv an seiner Durchführung und dokumentieren das Ergebnis in Form eines s(t)-Diagramms,</li> <li>• planen ein Experiment zur Bestimmung der Erdbeschleunigung und führen es durch,</li> <li>• leiten die Formel für die kinetische Energie aus den Bewegungsgesetzen, dem 2. Newton'schen Axiom und der Definition der Arbeit her,</li> <li>• interpretieren s(t)-Diagramme und v(t)-Diagramme von Bewegungen.</li> </ul>



## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<p><b>Wechselwirkungsprinzip und Stoßprozesse</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>formulieren das Wechselwirkungsprinzip als 3. Newton'sches Axiom: Übt ein Körper A auf einen Körper B die Kraft <math>\vec{F}_{AB}</math> aus, so übt umgekehrt auch Körper B auf Körper A die Kraft <math>\vec{F}_{BA}</math> aus und es gilt: <math>\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}</math>,</li> <li>erläutern das Wechselwirkungsprinzip und seine Folgen an Beispielen aus dem täglichen Leben,</li> <li>erläutern den Unterschied zwischen Kräften nach dem Wechselwirkungsprinzip und dem Kräftegleichgewicht</li> <li>erläutern den Begriff "zentraler, gerader Stoß",</li> <li>definieren die physikalische Größe Impuls als Produkt aus der Masse eines Körpers und seiner Geschwindigkeit und geben ihre Einheit an: <math display="block">p = m \cdot v, [p] = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 1 \text{ Ns}</math></li> <li>erläutern den vektoriellen Charakter des Impulses,</li> <li>formulieren den Impulserhaltungssatz: In einem System, das alle wechselwirkenden Körper enthält, ist die Summe aller Impulse nach Betrag und Richtung konstant,</li> <li>erläutern, dass bei der Wechselwirkung zweier Körper immer Impuls und Energie übertragen wird,</li> <li>bezeichnen den Stoß zweier Körper als vollkommen unelastisch, wenn sich beide Körper nach dem Stoß gemeinsam weiterbewegen, also <math>u_1 = u_2 = u</math>,</li> <li>lösen einfache Aufgaben für den vollkommen unelastischen Stoß,</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>führen einfache Versuche zum Wechselwirkungsprinzip durch,</li> <li>leiten aus dem Wechselwirkungsprinzip für den zentralen, geraden Stoß zweier Körper die Beziehung her: <math display="block">m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2,</math>wobei <math>v</math> die Geschwindigkeiten der Körper vor dem Stoß und <math>u</math> die Geschwindigkeiten nach dem Stoß bezeichnet,</li> <li>folgern aus der Herleitung des Impulserhaltungssatzes, dass dieser unabhängig vom Energieerhaltungssatz gilt,</li> <li>leiten die Formel für die Geschwindigkeit nach einem vollkommen unelastischen Stoß aus dem Impulserhaltungssatz her: <math display="block">u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2},</math></li> </ul>

## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• berechnen den auftretenden Verlust an kinetischer Energie beim vollkommen unelastischen Stoß,</li> <li>• bezeichnen den Stoß zweier Körper als elastisch, wenn beim Stoß die kinetische Energie erhalten bleibt,</li> <li>• lösen einfache Aufgaben für den elastischen Stoß mit Hilfe der Formeln für die Endgeschwindigkeiten:  <math display="block">u_1 = \frac{2m_2v_2 + (m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}</math> <math display="block">u_2 = \frac{2m_1v_1 + (m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2}</math> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• recherchieren Beispiele für reale Stoßprozesse, die sich als elastischer oder vollkommen unelastischer Stoß modellieren lassen und berechnen die zu erwartende(n) Endgeschwindigkeit(en).</li> </ul>
<p><b>Gleichförmige Kreisbewegung</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden die Definition der Geschwindigkeit auf die gleichförmige Kreisbewegung an und bezeichnen diese als Bahngeschwindigkeit:  <math display="block">v = \frac{\Delta s}{\Delta t},</math> </li> <li>• wenden die Definition der Frequenz auf die gleichförmige Kreisbewegung an:  <math display="block">f = \frac{\Delta n}{\Delta t},</math> </li> <li>• wenden die Definition der Periodendauer auf die gleichförmige Kreisbewegung an und bezeichnen diese als Umlaufdauer:  <math display="block">T = \frac{\Delta t}{\Delta n},</math> </li> <li>• definieren die physikalische Größe Winkelgeschwindigkeit <math>\omega</math> einer gleichförmigen Kreisbewegung als Quotient aus dem überstrichenem Winkel <math>\Delta\varphi</math> (im Bogenmaß) und der dazu benötigten Zeitspanne <math>\Delta t</math>, und geben ihre Einheit an:  <math display="block">\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, [\omega] = \frac{1}{s},</math> </li> <li>• wenden die Definitionen von Bahngeschwindigkeit, Frequenz und Winkelgeschwindigkeit auf den Spezialfall <math>\Delta t = T</math> an:  <math display="block">v = \frac{2\pi r}{T}, f = \frac{1}{T} \text{ und } \omega = \frac{2\pi}{T},</math> </li> <li>• lösen einfache Aufgaben für die gleichförmige Kreisbewegung,</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• recherchieren Beispiele für Kreisbewegungen und ordnen sie nach den Kriterien gleichförmig/ungleichförmig,</li> <li>• planen ein Experiment zur Realisierung einer gleichförmigen Kreisbewegung, führen es durch und bestimmen die Bahngeschwindigkeit, Frequenz und Umlaufdauer,</li> <li>• leiten den Zusammenhang zwischen Bahn- und Winkelgeschwindigkeit her:  <math display="block">v = \omega \cdot r,</math> </li> </ul>

## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• bezeichnen die Kraft, die einen Körper auf einer Kreisbahn hält, als Zentripetalkraft und die dabei auftretende Beschleunigung als Zentripetalbeschleunigung,</li> <li>• formulieren die Gesetzmäßigkeit für die Zentripetalkraft bei der gleichförmigen Kreisbewegung: <math display="block">F_z = m \omega^2 r,</math></li> <li>• lösen Aufgaben zu Kräften und Beschleunigungen bei der gleichförmigen Kreisbewegung.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• begründen mit Hilfe des Trägheitssatzes, dass bei der gleichförmigen Kreisbewegung stets eine Kraft senkrecht zur Bewegungsrichtung wirken muss,</li> <li>• beteiligen sich aktiv an einem Experiment zur Ermittlung der Abhängigkeit der Zentripetalkraft von Masse, Bahnradius und Winkelgeschwindigkeit,</li> <li>• leiten die Gesetzmäßigkeit für die Zentripetalkraft in Abhängigkeit von der Bahngeschwindigkeit her: <math display="block">F_z = m \frac{v^2}{r},</math></li> <li>• leiten die Gesetzmäßigkeit für die Zentripetalbeschleunigung her: <math display="block">a_z = \omega^2 r = \frac{v^2}{r},</math></li> <li>• wenden die Gesetze der gleichförmigen Kreisbewegung auf Bewegungen im Alltag an.</li> </ul>

## Hinweise

**Allgemeine Hinweise:**

- Trägheitssatz: Vergleich der Formulierungen mit KS 8, Interpretation der Originalfassung von Newton, Erklärung von Alltagphänomenen (Glatteis, Sicherheitsgurt, Fallen von Regentropfen, ...)
- Modell des Massenpunkts: Bewegung eines Zuges ist durch die Bewegung eines ausgezeichneten Punktes, z.B. der Zugspitze, hinreichend genau beschrieben
- Wahl des Bezugssystems: Auch 3-dimensionale Bewegungen, wie die eines Zuges (4 Himmelsrichtungen, Berg-Tal) können als lineare Bewegung modelliert werden, solange Kräfte quer zur Fahrtrichtung nicht betrachtet werden sollen
- Bezugssystem beim Radfahren: der Fuß ist in Bezug auf das Pedal in Ruhe, führt in Bezug auf den Rahmen eine Kreisbewegung aus und bewegt sich in Bezug auf einen "ruhenden" Beobachter längs einer (verkürzten) Zyklode
- Gleichzeitige, gleichförmige Bewegungen: wechselseitige Überprüfung von Treffpunkten und Treffzeiten durch graphische Ermittlung bzw. Berechnung
- Möglichkeiten der Messung von  $v(t)$ : Videoanalyse, Fahrbahn und Kurzzeitmesser, schiefe Ebene mit Auslauf, Tachometer als Black Box
- Grundgesetz der Dynamik: bei Experimenten Unterscheidung zwischen beschleunigender Zugmasse und beschleunigter Gesamtmasse notwendig
- Erdbeschleunigung: Variation von  $g$  an der Erdoberfläche
- Freier Fall: Unterscheidung zwischen träger und schwerer Masse möglich
- Momentangeschwindigkeit: Präzisierung als Ableitung in Zusammenarbeit mit der Mathematik oder erst nach Begriffsklärung im Mathematikunterricht möglich

**Hinweise**

- Gleichmäßig beschleunigte Bewegung: Faustformeln aus der Fahrschule für Reaktionsweg, Bremsweg und Anhalteweg durch erarbeitete Bewegungsgesetze überprüfen  
Elastischer Stoß: Bedeutung im atomaren Bereich (Gasgesetze)
- Frequenzbestimmung: Kurzzeitmesser mit Lichtschranke, Stroboskop, Fotowiderstand am Oszillographen mit unterbrochenem Laserstrahl
- Winkelgeschwindigkeit:  $1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  als Schreibweise verhindert die falsche Verwendung von 1Hz statt  $1 \frac{1}{\text{s}}$  als Einheit

**Zusätzliche geeignete (Schüler-)Experimente**

- Fallschnüre mit a) äquidistanten und b) "quadratischen" Abständen der Gewichtsstücke zum Nachweis der Proportionalität zwischen  $s$  und  $t^2$  beim freien Fall als gleichmäßig beschleunigte Bewegung
- Wechselwirkungsprinzip: Gleiter auf Luftkissenbahn mit aufgelegten Dauermagneten, Experimente mit Skateboard, Inlinern o.ä.

**Projekte**

- Kraft- und Beschleunigungsmessungen beim Sport und in der Technik
- Navigation: vom Kompass zum GPS

**Außerschulische Lernorte**

- Schwimmbad oder andere freie Wasserfläche: Beobachtung der Wechselwirkung bei zwei durch ein Seil verbundenen Schlauchbooten (unter Beachtung der Sicherheitsaspekte)
- Sportplatz oder Sporthalle: Realisierung verschiedener Bewegungsarten und Messungen von Bewegungsgrößen beim Menschen
- Fahrradübungsplatz oder Freifläche: Realisierung verschiedener Bewegungsarten und Messungen von Bewegungsgrößen beim Radfahren, Neigung bei Kurvenfahrten

**Fachübergreifende und fächerverbindende Bezüge**

- Mathematik: Ableitungsbegriff (KS 10)  
Quadratische Gleichungen und Funktionen (KS 9)
- Sport: Sporttheoretische Analyse von Bewegungsabläufen,  
Optimierungen bei technischen Sportarten
- Erdkunde: Corioliskraft, Satelliten- und Planetenbewegung, Gestalt der Erde

**Geeignete Kontexte**

- Fahrgeschäfte/Achterbahnen in Freizeitparks
- Astronomie
- Navigationssysteme

Das Themenfeld Kernenergie und Radioaktivität vertieft und ergänzt die bislang in der Physik und Chemie erworbenen Kenntnisse über den Aufbau der Materie.

Die Stabilität der aus Protonen und Neutronen aufgebauten Atomkerne wird mit der starken Kraft erklärt, die die elektromagnetische Abstoßung der Protonen überkompensiert. Den Schülerinnen und Schülern muss klar werden, dass die „starke Kraft“ nicht nur einen quantitativen Unterschied bezeichnet, sondern dass damit eine qualitativ neue Art der Wechselwirkung eingeführt wird (neben der Gravitation und der elektromagnetischen Wechselwirkung).

Die tatsächliche Stärke der Kernkraft wird nur mittelbar in der Kernbindungsenergie deutlich, deren Betrag die „Arbeit gegen die starke Kraft“ widerspiegelt. Der Vergleich der freigesetzten Energien bei Kernreaktionen und chemischen Reaktionen ist auch ein Vergleich der starken Kraft und der elektromagnetischen Kraft, welche die chemischen Reaktionen dominiert. Es empfiehlt sich, die Vergleiche auf 1 kg der Ausgangs- oder Endstoffe zu beziehen und nicht auf die in der Chemie übliche Stoffmenge 1 mol.

Die Effizienz der Energiefreisetzung bei Kernreaktionen führt unmittelbar zur friedlichen (und militärischen) Nutzung der Kernenergie. Die Abläufe im Kernkraftwerk können jetzt in Ergänzung zur Klassenstufe 9 physikalisch betrachtet werden. Ziel ist es, die Schülerinnen und Schüler zu einer verantwortungsvollen Teilhabe an der Diskussion um die Nutzung der Kernenergie zu befähigen. Das nötige Fachwissen muss aber auch die Problematik des radioaktiven Abfalls umfassen, so dass eine Diskussion Pro und Contra Kernenergie erst am Ende des Themenfeldes geführt werden sollte.

Radioaktivität und radioaktiver Zerfall werden nur phänomenologisch beschrieben. Eine Erklärung ihrer Ursachen (in der schwachen Kraft) kann nicht Gegenstand des Unterrichts sein. Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten müssen die geltenden Regelungen des Strahlenschutzes unbedingt eingehalten werden. Bei aller gebotenen Vorsicht ist es aber auch die Aufgabe der Physik, unreflektierten Ängsten vor jeder Art von (radioaktiver) Strahlung zu begegnen und sie durch die Fähigkeit zu ersetzen, Strahlendosen in ihrer Wirkung zu beurteilen. Dabei können Vergleiche mit Giftstoffen und ihren heilenden, unbedenklichen bzw. ihren schädigenden Dosen nützlich sein, ebenso wie der Verweis auf die evolutionäre Anpassung des menschlichen Körpers an umweltbedingte Zellschädigungen (nicht nur durch Strahlung) und die entsprechende Reparaturmechanismen.

Aufgaben zum radioaktiven Zerfallsgesetz müssen den gültigen Lehrplan im Fach Mathematik berücksichtigen. Gesuchte Zeiten können aber in jedem Fall mit dem  $N(t)$ -Diagramm näherungsweise bestimmt werden.

**Kompetenzerwartungen**

<b>Fachwissen</b>	<b>Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung</b>
<p><b>Kern-Hüllenmodell</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben den prinzipiellen Aufbau und die wesentlichen Beobachtungen des Streuversuchs nach Rutherford,</li> <li>• geben die Größenordnungen und das Größenverhältnis von Atomkern und Atomhülle an,</li> <li>• erläutern, dass nach dem Prinzip des Streuversuchs von Rutherford auch die innere Struktur des Atomkerns untersucht werden kann,</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären, warum die Beobachtungen des Streuversuchs von Rutherford entscheidend für die Entstehung des Kern-Hüllen-Modells waren,</li> </ul>

## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die wesentlichen Bestandteile eines Kernmodells mit Protonen und Neutronen,</li> <li>• bezeichnen die Protonen und Neutronen auch als Kernbausteine oder Nukleonen,</li> <li>• erläutern die Bedeutung der atomaren Masseneinheit <math>1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}</math>,</li> <li>• bezeichnen die Anzahl der Protonen eines Atomkerns als Kernladungszahl <math>Z</math>, die Anzahl der Neutronen als Neutronenzahl <math>N</math> und die Summe <math>N+Z</math> als Massenzahl <math>A</math>,</li> <li>• geben an, dass die Kernladungszahl das chemische Element festlegt, zu dem ein Atomkern gehört und dass diese mit der Ordnungszahl im Periodensystem der Elemente übereinstimmt,</li> <li>• bezeichnen Atome des gleichen Elements mit unterschiedlicher Neutronenzahl als Isotope,</li> <li>• bezeichnen die spezielle Zusammensetzung eines Atomkerns aus Protonen und Neutronen als Nuklid,</li> <li>• lösen einfache Aufgaben zur Zusammensetzung von Atomkernen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen Teilchen mit dem Teilchensymbol <math>X</math>, der Massenzahl <math>A</math> und der Ladungszahl <math>Z</math> mit der Kurzschreibweise <math>{}^A_Z X</math> dar (z.B. <math>{}^{235}_{92}\text{U}</math>),</li> <li>• wenden die Kurzschreibweise zur Beschreibung von Teilchen auf Atomkerne an,</li> <li>• stellen Atomkerne auch in der Kurzschreibweise <math>XA</math> dar (z.B. <math>\text{U}235</math>),</li> <li>• bestimmen die Neutronen- und Protonenzahl für leichte Nuklide aus einer Nuklidkarte.</li> </ul>
<p><b>Kernbindungsenergie</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bezeichnen die zwischen den Nukleonen im Atomkern wirkende, anziehende Kraft als Kernkraft oder starke Kraft,</li> <li>• vergleichen die Reichweite von Kernkraft und Coulombkraft,</li> <li>• erklären die Stabilisierung schwerer Atomkerne durch ein höheres Neutronen-Protonen-Verhältnis mit Hilfe der wirkenden Kräfte,</li> <li>• geben die Grenze der Stabilität für schwere Atomkerne an,</li> <li>• erläutern, dass zum Zerlegen eines Atomkerns in seine Nukleonen gegen die starke Kraft Arbeit verrichtet werden muss,</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• schließen aus der Stabilität der Atomkerne auf die Existenz einer anziehenden Kraft im Atomkern,</li> <li>• bestimmen das Verhältnis von Protonen zu Neutronen für stabile Nuklide von leichten und schweren Elementen mit Hilfe einer Nuklidkarte,</li> </ul>

## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• bezeichnen die Energie, die zum Zerlegen eines Atomkerns in seine Nukleonen zugeführt werden muss, als Kernbindungsenergie,</li> <li>• geben an, dass die mittlere Kernbindungsenergie pro Nukleon ein Maß für die Stabilität eines Atomkerns ist,</li> <li>• vergleichen die Größenordnungen der freiwerdenden Energien bei Kernfusion und Kernspaltung mit der bei der Verbrennung von Kohle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes, dass beim Zusammenbau eines Atomkerns aus einzelnen Nukleonen die Kernbindungsenergie frei wird,</li> <li>• erklären mit Hilfe eines Diagramms zur mittleren Kernbindungsenergie pro Nukleon, welche Kerne zur Kernfusion bzw. zur Kernspaltung geeignet sind,</li> <li>• beschreiben mit Hilfe einer einfachen Reaktionsgleichung die Kernfusion von Wasserstoff zu He<sub>4</sub>,</li> <li>• recherchieren den Stand der Umsetzung der Kernfusion auf der Erde und erläutern einige der Schwierigkeiten,</li> <li>• beschreiben mit Hilfe einer einfachen Reaktionsgleichung die Spaltung von U<sub>235</sub>.</li> </ul>
<p><b>Kernkraftwerke</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• unterscheiden kontrollierte und unkontrollierte Kettenreaktionen und erläutern sie anhand der Spaltung von U<sub>235</sub>,</li> <li>• geben an, dass unkontrollierte Kettenreaktionen in atomaren Sprengwaffen eingesetzt werden,</li> <li>• beschreiben den Aufbau eines Kernkraftwerks mit Brennstäben, Regelstäben, Moderator, Primärkreislauf, Wärmetauscher, Turbine, Generator und Sekundärkreislauf,</li> <li>• erläutern an einem historischen Beispiel, welche Art von Fehlfunktionen zu schwerwiegenden Reaktorunfällen führen können.</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• recherchieren die Gewinnung von spaltbarem Uran und diskutieren über die notwendige Kontrolle von dessen Verbreitung,</li> <li>• erklären, welche Maßnahmen im Kernkraftwerk zum Ablauf einer kontrollierten Kettenreaktion und damit zum sicheren Betrieb führen.</li> </ul>
<p><b>Radioaktivität</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben ein Experiment zur Demonstration der ionisierenden Wirkung radioaktiver Strahlung,</li> <li>• beschreiben den Aufbau eines Geiger-Müller-Zählers mit Glimmer- oder Folienfenster, Metallgehäuse, Draht und Zählinheit und erläutern seine Funktionsweise,</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p>

## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• bezeichnen die Frequenz, der von einem Geiger-Müller-Zähler registrierten Ereignisse als Zählrate,</li> <li>• bezeichnen die Zählrate aufgrund der natürlich vorkommenden Strahlung als Nullrate,</li> <li>• erläutern den stochastischen Charakter radioaktiver Ereignisse,</li> <li>• unterscheiden die Komponenten der radioaktiven Strahlung im Hinblick auf ihre Masse, Ladung, Reichweite in Luft und Möglichkeit der Abschirmung und bezeichnen sie mit <math>\alpha</math>, <math>\beta</math> und <math>\gamma</math>,</li> <li>• geben die Identität der <math>\alpha</math>, <math>\beta</math> und <math>\gamma</math>-Strahlung an (He4-Kerne, Elektronen, energiereiches Licht),</li> <li>• geben an, dass alle Komponenten der radioaktiven Strahlung aus dem Atomkern stammen,</li> <li>• geben an, dass es bei Aussendung eines <math>\beta</math>-Teilchens im Atomkern zur Umwandlung eines Neutrons in ein Proton und ein Elektron kommt,</li> <li>• bezeichnen die Aussendung radioaktiver Strahlung als radioaktiven Zerfall und die dabei auftretende Folge von Elementumwandlungen bis zu einem stabilen Nuklid als Zerfallsreihe,</li> <li>• geben Blei als stabiles Endelement der meisten Zerfallsreihen an,</li> <li>• bezeichnen die mittlere Zeitspanne, nach der sich die Hälfte der Atomkerne eines Präparats durch radioaktiven Zerfall umgewandelt hat, als Halbwertszeit <math>t_H</math>,</li> <li>• geben das Zerfallsgesetz für die Abnahme einer Anzahl <math>N_0</math> von Atomkernen durch radioaktiven Zerfall an: <math display="block">N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_H}}</math></li> <li>• lösen einfache Aufgaben mit Hilfe des Zerfallsgesetzes auch unter Verwendung von N(t)-Diagrammen,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beteiligen sich aktiv an der Durchführung der Messungen von Zählraten ohne und mit Materialien,</li> <li>• planen ein Experiment zur Untersuchung der Ladung radioaktiver Strahlung und beschreiben die Durchführung und das Ergebnis,</li> <li>• wenden die Kurzschreibweise für Teilchen auf die Komponenten der radioaktiven Strahlung an,</li> <li>• beschreiben die Vorgänge bei der Aussendung radioaktiver Strahlung mit Hilfe von Kernreaktionsgleichungen,</li> <li>• stellen Zerfallsreihen mit Hilfe einer Nuklidkarte auf,</li> <li>• recherchieren die Halbwertszeit von U235 und von Nukliden, die bei dessen Spaltung in Kernkraftwerken erzeugt werden,</li> <li>• skizzieren das N(t)-Diagramm zum Zerfallsgesetz,</li> </ul>



## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• definieren die physikalische Größe Zerfallsrate (Aktivität) <math>A</math> eines radioaktiven Präparats als den Quotienten aus der mittleren, statistischen Anzahl von Zerfällen <math>\Delta n</math> und der Zeitspanne <math>\Delta t</math> in der sie erfolgen:  <math display="block">A = \frac{\Delta n}{\Delta t} \text{ mit}</math> <math display="block">[A] = 1 \frac{(\text{Zerfall})}{\text{s}} = 1 \text{ Bq ("Becquerel")},</math> </li> <li>• geben als Maß für die Schädlichkeit ionisierender Strahlung auf lebende Organismen die Äquivalentdosis <math>H</math> und ihre Einheit an:  <math display="block">[H] = 1 \text{ Sv ("Sievert")}.</math> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• recherchieren wesentliche Quellen ionisierender Strahlung im Alltag,</li> <li>• recherchieren die mittlere Äquivalentdosis pro Jahr in Deutschland für natürliche und künstliche Quellen ionisierender Strahlung,</li> <li>• bewerten das Problem, das durch die Verarbeitung und Lagerung des zurückbleibenden radioaktiven Mülls aus Kernkraftwerken entsteht,</li> <li>• diskutieren das Für und Wider von Kernkraftwerken im nationalen und internationalen Rahmen.</li> </ul>
<b>Hinweise</b>	
<p><b>Allgemeine Hinweise:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Atommodell: Historische Entwicklung auch in Chemie, Kern-Hüllen-Modell mit unstrukturiertem Kern bereits in KS 9</li> <li>– Streuexperimente: nach dem gleichen Prinzip lässt sich auch die Struktur der Nukleonen untersuchen (Quarks)</li> <li>– Stabilität: Grenze bei <math>Z = 82</math> (Blei), natürlich vorkommende instabile Elemente bis <math>Z = 92</math> (Uran), Elemente mit <math>Z &gt; 92</math> müssen auf der Erde künstlich erzeugt werden, zur Zeit bis <math>Z = 118</math> (Transurane)</li> <li>– freiwerdende Energien, gerundet (ohne Berechnung): <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verbrennung von 1 kg Steinkohle: 30 MJ</li> <li>– Spaltung von 1 kg U235: 80 000 000 MJ</li> <li>– Fusion von 1 kg He4 aus H2 und H3: 420 000 000 MJ</li> </ul> </li> <li>– ionisierende Strahlung: Teilchenstrahlung (<math>\alpha</math>, <math>\beta^-</math>, <math>\beta^+</math>, <math>p</math>, ...), Gammastrahlung, Röntgenstrahlung, UV-Strahlung</li> <li>– Strahlenbelastung durch natürliche Quellen: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kosmische Strahlung</li> <li>– Terrestrische Strahlung</li> <li>– Natürliche radioaktive Stoffe, die durch Stoffwechselfvorgänge wie Atmung und Ernährung in den Körper gelangen (Radon, Cäsium, C14)</li> <li>– evolutionäre Anpassung an diese Strahlenbelastung</li> <li>– Radioaktive Baustoffe</li> </ul> </li> </ul>	

**Hinweise**

- Strahlenbelastung durch künstliche Quellen:
  - Überreste nuklearer Katastrophen (Tschernobyl, Fukushima)
  - Fallout von Tests und Abwürfen von Atom- oder Wasserstoffbomben
  - Flüge in großen Höhen
  - Medizinische Untersuchungen und Behandlungen
- Mittlere jährliche Strahlenbelastung in Deutschland (Stand 2011) durch
  - Natürliche Strahlenquellen: ca. 2 mSv (davon Radon: 1,1 mSv)
  - künstliche Strahlenquellen: ca. 2 mSv (davon Medizin: 1,9 mSv)
- Messung der Strahlenbelastung: Dosimeter
- Anwendungen ionisierender Strahlung:
  - Werkstoffprüfung
  - Krebstherapie
  - Bildgebende Verfahren in der Medizin
  - Entkeimung
- Zerfallsgesetz: Messung von  $N(t)$  nicht möglich
- Simulation des Zerfallsgesetzes mit Würfeln möglich
- Aktivität:
  - Mathematische Herleitung von  $A(t)$  nicht möglich
  - $A(t) \sim N(t)$  nur als Plausibilität
  - Zählrate des Geiger-Müller-Zählrohres nicht gleich Aktivität des Präparates

**Zusätzliche geeignete (Schüler-)Experimente, nur unter Beachtung der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung!**

- Aktivität von Lebensmitteln, Haushaltsmaterialien, Baustoffen, ...
- Absorptionsverhalten verschiedener Materialien (Halbwertsdicke)
- Zählraten in Abhängigkeit vom Abstand zur Strahlungsquelle

**Projekte**

- Biographien von Rutherford, Becquerel, den Curies und anderen
- Umweltradioaktivität
- Aktivitätsverlauf in Deutschland und weltweit und Untersuchung der Einflussfaktoren (z. B. Atomwaffentests) z.B. über Messdaten des Bundesamtes für Strahlenschutz
- Zivile und militärische „Nutzung“ der Kerntechnik

**Außerschulische Lernorte**

- Besichtigung eines Kernkraftwerks oder einer Kernforschungseinrichtung
- Anlagen zur Strahlentherapie und bildgebenden Verfahren mit ionisierenden Strahlen in der Medizin
- Labore zur Qualitätssicherung in Stahlbau- und Schweißbetrieben

## Hinweise

**Fachübergreifende und fächerverbindende Bezüge**

- Politik: Diskussion zur zukünftigen Energieversorgung mit bzw. ohne Nutzung von Kernkraftwerken, Zwischen- und Endlagerung des radioaktiven Mülls
- Chemie: Periodensystem der Elemente, historische Atommodelle, Reaktionsgleichungen und Erhaltungsgrößen
- Biologie: Reparaturmechanismen in Zellen, Zellschädigungen, Schädigung der DNA
- Geschichte: Datierung von Ereignissen in der Vor- und Frühgeschichte
- Mathematik: Exponential- und Logarithmusbegriff

**Geeignete Kontexte:**

- zerstörungsfreie Werkstoffprüfung
- Strahlentherapien und bildgebende Verfahren in der Medizin
- Altersbestimmung in der Archäologie und C14 Methode (z. B. Mumie in den Öztaler Alpen)
- Strahlengesundheit in der Luft- und Raumfahrt