

# Physik

Lehrplan

Gymnasiale Oberstufe

Einführungsphase

2023

• Ministerium für  
Bildung und Kultur

**SAARLAND**



# 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 und Hinweise auf die Tiefe der Behandlung.

In den Themenfeldern „Kraft und Bewegung“ sowie „Kernenergie und Radioaktivität“ sind daran anschließend 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, denen in der rechten Spalte Kompetenzerwartungen aus den Bereichen Sachkompetenz, Erkenntnisgewinnungskompetenz, Kommunikationskompetenz und Bewertungskompetenz (prozessbezogene Kompetenzen) zugeordnet werden. Das Kapitel „Umgang mit Messdaten in der Physik“ weicht von dieser Struktur ab, um seine Besonderheit zu verdeutlichen: Die darin aufgeführten Kompetenzen sollen an geeigneten Inhalten der Themenfelder „Kraft und Bewegung“ sowie „Kernenergie und Radioaktivität“ erlernt werden.

Die Kompetenzschwerpunkte sind bewusst detailliert beschrieben. Dies geschieht mit dem Ziel, die Intensität der Bearbeitung möglichst präzise festzulegen. So kann vermieden werden, dass Lernbereiche weder zu intensiv noch 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. 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.

Im Anschluss an die verbindlichen Kompetenzerwartungen zu den Themenfeldern „Kraft und Bewegung“ sowie „Kernenergie und Radioaktivität“ gibt der Lehrplan Hinweise zu Versuchen, Begriffen, Kontexten und zu Themen aus vorhergehenden Klassen, die einen Bezug zum Thema haben. Weiterhin werden fächerübergreifende Bezüge und außerschulische Lernorte aufgeführt. Auch Hinweise zur Bildung für nachhaltige Entwicklung und zur Berufsorientierung sind vorhanden. Schließlich werden noch Medien genannt, die sich im Themenfeld einsetzen lassen. 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 Themenfelder 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

Themenfelder Einführungsphase	Physik
<b>Umgang mit Messdaten in der Physik</b>	
<b>Kraft und Bewegung</b>	<b>70 %</b>
Trägheitssatz und gleichförmige Bewegung	
Geradlinig gleichmäßig beschleunigte Bewegung	
Grundgesetz der Mechanik	
Freier Fall	
Senkrechter Wurf	
Wechselwirkungsprinzip und Stoßprozesse	
Gleichförmige Kreisbewegung	
<b>Kernenergie und Radioaktivität</b>	<b>30 %</b>
Kern-Hüllen-Modell	
Kernbindungsenergie	
Kernkraftwerke	
Radioaktivität	

Keine Messung ist vollkommen exakt, sondern weist stets eine gewisse Unsicherheit auf. Das Messwesen unterscheidet zwischen Messunsicherheiten einzelner Messwerte und Messunsicherheiten indirekt gemessener Größen sowie Messabweichungen. Die Messunsicherheit ist ein Parameter, der die Streuung von Werten in einem Intervall kennzeichnet. Unter Messabweichung wird die Differenz eines Messwerts oder Messergebnisses zu einem Referenzwert (z. B. Literaturwert) verstanden.

Die Begriffe „Messfehler“, „grober Fehler“, „systematischer Fehler“ und „zufälliger Fehler“ werden in der das Messwesen regelnden Norm DIN 1319 nicht mehr verwendet und sollten aus diesem Grund auch im Unterricht vermieden werden. Messunsicherheiten können sich beispielsweise aus den Messgerätetoleranzen ergeben oder auch statistischer Natur sein, z. B. bei Wiederholungsmessungen.

Die folgenden Kompetenzen sollen in den Kapiteln Kraft und Bewegung sowie Kernenergie und Radioaktivität an geeigneten Stellen exemplarisch eingeübt werden.

Die Schülerinnen und Schüler

- nennen Ursachen von Messunsicherheiten und beschreiben ihren Einfluss auf den Messwert (z. B. aus der Messgerätetoleranz oder ggf. der Ablesegenauigkeit),
- unterscheiden zwischen den Begriffen „Messunsicherheit“ und „Messabweichung“,
- geben an, dass der wahre Wert einer Messgröße unbekannt ist, und dass Messen das Ziel hat, einen Bestwert der Messung mit einer vertretbaren Messunsicherheit zu erzielen,
- berechnen bei einer Mehrfachmessung den Bestwert (= Mittelwert) und geben die Messunsicherheit als maximale Differenz zwischen einem Messwert und dem Bestwert an,
- geben das Ergebnis einer Mehrfachmessung in der Form Messgröße = Bestwert  $\pm$  Messunsicherheit an (Bestwert = Mittelwert der Messreihe),
- legen für die Messunsicherheit eine sinnvolle Anzahl signifikanter Stellen (1 bis 2) fest und runden den Bestwert entsprechend (z. B.  $v = 9,2 \frac{m}{s} \pm 0,1 \frac{m}{s}$ ),
- erstellen Messwerttabellen, untersuchen diese auf proportionale bzw. umgekehrt proportionale Zusammenhänge zwischen den gemessenen Größen und stellen die zugehörige Gleichung auf,
- zeichnen eine Ausgleichsgerade nach Augenmaß, so dass die Summe der Abweichungen der Messpunkte von der Geraden möglichst gering ist und stellen die zugehörige Gleichung auf,
- geben an, dass physikalische Theorien immer nur in bestimmten Grenzen gültig sind und geben den Gültigkeitsbereich in Spezialfällen an.

Das Themenfeld Kraft und Bewegung umfasst die Gebiete der Kinematik und Dynamik, mit den Newton'schen Axiomen als tragenden Säulen der klassischen Mechanik. Ziel des Unterrichts in der Einführungsphase ist dabei eine zunehmend mathematisch-quantitative Beschreibung physikalischer Zusammenhänge.

Dies gelingt nur durch die Reduktion der Wirklichkeit auf ein Modell, das alle wichtigen Aspekte der betrachteten Bewegung repräsentiert. Die Festlegung eines Koordinatensystems und die Auswahl eines geeigneten Massenpunktes soll von den Schülerinnen und Schülern als solcher Akt der Modellbildung verstanden werden.

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.

Die bei der gleichförmigen Kreisbewegung auftretenden Kräfte lassen sich in der Einführungsphase 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“. Da die Umsetzung der experimentellen Überprüfung von allen drei Größen sehr zeitintensiv ist, genügt es, dass im Experiment die Abhängigkeit von einer der Einflussgrößen auf die Zentripetalkraft geprüft wird.

Das gesamte 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 Hauptphase. 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.

## Fachwissen

Sach-, Erkenntnisgewinnungs-,  
Kommunikations- und  
Bewertungskompetenz

## Trägheitssatz und gleichförmige Bewegung

Die Schülerinnen und Schüler

- definieren die mittlere Geschwindigkeit  $\bar{v}$  als den Quotienten aus dem zurückgelegten Weg  $\Delta s$  und der benötigten Zeitspanne  $\Delta t$ :

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t},$$

- bezeichnen Bewegungen mit konstantem Geschwindigkeitsbetrag  $v$  als gleichförmig,
- bezeichnen die Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit  $\vec{v}$  als geradlinig gleichförmige Bewegung,
- geben den Trägheitssatz als 1. Newton'sches Axiom an:  
Die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  eines Körpers ändert sich nicht, solange die Summe aller auf ihn wirkenden äußeren Kräfte null ist.

Die Schülerinnen und Schüler

- recherchieren Beispiele für Bewegungen und ordnen sie nach den Kriterien gleichförmig/ungleichförmig und geradlinig/nicht geradlinig,
- planen ein Experiment zur Bestimmung einer mittleren Geschwindigkeit und führen es durch,
- erläutern den vektoriellen Charakter der Geschwindigkeit,
- planen ein Experiment zur Realisierung einer kräftefreien Bewegung, beteiligen sich an der Durchführung und diskutieren die Fehlerquellen und deren Größenordnung,
- erläutern, dass zur Beschreibung einfacher Bewegungen eines Körpers meist ein ausgezeichnete Punkt ausreicht (Massenpunkt),
- erläutern, dass Ortsangaben für einen Massenpunkt die Wahl eines festen Bezugssystems voraussetzen,
- erläutern den Einfluss der Wahl unterschiedlicher Bezugssysteme auf die Beschreibung von Ruhe und Bewegung.

**Fachwissen**

Die Schülerinnen und Schüler

- unterscheiden zwischen dem Ort  $s(t)$  eines Massenpunktes zum Zeitpunkt  $t$  und dem in der Zeitspanne  $\Delta t$  zurückgelegten Weg  $\Delta s$ ,
- geben das Orts-Zeit-Gesetz für die geradlinig gleichförmige Bewegung an:

$$s(t) = v \cdot t + s_0 ,$$

**Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz**

Die Schülerinnen und Schüler

- zeichnen die  $s(t)$ -Diagramme für verschiedene gleichförmige Bewegungen (auch mehrere, gleichzeitig ablaufende),
- bestimmen mit Hilfe von  $s(t)$ -Diagrammen verschiedene Parameter gleichförmiger Bewegungen (Startpunkte, Geschwindigkeiten, Treffpunkte und Treffzeiten),
- lösen Aufgaben mit Hilfe des Orts-Zeit-Gesetzes,
- berechnen die Treffpunkte und Treffzeiten bei zwei gleichzeitig ablaufenden geradlinig gleichförmigen Bewegungen,

**Geradlinig gleichmäßig beschleunigte Bewegung**

- folgern aus dem 1. Newton'schen Axiom, dass sich die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  eines Körpers nach Betrag oder Richtung ändert, wenn der Betrag der Gesamtkraft auf ihn nicht Null ist,
- bezeichnen Bewegungen mit nicht konstanten Geschwindigkeiten als beschleunigte Bewegungen,
- nennen Beispiele für beschleunigte Bewegungen unter dem Einfluss einer konstanten Kraft,
- unterscheiden die Momentangeschwindigkeit  $v(t)$  zu einem Zeitpunkt  $t$  von der mittleren Geschwindigkeit  $\bar{v}$  während einer Zeitspanne  $\Delta t$ ,
- geben die folgende Näherungsformel für die Momentangeschwindigkeit an:

$$v(t) \approx \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s(t_2) - s(t_1)}{t_2 - t_1}$$

für hinreichend kleine  $\Delta t$ .

- 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,
- diskutieren Möglichkeiten, die Momentangeschwindigkeit bei einer beschleunigten Bewegung zu messen,
- planen ein Experiment zur näherungsweise Bestimmung einer Momentangeschwindigkeit bei einer geradlinig beschleunigten Bewegung unter dem Einfluss einer konstanten Kraft, beteiligen sich aktiv an seiner Durchführung und beurteilen die Qualität der Messwerte.



**Fachwissen**

Die Schülerinnen und Schüler

- definieren die Beschleunigung  $a$  bei einer geradlinig beschleunigten Bewegung unter dem Einfluss einer (parallel zur Wegrichtung wirkenden) konstanten Kraft als den Quotienten aus der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  und der benötigten Zeitspanne  $\Delta t$  und geben ihre Einheit an:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, [a] = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2},$$

- bezeichnen eine geradlinige Bewegung unter dem Einfluss einer konstanten (parallel zur Wegrichtung wirkenden) Kraft als geradlinig gleichmäßig beschleunigte Bewegung,
- geben das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz für die geradlinig gleichmäßig beschleunigte Bewegung an:
  - für  $v_0 = 0$ :  $v(t) = a \cdot t$ ,
  - allgemein:  $v(t) = a \cdot t + v_0$ ,
- geben das Orts-Zeit-Gesetz der geradlinig gleichmäßig beschleunigten Bewegung an:
  - für  $s_0 = 0, v_0 = 0$ :  

$$s(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2,$$
  - allgemein:  

$$s(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0.$$

**Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz**

Die Schülerinnen und Schüler

- beteiligen sich aktiv an der Durchführung eines Experiments zur Bestimmung von Momentangeschwindigkeiten im Verlauf einer geradlinig beschleunigten Bewegung unter dem Einfluss einer konstanten (parallel zur Wegrichtung wirkenden) Kraft und protokollieren das Ergebnis in Form eines  $v(t)$ -Diagramms,
- erläutern den vektoriellen Charakter der Beschleunigung,
- begründen das Orts-Zeit-Gesetz der geradlinig gleichmäßig beschleunigten Bewegung für  $s_0 = 0$  und  $v_0 = 0$  durch Flächenbetrachtungen im  $v(t)$ -Diagramm,
- interpretieren  $s(t)$ -Diagramme und  $v(t)$ -Diagramme von Bewegungen,
- lösen Aufgaben zum Orts-Zeit-Gesetz und zum Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz der geradlinig gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

## Fachwissen

Sach-, Erkenntnisgewinnungs-,  
Kommunikations- und  
Bewertungskompetenz**Grundgesetz der Mechanik**

Die Schülerinnen und Schüler

- formulieren das Grundgesetz der Mechanik als 2. Newton'sches Axiom:  
Wirkt auf einen Körper der Masse  $m$  die Kraft  $\vec{F}$ , so erfährt er die Beschleunigung  $\vec{a}$  in Richtung der Kraft und es gilt:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} ,$$

- geben die dynamische Definition der Krafteinheit an:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} ,$$

- geben an, dass gilt:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} ,$$

**Freier Fall**

- bezeichnen eine Bewegung eines zu Beginn ruhenden Körpers unter dem ausschließlichen Einfluss der Gewichtskraft als freien Fall,

- geben den Betrag der Fallbeschleunigung auf der geografischen Breite Deutschlands an:

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} .$$

Die Schülerinnen und Schüler

- bilden Hypothesen über die Abhängigkeit der erreichten Beschleunigung  $a$  und beteiligen sich aktiv an der experimentellen Überprüfung,

- leiten die Formel für die kinetische Energie aus den Bewegungsgesetzen, dem 2. Newton'schen Axiom und der Definition der Arbeit her,

- lösen Aufgaben mit Hilfe der vektorfreien Formulierung des 2. Newton'schen Axioms  $F = m \cdot a$ ,

- schließen aus dem 2. Newton'schen Axiom auf die Unabhängigkeit der Beschleunigung eines frei fallenden Körpers von seiner Masse,

- beobachten Fallbewegungen von Körpern verschiedener Masse im luftgefüllten und evakuierten Fallrohr,

- interpretieren den Ortsfaktor  $g$  als Betrag der Fallbeschleunigung.

**Fachwissen**

Die Schülerinnen und Schüler

- geben das Orts-Zeit-Gesetz und das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz für den freien Fall an:
    - $s(t) = \frac{1}{2}g \cdot t^2$ ,
    - $v(t) = g \cdot t$

(für ein Bezugssystem mit dem Startpunkt als Ursprung mit positiver Zählrichtung nach unten),

  - $h(t) = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + h_0$
  - $v(t) = -g \cdot t$ ,
- (für ein Bezugssystem mit dem Boden als Ursprung mit positiver Zählrichtung nach oben).

**Senkrechter Wurf****Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz**

Die Schülerinnen und Schüler

- planen ein Experiment zur Überprüfung des Orts-Zeit-Gesetzes für den freien Fall, beteiligen sich aktiv an seiner Durchführung und dokumentieren das Ergebnis in Form eines Orts-Zeit-Diagramms,
- lösen Aufgaben zum freien Fall mit Hilfe der Bewegungsgesetze,
- interpretieren den senkrechten Wurf als spezielle, geradlinig gleichmäßig beschleunigte Bewegung und geben das Orts-Zeit-Gesetz und das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz für den senkrechten Wurf an:
  - $h(t) = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + v_0 \cdot t + h_0$ ,
  - $v(t) = -g \cdot t + v_0$ ,
- (für ein Bezugssystem mit dem Boden als Ursprung mit positiver Zählrichtung nach oben),
- lösen Aufgaben zum senkrechten Wurf mit Hilfe der Bewegungsgesetze und dem Energieerhaltungssatz (z. B. Berechnung von Steig-, Fall-, Flugzeit und Wurfhöhe).

## Fachwissen

Sach-, Erkenntnisgewinnungs-,  
Kommunikations- und  
Bewertungskompetenz

## Wechselwirkungsprinzip und Stoßprozesse

Die Schülerinnen und Schüler

- formulieren das Wechselwirkungsprinzip als 3. Newton'sches Axiom:

Übt ein Körper 1 auf einen Körper 2 die Kraft  $\vec{F}_{12}$  aus, so übt umgekehrt auch Körper 2 auf Körper 1 die Kraft  $\vec{F}_{21}$  aus und es gilt:  $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ ,

- definieren den Begriff "zentraler gerader Stoß",

- definieren die physikalische Größe Impuls als Produkt aus der Masse eines Körpers und seiner Geschwindigkeit und geben ihre Einheit an:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}, \quad [p] = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 1 \text{ Ns},$$

- definieren den Begriff mechanisch abgeschlossenes System,
- formulieren den Impulserhaltungssatz:  
In einem mechanisch abgeschlossenen System ist die Summe aller Impulse nach Betrag und Richtung konstant.

Die Schülerinnen und Schüler

- führen einfache Versuche zum Wechselwirkungsprinzip durch,
- erläutern das Wechselwirkungsprinzip und seine Folgen an Beispielen aus dem täglichen Leben,
- erläutern den Unterschied zwischen Kräften nach dem Wechselwirkungsprinzip und dem Kräftegleichgewicht,
- leiten aus dem Wechselwirkungsprinzip für den zentralen geraden Stoß zweier Körper die Beziehung her:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2,$$

wobei  $v$  die Geschwindigkeiten der Körper vor dem Stoß und  $u$  die Geschwindigkeiten nach dem Stoß bezeichnen,

- erläutern den vektoriellen Charakter des Impulses,
- wenden die Erhaltung des Impulses beim zentralen geraden Stoß zur Beschreibung bestimmter Situationen an (z. B. Rückstoßprinzip).

**Fachwissen**

Die Schülerinnen und Schüler

- geben an, dass der Impulserhaltungssatz unabhängig vom Energieerhaltungssatz ist,
- bezeichnen den Stoß zweier Körper als vollkommen unelastisch, wenn sich beide Körper nach dem Stoß gemeinsam weiterbewegen, also  $u_1 = u_2 = u$
- bezeichnen den Stoß zweier Körper als elastisch, wenn beim Stoß die kinetische Energie erhalten bleibt,

**Gleichförmige Kreisbewegung**

- wenden die Definition der Geschwindigkeit auf die gleichförmige Kreisbewegung an und bezeichnen diese als Bahngeschwindigkeit:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t},$$

- wenden die Definition der Frequenz auf die gleichförmige Kreisbewegung an:

$$f = \frac{n}{t},$$

- wenden die Definition der Periodendauer auf die gleichförmige Kreisbewegung an und bezeichnen diese als Umlaufdauer:

$$T = \frac{t}{n}.$$

**Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz**

Die Schülerinnen und Schüler

- leiten die Formel für die Geschwindigkeit nach einem vollkommen unelastischen Stoß aus dem Impulserhaltungssatz her:

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2},$$

- berechnen den auftretenden Verlust an kinetischer Energie beim vollkommen unelastischen Stoß an einem Beispiel,
- lösen Aufgaben zum vollkommen unelastischen Stoß
- lösen einfache Aufgaben für den elastischen Stoß mit Hilfe der Formeln für die Endgeschwindigkeiten:

$$u_1 = \frac{2m_2 v_2 + (m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2},$$

$$u_2 = \frac{2m_1 v_1 + (m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2},$$

- recherchieren Beispiele für Kreisbewegungen und ordnen sie nach den Kriterien gleichförmig/ungleichförmig.

**Fachwissen**

Die Schülerinnen und Schüler

- definieren die physikalische Größe Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  einer gleichförmigen Kreisbewegung als den Quotienten aus dem überstrichenen Winkel  $\Delta\varphi$  (im Bogenmaß) und der dazu benötigten Zeitspanne  $\Delta t$ , und geben ihre Einheit an:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, [\omega] = 1 \frac{1}{s},$$

- wenden die Definitionen von Bahngeschwindigkeit, Frequenz und Winkelgeschwindigkeit auf den Spezialfall  $\Delta t = T$  an:

$$v = \frac{2\pi r}{T}, f = \frac{1}{T} \text{ und } \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

- bezeichnen die Kraft, die einen Körper auf einer Kreisbahn hält, als Zentripetalkraft bzw. Radialkraft und die dabei auftretende Beschleunigung als Zentripetalbeschleunigung bzw. Radialbeschleunigung,
- geben an, dass die Zentripetalkraft stets zum Kreismittelpunkt gerichtet ist,
- formulieren die Gesetzmäßigkeit für die Zentripetalkraft bei der gleichförmigen Kreisbewegung:

$$F_r = m \omega^2 r.$$

**Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz**

Die Schülerinnen und Schüler

- planen ein Experiment zur Realisierung einer gleichförmigen Kreisbewegung, führen es durch und bestimmen die Bahngeschwindigkeit, Frequenz und Umlaufdauer,
- leiten den Zusammenhang zwischen Bahn- und Winkelgeschwindigkeit her:

$$v = \omega \cdot r,$$

- begründen mit Hilfe des Trägheitssatzes, dass bei der gleichförmigen Kreisbewegung stets eine Kraft wirken muss,
- identifizieren in konkreten Situationen die Kräfte, die die für die gleichförmige Kreisbewegung erforderliche Zentripetalkraft liefern,
- geben an, dass die Zentripetalkraft stets senkrecht zur momentanen Bewegungsrichtung des sich bewegenden Körpers gerichtet ist und folgern daraus, dass die am Körper verrichtete Arbeit gleich null ist,
- beteiligen sich aktiv an einem Experiment zur Überprüfung der Abhängigkeit der Zentripetalkraft von einer der Größen Masse, Bahnradius oder Winkelgeschwindigkeit,
- leiten die Gesetzmäßigkeit für die Zentripetalkraft in Abhängigkeit von der Bahngeschwindigkeit her:

$$F_r = m \frac{v^2}{r},$$

- leiten die Gesetzmäßigkeit für die Zentripetalbeschleunigung her:

$$a_r = \omega^2 r = \frac{v^2}{r}.$$

**Fachwissen****Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz**

Die Schülerinnen und Schüler

- wenden die Gesetze der gleichförmigen Kreisbewegung auf Bewegungen im Alltag an,
- lösen Aufgaben zu Kräften und Beschleunigungen bei der gleichförmigen Kreisbewegung.

**Hinweise****Allgemeine Hinweise**

- Trägheitssatz: Vergleich mit der bisherigen Formulierung, Interpretation der Originalfassung von Newton, Erklärung von Alltagsphänomenen (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) Zykloide.
- 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 oder Speichenrad 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
- gleichmäßig beschleunigte Bewegung: Faustformeln aus der Fahrschule für Reaktionsweg, Bremsweg und Anhalteweg durch erarbeitete Bewegungsgesetze überprüfen

**Hinweise**

- Frequenzbestimmung: Kurzzeitmesser mit Lichtschranke, Stroboskop, Fotowiderstand am Oszillographen mit unterbrochenem Laserstrahl
- alternative Formeln für die Endgeschwindigkeiten beim elastischen Stoß:
  - $u_1 = 2 \cdot \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_1$ ,
  - $u_2 = 2 \cdot \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_2$
- elastischer Stoß: Bedeutung im atomaren Bereich (Gasgesetze)

**Geeignete Einstiege und Kontexte**

- Fahrgeschäfte/Achterbahnen in Freizeitparks
- Astronomie
- Navigationssysteme

**Fachübergreifende und fächerverbindende Bezüge**

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

**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

**Bildung für nachhaltige Entwicklung**

- Minimierung von Reibungskräften als Ansatz für die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs bei Fahrzeugen
- Diskussion geeigneter Fahrweisen zur Minimierung des Kraftstoffverbrauchs bei Fahrzeugen

**Berufsorientierende Aspekte**

- Besuch der Zentralen Studienberatung der Universität des Saarlandes
- Studium Maschinenbau
- Prüfstände, z. B. für Crashtests
- Prinzip der Funktionsweise von Beschleunigungssensoren und deren Verwendung in Alltagsgeräten
- Einblick in den Stand der Technik durch den Einsatz von Messwerterfassungssystemen



**Hinweise****Medienbildung**

Programme zur Videoanalyse

- dynamische Geometriesoftware (Kraft als Vektor)
- Messwerterfassungssysteme bei Fahrbahnversuchen

**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

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“ eine neue Art der Wechselwirkung beschreibt, die sich von der Gravitation und der elektromagnetischen Wechselwirkung deutlich unterscheidet.

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 zwischen der starken Kraft und der elektromagnetischen Kraft, welche die chemischen Reaktionen dominiert.

Die Effizienz der Energiefreisetzung bei Kernreaktionen führt unmittelbar zur friedlichen (und militärischen) Nutzung der Kernenergie. Die Abläufe im Kernkraftwerk können jetzt physikalisch betrachtet werden. Ziel ist es, die Schülerinnen und Schüler zu einer verantwortungsvollen Teilhabe an der Diskussion zur Nutzung der Kernenergie zu befähigen.

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 Strahlung, die von radioaktiven Präparaten ausgehen (im Folgenden kurz „radioaktive Strahlung“ genannt), zu begegnen und sie durch die Fähigkeit zu ersetzen, Strahlendosen in ihrer Wirkung zu beurteilen. (Anmerkung: „Radioaktive Strahlung“ ist ein umgangssprachlicher Begriff, der sich allerdings immer mehr durchsetzt. Korrekt müsste es heißen "ionisierende Strahlung, die von einem radioaktiven Präparat ausgesendet wird", denn die Strahlung ist ja nicht radioaktiv, sondern das Präparat.)

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 entsprechenden 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. Fakultativ kann zusätzlich die Aktivität behandelt werden, da sie im Gegensatz zur Anzahl der noch vorhandenen Kerne eine messbare Größe darstellt und da sie für die radioaktive Altersbestimmung mit der C14-Methode von Bedeutung ist.

## Fachwissen

Sach-, Erkenntnisgewinnungs-,  
Kommunikations- und  
Bewertungskompetenz

## Kern-Hüllenmodell

Die Schülerinnen und Schüler

- geben das Kern-Hülle-Modell an,
- geben die Größenordnungen und das Größenverhältnis von Atomkern und Atomhülle an,
- beschreiben die wesentlichen Bestandteile eines Kernmodells mit Protonen und Neutronen,
- bezeichnen die Protonen und Neutronen auch als Kernbausteine oder Nukleonen,
- geben die atomare Masseneinheit an:  
 $1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,
- bezeichnen die Anzahl der Protonen eines Atomkerns als Kernladungszahl  $Z$ , die Anzahl der Neutronen als Neutronenzahl  $N$  und die Summe  $N+Z$  als Massenzahl  $A$ ,
- 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.

Die Schülerinnen und Schüler

- beschreiben den prinzipiellen Aufbau und die wesentlichen Beobachtungen des Streuversuchs nach Rutherford,
- erklären, warum die Beobachtungen des Streuversuchs von Rutherford entscheidend für die Entstehung des Kern-Hüllen-Modells waren,
- stellen Teilchen mit dem Teilchensymbol  $X$ , der Massenzahl  $A$  und der Kernladungszahl  $Z$  mit der Kurzschreibweise  ${}^A_Z X$  dar (z.B.  ${}^{235}_{92}\text{U}$ ),
- stellen Atomkerne auch in der Kurzschreibweise  $XA$  dar (z.B.  $\text{U235}$ ).

**Fachwissen**

Die Schülerinnen und Schüler

- bezeichnen Atome des gleichen Elements mit unterschiedlicher Neutronenzahl als Isotope,
- bezeichnen die spezielle Zusammensetzung eines Atomkerns aus Protonen und Neutronen als Nuklid,

**Kernbindungsenergie**

- bezeichnen die zwischen den Nukleonen im Atomkern wirkende, anziehende Kraft als Kernkraft oder starke Kraft,
- geben die Grenze der Stabilität für schwere Atomkerne an,
- bezeichnen die Energie, die zum Zerlegen eines Atomkerns in seine Nukleonen zugeführt werden muss, als Kernbindungsenergie.

**Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz**

Die Schülerinnen und Schüler

- bestimmen unter Zuhilfenahme einer Nuklidkarte den Aufbau von Atomkernen,
- lösen Aufgaben zur Zusammensetzung von Atomkernen,
- schließen aus der Stabilität der Atomkerne auf die Existenz einer anziehenden Kraft im Atomkern,
- vergleichen die Reichweite von Kernkraft und elektrischer Kraft,
- erläutern, dass zum Zerlegen eines Atomkerns in seine Nukleonen gegen die starke Kraft Arbeit verrichtet werden muss,
- erklären mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes, dass beim Zusammenbau eines Atomkerns aus einzelnen Nukleonen die Kernbindungsenergie frei wird,
- erklären mit Hilfe eines Diagramms zur mittleren Kernbindungsenergie pro Nukleon, welche Kerne zur Kernfusion bzw. zur Kernspaltung geeignet sind.

**Fachwissen****Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz**

Die Schülerinnen und Schüler

Die Schülerinnen und Schüler

- beschreiben mit Hilfe einer einfachen Reaktionsgleichung die Kernfusion von Wasserstoff zu He4,
- recherchieren den Stand der Umsetzung der Kernfusion auf der Erde und erläutern einige der Schwierigkeiten,
- beschreiben mit Hilfe einer einfachen Reaktionsgleichung die Spaltung von U235,
- recherchieren Angaben zur freiwerdenden Energie bei Kernfusion oder Kernspaltung und vergleichen die Größenordnung mit der bei der Verbrennung von Kohle,

**Kernkraftwerke**

- unterscheiden kontrollierte und unkontrollierte Kettenreaktionen und erläutern sie anhand der Spaltung von U235,
- geben an, dass unkontrollierte Kettenreaktionen in atomaren Sprengwaffen eingesetzt werden.

- beschreiben den Aufbau eines Kernkraftwerks mit Brennstäben, Regelstäben, Moderator, Primärkreislauf, Wärmetauscher, Turbine, Generator und Sekundärkreislauf,

**Radioaktivität**

- beschreiben ein Experiment zur Demonstration der ionisierenden Wirkung „radioaktiver Strahlung“,
- beschreiben den prinzipiellen Aufbau eines Geiger-Müller-Zählers mit Glimmer- oder Folienfenster, Metallgehäuse, Draht und Zählinheit und erläutern seine Funktionsweise.

**Fachwissen****Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz**

Die Schülerinnen und Schüler

- bezeichnen den Quotienten aus der Anzahl der von einem Geiger-Müller-Zähler registrierten Ereignisse und der Zeitspanne als Zählrate,
- bezeichnen die Zählrate aufgrund der natürlich vorkommenden Strahlung als Nullrate,
- bezeichnen die Komponenten „radioaktiver Strahlung“ mit  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$ ,
- geben die Identität der  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung an (He4-Kerne, Elektronen, energiereiches Licht),
- geben an, dass alle Komponenten der „radioaktiven Strahlung“ aus dem Atomkern stammen,
- geben an, dass es bei Aussendung eines  $\beta$ -Teilchens im Atomkern zur Umwandlung eines Neutrons in ein Proton und ein Elektron kommt,
- bezeichnen die Vorgänge im Atomkern, die zur Aussendung „radioaktiver Strahlung“ führen, als radioaktiven Zerfall und die dabei auftretende Folge von Elementumwandlungen bis zu einem stabilen Nuklid als Zerfallsreihe,
- geben Blei als stabiles Endelement der meisten Zerfallsreihen an,
- bezeichnen die mittlere Zeitspanne, nach der sich die Hälfte der Atomkerne eines Präparats durch radioaktiven Zerfall umgewandelt hat, als Halbwertszeit  $t_H$ .

Die Schülerinnen und Schüler

- erläutern den stochastischen Charakter radioaktiver Ereignisse,
- beschreiben Experimente zur Untersuchung der Komponenten der „radioaktiven Strahlung“ im Hinblick auf ihre Masse, Ladung, Reichweite in Luft und Möglichkeit der Abschirmung,
- wenden die Kurzschreibweise für Teilchen auf die Komponenten der radioaktiven Strahlung an,
- beschreiben unter Zuhilfenahme einer Nuklidkarte die Vorgänge bei der Aussendung „radioaktiver Strahlung“ mit Kernreaktionsgleichungen,
- stellen Zerfallsreihen unter Zuhilfenahme einer Nuklidkarte auf,
- recherchieren die Halbwertszeit von U235 und von Nukliden, die bei dessen Spaltung in Kernkraftwerken erzeugt werden.

**Fachwissen**

- geben das Zerfallsgesetz für die Anzahl  $N(t)$  der noch nicht zerfallenen Atomkerne beim radioaktiven Zerfall an:

$$N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_H}},$$

- geben als Maß für die Schädlichkeit ionisierender Strahlung auf lebende Organismen die Äquivalentdosis  $H$  und ihre Einheit an:

$$[H] = 1 \text{ Sv ("Sievert") .}$$

**Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz**

- skizzieren das  $N(t)$ -Diagramm zum Zerfallsgesetz,
- lösen einfache Aufgaben mit Hilfe des Zerfallsgesetzes auch unter Verwendung von  $N(t)$ -Diagrammen,
- recherchieren wesentliche Quellen ionisierender Strahlung im Alltag,
- recherchieren die mittlere Äquivalentdosis pro Jahr in Deutschland für natürliche und künstliche Quellen ionisierender Strahlung.

**Hinweise****Allgemeine Hinweise:**

- Atommodell: Historische Entwicklung auch in Chemie,
- Stabilität: Grenze bei  $Z = 82$  (Blei), natürlich vorkommende instabile Elemente bis  $Z = 92$  (Uran), Elemente mit  $Z > 92$  müssen auf der Erde künstlich erzeugt werden, zur Zeit bis  $Z = 118$  (Transurane)
- freiwerdende Energien, gerundet (ohne Berechnung):
  - Verbrennung von 1 kg Steinkohle: 30 MJ
  - Spaltung von 1 kg U235: 80 000 000 MJ
  - Fusion von 1 kg He4 aus H2 und H3: 420 000 000 MJ
- ionisierende Strahlung: Teilchenstrahlung ( $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ , p, ...), Gammastrahlung, Röntgenstrahlung, UV-Strahlung
- Strahlenbelastung durch natürliche Quellen:
  - kosmische Strahlung
  - terrestrische Strahlung
  - natürliche radioaktive Stoffe, die durch Stoffwechselfvorgänge wie Atmung und Ernährung in den Körper gelangen (Radon, Cäsium, C14)
  - evolutionäre Anpassung an diese Strahlenbelastung
  - radioaktive Baustoffe

**Hinweise**

- Problem, das durch die Verarbeitung und Lagerung des zurückbleibenden radioaktiven Mülls aus Kernkraftwerken entsteht
- Für und Wider von Kernkraftwerken im nationalen und internationalen Rahmen
- 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 2022) durch
  - natürliche Strahlenquellen: ca. 2 mSv (davon Radon: 1,1 mSv)
  - künstliche Strahlenquellen: ca. 2 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

**Geeignete Einstiege und 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

**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



**Hinweise****Außerschulische Lernorte**

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

**Bildung für nachhaltige Entwicklung**

- Problematik der Stromerzeugung über fossile Brennstoffe, Kernspaltung und Kernfusion
- Problem der Endlagerung und Wiederaufbereitung
- CO<sub>2</sub> Neutralität
- Stabilität von Kernreaktoren gegen äußere Einflüsse (Erdbeben, kriegerische Angriffe, ...)
- Reaktorunfälle nach schwerwiegenden Fehlfunktionen
- Für und Wider von Kernkraftwerken im nationalen und internationalen Rahmen

**Berufsorientierende Aspekte**

- Strahlenbelastung am Arbeitsplatz (z. B. Flugpersonal, Röntgendiagnostik)
- Studium Biophysik, Medizinphysik, Laserphysik
- Radiologie als medizinische Disziplin

**Medienbildung**

- Simulationsprogramme:
  - Untersuchung der Eigenschaften radioaktiver Strahlung
  - Zerfallsgesetz
- Messwerterfassungssystem bei Versuchen zum Zerfallsgesetz
- stochastische Aspekte beim Kernzerfall

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

- 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