

10



Physik

Lösungen



Realschule Bayern

Grundlegende physikalische Methoden 5

1 Mechanik

Bewegungen

1.1 Zeit-Weg-Diagramme 7
 1.2 Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit 12
 1.3 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung 14
 1.4 Freier Fall 17
 1.5 Grundgleichung der Mechanik 19
 1.6 **Teste dich** 21

Energie und Impuls

1.7 Kinetische Energie 25
 1.8 Energieerhaltung 26
 1.9 Stoßvorgänge 30
 1.10 Impuls 32
 1.11 Impulserhaltung beim elastischen Stoß 33
 1.12 Impulserhaltung beim inelastischen Stoß 35
 1.13 **Themenseite: Verkehrssicherheit** 37
 1.14 **Teste dich** 41
 1.16 **Vermischte Aufgaben** 45

2 Elektrizitätslehre

Widerstandsschaltungen

2.1 Unverzweigter Stromkreis 53
 2.2 Verzweigter Stromkreis 54
 2.3 Kombinierte Widerstandsschaltungen 56
 2.4 Vorwiderstand 58
 2.5 Innenwiderstand von Elektrizitätsquellen 61
 2.6 Messbereichserweiterung 64
 2.7 **Teste dich** 68

Induktion

2.8 Elektromagnetische Induktion 73

2.9 Elektromagnetische Induktion in Spulen 74

2.10 Induktionsgesetz 75

2.11 Regel von Lenz 76

2.12 Wirbelströme 78

2.13 Themenseite: Anwendungen der Induktion 79

2.14 Teste dich 80

Anwendungen der Induktion

2.15 Wechselspannungsgenerator 84

2.16 Transformator 86

2.17 Wirkungsgrad eines Transformators 87

2.18 Themenseite: Einsatz von Transformatoren 90

2.19 Übertragung elektrischer Energie 91

2.20 Themenseite: Spannungsnetze und Energieverbund 92

2.21 Teste dich 94

2.23 Vermischte Aufgaben 98

3 Atom- und Kernphysik

Strahlung und Zerfall

3.1 Radioaktive Strahlung 105

3.2 Aufbau von Atomkernen 107

3.3 Strahlungsarten 109

3.4 Radioaktiver Zerfall 110

3.5 Aktivität und Impulsrate 113

3.6 Halbwertszeit und Zerfallsgesetz 114

3.7 Teste dich 117

Nutzen und Gefahren

3.8 Kernspaltung 121

3.9 Kernkraftwerke 123

3.10 Kernfusion 124

3.11 Gefahren radioaktiver Strahlung und Strahlenschutz 125

3.12 Nutzen radioaktiver Strahlung 127

3.13 Strahlenbelastung und Dosisgrößen 128

3.14 Themenseite: Strahlenbelastung und Dosisgrößen 130

3.15 Teste dich 132

3.17 Vermischte Aufgaben 135

4 Energieversorgung

Energieträger und Kraftwerke	
4.1	Energieträger 140
4.2	Sonnenenergie 142
4.3	Biomasse 143
4.4	Erdwärme 144
4.5	GuD-Kraftwerke 145
4.6	Teste dich 146
Weitere Kraftwerke und energetische Herausforderungen	
4.7	Wasserkraftwerke 149
4.8	Windkraftwerke 150
4.9	Rechnen mit Energie 151
4.10	Speichertechniken 156
4.11	Übertragungstechniken 157
4.12	Auswirkungen auf die Umwelt 159
4.13	Teste dich 162
4.15	Vermischte Aufgaben 165

5 Vorbereitung auf die Abschlussprüfung

5.2	Beispielabschlussprüfung 169
	Mechanik 169
	Elektrizitätslehre 170
	Energie 171
	Materie 173

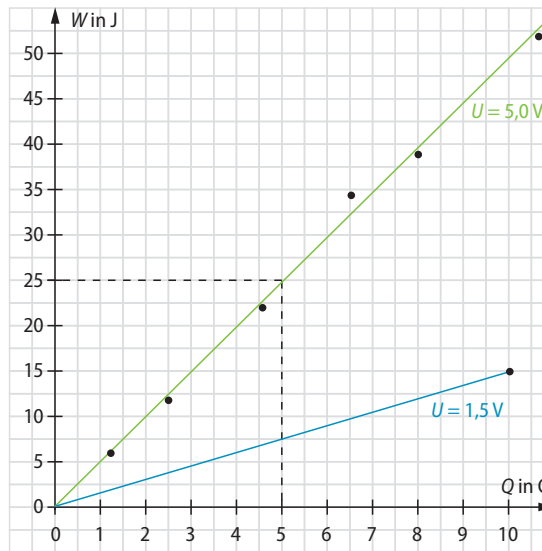
- 1 a) Verdoppelt sich die Ladung, verdoppelt sich näherungsweise auch die elektrische Arbeit.

b)

Q in C	1,2	2,5	4,3	6,5	8,0	10,7
W in J	6,1	12	22	34	39	54
$\frac{W}{Q}$ in $\frac{J}{C}$	5,1	4,8	5,1	5,2	4,9	5,0

Im Rahmen der Messgenauigkeit ist der Quotient aus Arbeit und Ladung konstant.

- c) und f)



- d) Die elektrische Arbeit W ist direkt proportional zur elektrischen Ladung Q .

$$W \sim Q \Rightarrow \frac{W}{Q} = \text{konstant} \Rightarrow \frac{W}{Q} = U$$

Der Proportionalitätsfaktor wird in der Physik als elektrische Spannung U definiert.

Ihre Einheit ist das Volt.

- e) geg.: $W = 25 \text{ J}; Q = 5,0 \text{ C}$

ges.: U

Ansatz: $U = \frac{W}{Q}$

Rechnung: $U = \frac{25 \text{ J}}{5,0 \text{ C}} = 5,0 \text{ V}$

- f) $U = 1,5 \text{ V} = \frac{1,5 \text{ J}}{1,0 \text{ C}} = \frac{15 \text{ J}}{10 \text{ C}}$ (blaue Gerade in obiger Grafik)

- 2 a) $E_{\text{el}} \rightarrow E_{\text{pot}} + E_i$

- b) geg.: $P_{\text{el}} = P_{\text{zu}} = 0,30 \text{ kW}; \eta = 0,85; h = 3,4 \text{ m}; V = 74 \text{ hl}; \rho = 0,998 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

ges.: t

Ansatz: $\rho = \frac{m}{V} \quad | \cdot V$

$$E_{\text{Nutz}} = E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

$$\eta = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{zu}}} \quad | \cdot P_{\text{zu}}$$

$$P_{\text{Nutz}} = \frac{E_{\text{Nutz}}}{t} \quad | \cdot t$$

$$E_{\text{Nutz}} = P_{\text{Nutz}} \cdot t \quad | : P_{\text{Nutz}}$$

Rechnung: $m = \rho \cdot V = 0,998 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 74 \cdot 10^2 \text{ dm}^3 = 74 \cdot 10^2 \text{ kg}$

$$E_{\text{Nutz}} = 74 \cdot 10^2 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 3,4 \text{ m} = 0,25 \text{ MJ}$$

$$P_{\text{Nutz}} = \eta \cdot P_{\text{zu}} = 0,85 \cdot 0,30 \text{ kW} = 0,26 \text{ kW}$$

$$t = \frac{E_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Nutz}}} = \frac{0,25 \text{ MJ}}{0,26 \text{ kW}} = 9,6 \cdot 10^2 \text{ s} = 16 \text{ min}$$

c) geg.: $P_{\text{el}} = 0,30 \text{ kW}; U = 230 \text{ V}$
ges.: I
Ansatz: $P_{\text{el}} = U \cdot I \quad | : U$
Rechnung: $I = \frac{P_{\text{el}}}{U} = \frac{0,30 \text{ kW}}{230 \text{ V}} = \frac{0,30 \cdot 10^3 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 1,3 \text{ A}$

- 3 Die elektrische Stromstärke gibt an, wie viele elektrische Ladungsträger (Elektronen) pro Sekunde durch einen Leiterquerschnitt fließen. Die Ursache dafür, dass der Strom fließt, ist die elektrische Spannung, die an diesem Leiter anliegt. Durch sie entstehen zwei Pole, die dazu führen, dass freie Ladungsträger von einem Pol zum anderen wandern. Die Ladungsträger stoßen auf ihrem Weg durch den Leiter mit Atomrümpfen zusammen. Dabei werden sie in ihrer Driftbewegung gehemmt. Diese Hemmung ist der elektrische Widerstand.

Einstieg

- Lösungsmöglichkeit: Die Sportlerin beginnt mit einem Rad, kommt in den Stand und macht anschließend einen Rückwärts-Salto.

Aufgaben

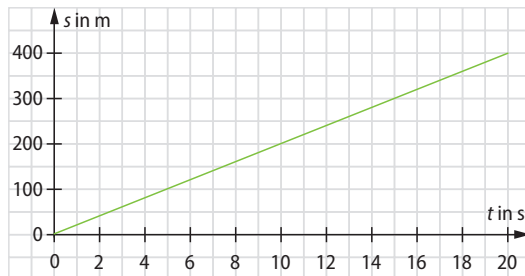
- 1 a) Abschnitt 1: Das Spielzeugauto befindet sich in Ruhe.
 Abschnitt 2: Das Spielzeugauto bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit vorwärts.
 Abschnitt 3: Das Spielzeugauto bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit vorwärts, aber mit einem geringeren Geschwindigkeitsbetrag als in Abschnitt 2.
 Abschnitt 4: Das Spielzeugauto befindet sich in Ruhe.
 Abschnitt 5: Das Spielzeugauto beschleunigt. Der Betrag der Geschwindigkeit des Spielzeugautos steigt an.
 Abschnitt 6: Das Spielzeugauto bremst. Der Betrag der Geschwindigkeit des Spielzeugautos sinkt.
- b) Abschnitt 2:
 geg.: $\Delta t = 10 \text{ s}$; $\Delta s = 30 \text{ m}$
 ges.: v
 Ansatz: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
 Rechnung: $v = \frac{30 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 3,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$3,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,0 \frac{10^{-3} \text{ km}}{\frac{1}{60} \cdot \frac{1}{60} \text{ h}} = 3,0 \cdot 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 11 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$
 Analoge Rechnung für Abschnitt 3 mit $\Delta t = 10 \text{ s}$ und $\Delta s = 10 \text{ m}$ liefert $v = 1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bzw. $v = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- c) Eine Zunahme erkennt man im Zeit-Weg-Diagramm an einer Linkskrümmung des Graphen hin zur s -Achse. Eine Abnahme der Geschwindigkeit erkennt man entsprechend an einer Rechtskrümmung des Graphen hin zur t -Achse.
- 2 Der Graph im t - s -Diagramm (Abb. 3) zeigt im Zeitintervall von $[0,00 \text{ s}; 0,50 \text{ s}]$ eine Rechtskrümmung hin zur t -Achse. Das bedeutet, dass der Ball in dieser Zeit an Geschwindigkeit verliert. Im Zeitintervall von $[0,50 \text{ s}; 1,00 \text{ s}]$ beschreibt der Graph eine Linkskrümmung hin zur s -Achse. Daraus kann geschlossen werden, dass sich die Geschwindigkeit des Balls wieder erhöht. Zu keiner Zeit bewegt sich der Ball gleichförmig. Während der gesamten Zeit nimmt die zurückgelegte Strecke des Balls zu.
- 3 Es sind individuelle Lösungen möglich. Es eignet sich hierfür z. B. die App „phyphox“. Beispielverlauf eines Diagramms für einen Schulweg mit dem Bus: Zunächst steigt der Graph im Diagramm langsam an (während des Laufs zur Bushaltestelle). Beim Warten an der Haltestelle verläuft der Graph parallel zur t -Achse, da der Schüler oder die Schülerin ruht. Fährt der Bus los, so zeigt der Graph eine Linkskrümmung hin zur s -Achse, denn die Geschwindigkeit nimmt zu. Kurz vor jeder roten Ampel beschreibt der Graph eine Rechtskrümmung, um dann während des Stopps parallel zur t -Achse zu verlaufen. Auf den letzten Metern zur Schule verläuft die Steigung des Graphen wieder flacher, da mit geringerer Geschwindigkeit zu Fuß gelaufen wird, nachdem der Schüler oder die Schülerin den Bus verlassen hat.

1.1 Zeit-Weg-Diagramme

- 4 Die folgenden Diagramme geben die Situationen jeweils quantitativ so genau wie möglich wieder. Von den Schülerinnen und Schülern kann nur eine qualitative Lösung erwartet werden, der Kurvenverlauf sollte allerdings den abgebildeten Verläufen ungefähr gleichen.

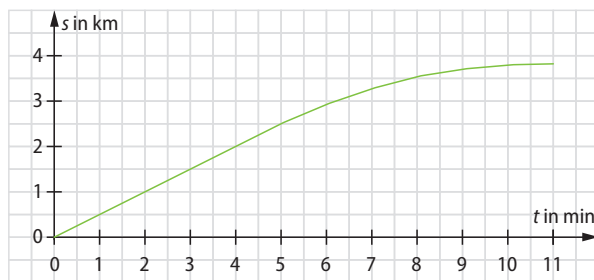
a) $v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



b) $v = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{30 \text{ km}}{60 \text{ min}} = 0,50 \frac{\text{km}}{\text{min}}$

$v = 5 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{5 \text{ km}}{60 \text{ min}} = 0,08 \frac{\text{km}}{\text{min}}$

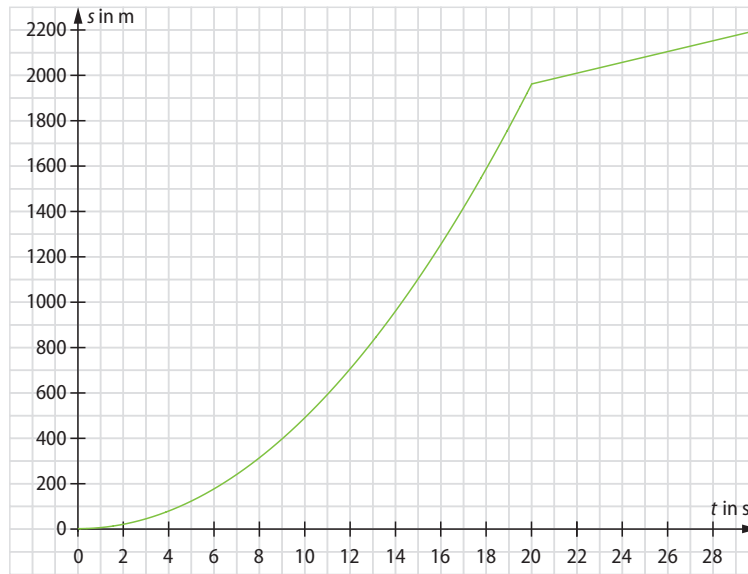
Ab der fünften Minute verlangsamt er seine Geschwindigkeit um ca. $v = 0,08 \frac{\text{km}}{\text{min}}$ pro Minute, d. h. ca. $\frac{0,50}{0,08} \text{ min} = 6 \text{ min}$ später kommt er zum Stillstand.



- c) Der Sportler erhöht seine Geschwindigkeit pro Sekunde um ca. $v = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Wenn er nach einer Strecke von 25 m ins Wasser taucht, verringert sich seine Geschwindigkeit bis zum Stillstand, sodass er anschließend wieder nach oben tauchen kann. (Das Auftauchen ist nicht mehr im Diagramm abgebildet.)



d) Der Fallschirmspringer beschleunigt zunächst wie in c) und bewegt sich nach dem Öffnen des Fallschirms mit konstanter (aber deutlich geringerer) Geschwindigkeit weiter.



5 Annahme: Beide Sportler bewegen sich innerhalb der jeweiligen Disziplin mit konstanter Geschwindigkeit.

Flora Duffy:

Schwimmen: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1,5 \text{ km}}{18 \text{ min} + 32 \text{ s}} = \frac{1,5 \text{ km}}{18,53 \text{ min}} = 0,081 \frac{\text{km}}{\text{min}}$

Radfahren: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{40 \text{ km}}{62 \text{ min} + 49 \text{ s}} = \frac{40 \text{ km}}{62,82 \text{ min}} = 0,64 \frac{\text{km}}{\text{min}}$

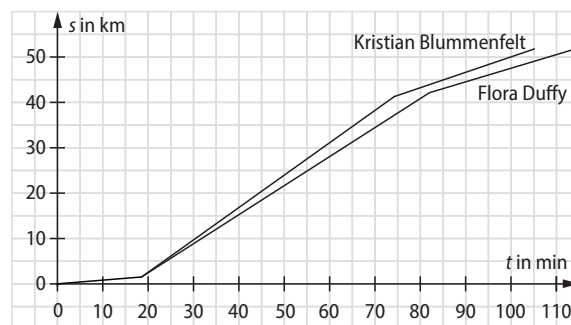
Laufen: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{10 \text{ km}}{33 \text{ min}} = 0,30 \frac{\text{km}}{\text{min}}$

Kristian Blumenfelt:

Schwimmen: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1,5 \text{ km}}{18 \text{ min} + 4 \text{ s}} = \frac{1,5 \text{ km}}{18,06 \text{ min}} = 0,083 \frac{\text{km}}{\text{min}}$

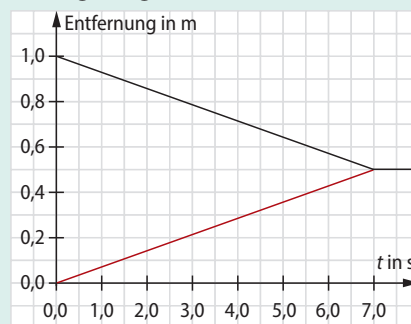
Radfahren: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{40 \text{ km}}{56 \text{ min} + 19 \text{ s}} = \frac{40 \text{ km}}{56,32 \text{ min}} = 0,71 \frac{\text{km}}{\text{min}}$

Laufen: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{10 \text{ km}}{29 \text{ min} + 34 \text{ s}} = \frac{10 \text{ km}}{29,56 \text{ min}} = 0,34 \frac{\text{km}}{\text{min}}$



Methode

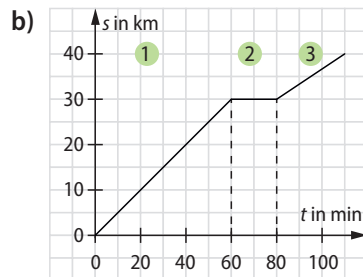
- Abschnitt ①: Das Spielzeugauto fährt 1,0 s lang vorwärts mit einer konstanten Geschwindigkeit von $\frac{10 \text{ cm}}{1,0 \text{ s}} = 0,10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- Abschnitt ②: Das Spielzeugauto fährt 3,5 s lang vorwärts mit einer konstanten Geschwindigkeit von $\frac{70 \text{ cm}}{3,5 \text{ s}} = 0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- Abschnitt ③: Das Spielzeugauto fährt 2,0 s lang vorwärts mit einer konstanten Geschwindigkeit von $\frac{20 \text{ cm}}{2,0 \text{ s}} = 0,10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- Abschnitt ④: Das Spielzeugauto steht für eine halbe Sekunde.
- Abschnitt ⑤: Das Spielzeugauto fährt 1,0 s lang rückwärts mit einer konstanten Geschwindigkeit von $\frac{40 \text{ cm}}{1,0 \text{ s}} = 0,40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bzw. $-0,40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- In der Realität sollten die Knicke abgerundet sein, da die Geschwindigkeit sich nicht abrupt ändert, sondern mit einem Brems- bzw. Beschleunigungsvorgang verbunden ist.
- Lösungsmöglichkeit:



- Lösungsmöglichkeit: Will man trotz gekrümmter Bewegungen, wie sie alltäglich meist vorkommen, Zeit-Orts-Diagramme erstellen, dann kann man beispielsweise bei einer Fahrradtour mit gleichem Start- und Zielpunkt die gesamte Strecke „geradlinig ausrollen“ und den Umkehrpunkt in der Hälfte der Strecke festlegen. Bei dieser Variante kann man im Zeit-Orts-Diagramm dann stets ablesen, welche Distanz bisher zurückgelegt wurde und wie weit es bis zum Ziel ist.
Eine andere Möglichkeit wäre, als Ort die Luftlinienentfernung zum Start- bzw. Zielpunkt festzulegen. Auf einer Landkarte würde man also gedanklich um den Start- und Zielpunkt konzentrische Kreise festlegen. Fährt man mit dem Rad dann eine Strecke ab, würde das Zeit-Orts-Diagramm dann allerdings nicht die zurückgelegte Strecke, sondern die Luftlinienentfernung zum Start- bzw. Zielpunkt zeigen, was für manche Zwecke ja auch sinnvoll sein kann.
Höhenunterschiede in der Streckenführung bleiben in beiden Fällen natürlich unberücksichtigt.

- 6 a) Abschnitt 1: Der Fahrer fährt in eine bestimmte Richtung (z. B. nach rechts, Bild B).
 Abschnitt 2: Der Fahrer pausiert (Bild A).
 Abschnitt 3: Der Fahrer fährt in die andere Richtung, da die Gerade im Graphen fällt (z. B. nach links, Bild C).

Bemerkung: Bild B und Bild C können auch vertauscht werden, je nachdem, wie der Ort und die Richtung der Bewegung definiert ist.



- c) Abschnitt 1: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{30 \text{ km}}{60 \text{ min}} = \frac{30 \text{ km}}{60 : 60 \text{ h}} = \frac{30 \text{ km}}{1,0 \text{ h}} = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 Abschnitt 2: Der Radfahrer ruht. Seine Geschwindigkeit beträgt $v = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
 Abschnitt 3: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{10 \text{ km}}{30 \text{ min}} = \frac{10 \text{ km}}{\frac{30}{60} \text{ h}} = \frac{10 \text{ km}}{0,50 \text{ h}} = 20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

- 7 Korrekt sind die Aussagen...

- a) 1, 3, 5 und 6.

Zu 3: A legt in 4 s 10 m zurück, also $v = \frac{10 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- b) 3 und 5.

Zu 3: B legt in 4 s 5 m zurück, also $v = \frac{5 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- c) 1, 2 und 3.

Zu 2: B legt in 4 s 10 m zurück, also $v = \frac{10 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Zu 3: A fährt rückwärts und legt in 10 s 5 m zurück, also $v = \frac{-5 \text{ m}}{10 \text{ s}} = -0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- d) 3 und 5.

Einstieg

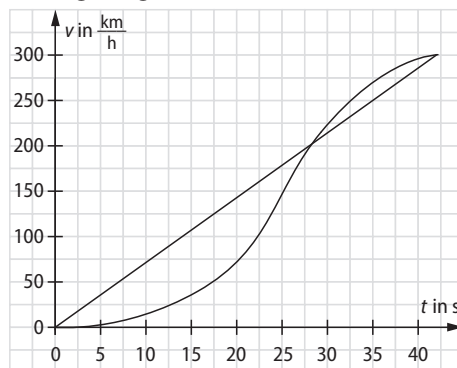
- Lösungsmöglichkeit: Es gibt extreme Wasserrutschen, bei denen man Geschwindigkeiten von bis zu $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreichen kann. Es kommt aber immer auf die Art der Rutsche und die Rutschtechnik an. Um möglichst schnell zu sein, muss man den durch die Reibung verursachten Widerstand verringern.
- Die Geschwindigkeit in einer Wasserrutsche ist nicht konstant, da man je nach Art der Rutsche mal schneller oder langsamer wird. Mit einer Stoppuhr kann zwar die benötigte Zeit gemessen werden, die Geschwindigkeit, die man mithilfe der Länge der Rutsche errechnet, ist jedoch nur ein durchschnittlicher Wert. Dieser gibt nicht die Geschwindigkeiten an, die man während des Rutschens tatsächlich erreicht.

Aufgaben

1 geg.: $v = 4,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}; \Delta s = 1140 \text{ m}$
 ges.: Δt
 Ansatz: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad | \cdot \Delta t \quad | : v$
 Rechnung: $\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{1140 \text{ m}}{4,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 24 \cdot 10^1 \text{ s} = 4,0 \text{ min}$

2 a) geg.: $\Delta t = 42 \text{ s}; \Delta s = 2300 \text{ m}$
 ges.: v
 Ansatz: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
 Rechnung: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2300 \text{ m}}{42 \text{ s}} = 55 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2,0 \cdot 10^2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

b) Lösungsmöglichkeiten:



Bemerkung: Die Gerade wird sicher nicht der Realität entsprechen, da die Geschwindigkeit in der Realität nicht konstant zunimmt.

- 3 a) Die Maximalgeschwindigkeit des Aufzugs beträgt $v = -1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Das Minuszeichen gibt die Bewegungsrichtung des Fahrstuhls an. Der Fahrstuhl bewegt sich in diesem Moment nach unten, also entgegen der festgelegten positiven Bewegungsrichtung. Die größte Aufwärtsgeschwindigkeit des Aufzugs dagegen beträgt ca. $v = 0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und ist somit kleiner als der Betrag der maximalen Geschwindigkeit nach unten.

- b) Vorbemerkung: Der Graph ist der real mit einem Smartphone entstandene Graph, und man kann erkennen, dass er wohl wie häufig bei physikalischen Messungen mit einigen Artefakten bzw. Messfehlern behaftet ist. So wird die Fahrt des Aufzugs in der Realität beispielsweise mit einer Anfangsgeschwindigkeit von $v = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, also aus dem Stillstand heraus, beginnen – und nicht wie hier mit einer bereits negativen Geschwindigkeit. Sieht man von diesen Schwankungen im Graphenverlauf vor allem in der ersten Hälfte des Graphen ab, so könnte eine Beschreibung folgendermaßen lauten: Die ersten 15 s bewegt sich der Aufzug abwärts, was man an der negativen Geschwindigkeit erkennen kann. Die maximale Abwärtsgeschwindigkeit erreicht er bei ca. 7 s, danach bremst er ab, bewegt sich aber immer noch nach unten. Schließlich kommt er zum Stehen (von ca. 15 s bis 24 s, vermutlich ein Stockwerk tiefer). Anschließend beschleunigt er wieder, diesmal mit positiver Geschwindigkeit, also nach oben. Die maximale Aufwärtsgeschwindigkeit erreicht er bei ca. 28 s mit $v = 0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und behält diese Geschwindigkeit bis zum Zeitpunkt 40 s bei. Anschließend bremst er wieder ab und kommt nach knapp 50 s zum Stillstand. Vermutlich ist der Aufzug auf diesem letzten Abschnitt zwei Stockwerke nach oben gefahren.

Einstieg

- Lösungsmöglichkeit: Beim ersten Bild handelt es sich um den Start eines Flugzeugs. Damit ein Flugzeug starten kann, muss es auf einem Rollfeld auf die Abhebegeschwindigkeit beschleunigen. Es muss also eine Änderung der Geschwindigkeit von $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf die Abhebegeschwindigkeit erfolgen.
Beim zweiten Bild handelt es sich um den Abbremsvorgang eines Schwans bei der Landung. Wie beim Flugzeug ändert sich die Geschwindigkeit, weshalb man ebenfalls von Beschleunigung spricht.
Der Bremsvorgang des Schwans sowie der Abhebevorgang des Flugzeugs verlaufen natürlicherweise selten gleichmäßig.

Aufgaben

- Lösungsmöglichkeiten:
 - Ein Formel-1-Wagen beschleunigt aus der Startposition auf einer geraden Strecke.
 - Ein Schulbus bremst vor einer roten Ampel auf einer geraden Strecke.
 - Die Geschwindigkeit eines Förderbands wird erhöht.
 - Ein Wasservogel landet auf der Wasseroberfläche eines Sees auf gerader Strecke.
 - Je nachdem, wie kräftig die Handgelenke von der Muskulatur bewegt werden, ändert die Hand unterschiedlich schnell ihre Geschwindigkeit. Die Beschleunigungsbeträge sind also unterschiedlich groß. Die negativen Werte für die Beschleunigung treten immer dann auf, wenn die Hand kurz vor Änderung der Bewegungsrichtung abgebremst wird.
- Bei einer Fahrt im Kettenkarussell werden die Fahrgäste mit einer konstanten Kraft in Richtung Karussellmittelpunkt gezogen. Die Richtung der Kraft ändert sich also im Laufe der Drehbewegung, somit ändert sich also auch die Richtung der Beschleunigung. Es erfolgt dadurch keine gleichmäßige Beschleunigung.
 - Beim Bungeejumping wirkt die Gewichtskraft und die Luftwiderstandskraft auf den Springer. Während die Gewichtskraft in Betrag und Richtung konstant wirkt, erhöht sich der Betrag der Luftwiderstandskraft mit zunehmender Geschwindigkeit. Es handelt sich also unter Berücksichtigung der Luftwiderstandskraft zumindest für größere Fallhöhen nicht um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.
 - Das Wasser aus dem Springbrunnen wird in vertikaler Richtung mit der nach Betrag und Richtung konstanten Gewichtskraft beschleunigt. Es handelt sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.

- geg.: $v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}; \Delta t = 8,0 \text{ s}$
 ges.: $a; s$
 Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}; s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$

Rechnung: $a = \frac{80 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{8,0 \text{ s}} = \frac{80 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{8,0 \text{ s}} = \frac{80 \frac{\text{m}}{3,6 \text{ s}}}{8,0 \text{ s}} = 2,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $s = \frac{1}{2} \cdot 2,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (8,0 \text{ s})^2 = 90 \text{ m}$
 - geg.: $v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}; \Delta t = 12,3 \text{ s}$
 ges.: $a; s$
 Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}; s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$

Rechnung: $a = \frac{80 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{12,3 \text{ s}} = \frac{80 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{12,3 \text{ s}} = \frac{80 \frac{\text{m}}{3,6 \text{ s}}}{12,3 \text{ s}} = 1,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $s = \frac{1}{2} \cdot 1,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (12,3 \text{ s})^2 = 0,14 \text{ km}$

c) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_{\text{Ende}} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; \Delta t = 3,5 \text{ s}$

ges.: $a; s$

Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}; s = \frac{1}{2} |a| \cdot t^2$

Rechnung: $a = \frac{0 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,5 \text{ s}} = \frac{-20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,5 \text{ s}} = -5,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$$s = \frac{1}{2} \cdot \left| -5,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right| \cdot (3,5 \text{ s})^2 = 35 \text{ m}$$

d) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 140 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; \Delta t = 7,5 \text{ s}$

ges.: $a; s$

Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}; s = \frac{1}{2} |a| \cdot t^2$

Rechnung: $a = \frac{0 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 140 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{7,5 \text{ s}} = \frac{-140 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{7,5 \text{ s}} = \frac{-140 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7,5 \text{ s}} = -5,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$$s = \frac{1}{2} \cdot \left| -5,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right| \cdot (7,5 \text{ s})^2 = 0,15 \text{ km}$$

4 a) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 140 \frac{\text{km}}{\text{h}}; a = 0,80 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

ges.: Δt

Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad | \cdot \Delta t \quad | : a$

Rechnung: $\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{a} = \frac{140 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{0,80 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{140 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,80 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 49 \text{ s}$

b) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 130 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; \Delta t = 4,5 \text{ s}$

ges.: a

Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}$

Rechnung: $a = \frac{0 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 130 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{4,5 \text{ s}} = \frac{-130 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4,5 \text{ s}} = -8,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

c) geg.: $v_{\text{Anfang},1} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende},1} = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}; \Delta t_1 = 2,75 \text{ s}$

$$v_{\text{Anfang},2} = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$v_{\text{Ende},2} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; a_2 = -12,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

ges.: $s_1; s_2$

Ansatz: $a_1 = \frac{v_{\text{Ende},1} - v_{\text{Anfang},1}}{\Delta t_1}; a_2 = \frac{v_{\text{Ende},2} - v_{\text{Anfang},2}}{\Delta t_2} \quad | \cdot \Delta t_2 \quad | : a_2$

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \text{ bzw. } s = \frac{1}{2} |a| \cdot t^2$$

Rechnung: $a_1 = \frac{v_{\text{Ende},1} - v_{\text{Anfang},1}}{\Delta t_1} = \frac{100 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{2,75 \text{ s}} = \frac{100 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,75 \text{ s}} = 10,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$$s_1 = \frac{1}{2} a_1 \cdot t_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 10,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (2,75 \text{ s})^2 = 38,2 \text{ m}$$

$$\Delta t_2 = \frac{v_{\text{Ende},2} - v_{\text{Anfang},2}}{a_2} = \frac{0 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{-12,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{-100 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{-12,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2,31 \text{ s}$$

$$s_2 = \frac{1}{2} |a_2| \cdot t_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \left| -12,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right| \cdot (2,31 \text{ s})^2 = 32,0 \text{ m}$$

$$s_{\text{gesamt}} = s_1 + s_2 = 38,2 \text{ m} + 32,0 \text{ m} = 70,2 \text{ m}$$

Antwort: Der Sportpilot legt im ersten Zeitabschnitt eine Strecke von 38,2 m zurück. Beim Abbremsen im zweiten Zeitabschnitt legt er eine Strecke von 32,0 m zurück. Insgesamt hat er also eine Strecke von 70,2 m zurückgelegt.

Alltag

- geg.: $v_{\text{Anfang}} = v_0 = 135 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; \Delta t = 5,0 \text{ s}$
 ges.: $a; s$
 Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t};$
 $\textcircled{1} s = \frac{1}{2} |a| \cdot t^2$
 $\textcircled{2} s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$
 Rechnung: $a = \frac{0 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 135 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{5,0 \text{ s}} = \frac{-135 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{5,0 \text{ s}} = \frac{-135 \frac{\text{m}}{3,6 \text{ s}}}{5,0 \text{ s}} = -7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $\textcircled{1} s = \frac{1}{2} \cdot \left| -7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right| \cdot (5,0 \text{ s})^2 = 94 \text{ m}$
 $\textcircled{2} s = 135 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 5,0 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot (-7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \cdot (5,0 \text{ s})^2$
 $s = \frac{135 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \cdot 5,0 \text{ s} - \frac{1}{2} \cdot 7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (5,0 \text{ s})^2 = 94 \text{ m}$
- a) geg.: $v_0 = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}}; t = 2,4 \text{ s}; a = -7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 ges.: $v; s$
 Ansatz: $v = v_0 + a \cdot t; s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$
 Rechnung: $v = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,4 \text{ s} = \frac{120 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} - 7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,4 \text{ s} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 $s = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 2,4 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot (-7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \cdot (2,4 \text{ s})^2$
 $s = \frac{120 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \cdot 2,4 \text{ s} - \frac{1}{2} \cdot 7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (2,4 \text{ s})^2 = 58 \text{ m}$
- b) geg.: $v_0 = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}; t = 2,0 \text{ s}; a = 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 ges.: $v; s$
 Ansatz: $v = v_0 + a \cdot t; s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$
 Rechnung: $v = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,0 \text{ s} = 38 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 14 \cdot 10^1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 $s = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2,0 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (2,0 \text{ s})^2 = 68 \text{ m}$
- a) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}; \Delta t = 3,2 \text{ s}$
 ges.: a
 Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}$
 Rechnung: $a = \frac{50 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{3,2 \text{ s}} = \frac{50 \frac{\text{m}}{3,6 \text{ s}}}{3,2 \text{ s}} = 4,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- b) geg.: $v_0 = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}; a = 4,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; t = 10 \text{ s}$
 ges.: $v; s$
 Ansatz: $v = v_0 + a \cdot t; s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$
 Rechnung: $v = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 4,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ s} = \frac{50 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} + 4,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ s} = 57 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2,1 \cdot 10^2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 $s = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 10 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 4,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (10 \text{ s})^2$
 $s = \frac{50 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \cdot 10 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 4,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (10 \text{ s})^2 = 0,35 \text{ km}$
- c) geg.: $v_0 = 160 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; a = -8,50 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; t_{\text{Reaktion}} = 1,0 \text{ s}$
 ges.: $s_{\text{Anhalteweg}}$
 Ansatz: $v = v_0 + a \cdot t \quad | -v_0 \quad | : a$
 $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2; s_{\text{Anhalteweg}} = v_0 \cdot t_{\text{Reaktion}} + s$
 Rechnung: $t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{0 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 160 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{-8,50 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{-160 \frac{\text{m}}{3,6 \text{ s}}}{-8,50 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 5,23 \text{ s}$
 $s = 160 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 5,23 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot (-8,50 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \cdot (5,23 \text{ s})^2$
 $s = \frac{160 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \cdot 5,23 \text{ s} - \frac{1}{2} \cdot 8,50 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (5,23 \text{ s})^2 = 116 \text{ m}$
 $s_{\text{Anhalteweg}} = \frac{160 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \cdot 1,0 \text{ s} + 116 \text{ m} = 16 \cdot 10^1 \text{ m} = 0,16 \text{ km}$

Einstieg

- Für den freien Fall beträgt die Fallbeschleunigung $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Bei einem freien Fall von $t = 4 \text{ s}$ legt man eine Strecke von ca. $s_1 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 78 \text{ m}$ zurück. Dabei erreicht man eine Geschwindigkeit von $v = g \cdot t = 39 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Von dieser Geschwindigkeit muss jedoch wieder auf $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ abgebremst werden. Soll dieser Vorgang nicht länger als 2 s dauern, so benötigt man eine Bremsbeschleunigung von $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-39 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \text{ s}} = -20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Dabei wird eine Strecke von $s_2 = \frac{1}{2} \cdot \left| -20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right| \cdot (2 \text{ s})^2 = 40 \text{ m}$ zurückgelegt. Insgesamt muss der Turm also mehr als $s = s_1 + s_2 = 118 \text{ m}$ hoch sein.

Aufgaben

- 1 a) Wenn der Luftwiderstand vernachlässigt wird, liegt ein freier Fall vor, also eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung, da die Gewichtskraft konstant ist und der Stein mit konstanter Beschleunigung von $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ beschleunigt wird.
- b) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; \Delta t = 2,0 \text{ s}$
 ges.: $v_{\text{Ende}}; s$
 Ansatz: $g = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad | \cdot \Delta t; s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$
 Rechnung: $\Delta v = v_{\text{Ende}} = g \cdot \Delta t = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,0 \text{ s} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 $s = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (2,0 \text{ s})^2 = 20 \text{ m}$
- c) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_{\text{Ende}} = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}; g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 ges.: Δt
 Ansatz: $g = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad | \cdot \Delta t \quad | : g$
 Rechnung: $\Delta t = \frac{\Delta v}{g} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{g} = \frac{30 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3,1 \text{ s}$
- d) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; s = 100 \text{ m}$
 ges.: $t; v_{\text{Ende}}$
 Ansatz: $v = g \cdot t$
 $s = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \quad | : \left(\frac{1}{2} g \right)$
 $\frac{2s}{g} = t^2 \quad | \sqrt{\quad}$
 Rechnung: $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 4,52 \text{ s}$
 $v = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4,52 \text{ s} = 44,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- 2 a) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; s = 10 \text{ m}$
 ges.: $t; v$
 Ansatz: $v = g \cdot t$
 $s = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \quad | : \left(\frac{1}{2} g \right)$
 $\frac{2s}{g} = t^2 \quad | \sqrt{\quad}$
 Rechnung: $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 1,4 \text{ s}$
 $v = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,4 \text{ s} = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

b) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_{\text{Ende}} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; s = 4,0 \text{ m}$

ges.: $\Delta t; a$

Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}; s = \frac{1}{2} |a| \cdot \Delta t^2 \quad | a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ in s}$

Rechnung: $s = \frac{1}{2} \left| \frac{\Delta v}{\Delta t} \right| \cdot \Delta t^2 = \frac{1}{2} |\Delta v| \cdot \Delta t \quad | : \frac{1}{2} |\Delta v|$

$$\Delta t = \frac{2 \cdot s}{|\Delta v|} = \frac{2 \cdot 4,0 \text{ m}}{14 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,57 \text{ s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,57 \text{ s}} = -25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Antwort: Der Turmspringer bremst mit einer Beschleunigung von $-25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ innerhalb von 0,57 s bis zum Stillstand ab. Der Betrag der negativen Beschleunigung ist in etwa doppelt so groß wie die Fallbeschleunigung des Springers.

c) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; a = -25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; s_1 = 5,0 \text{ m}$

ges.: s_2

Ansatz: $s_1 = \frac{1}{2} g \cdot \Delta t_1^2 \quad | : \left(\frac{1}{2} g \right)$

$$\frac{2 \cdot s_1}{g} = \Delta t_1^2 \quad | \sqrt{\quad}$$

$$g = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} \quad | \cdot \Delta t_1$$

$$a = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} \quad | \cdot \Delta t_2 \quad | : a$$

$$s_2 = \frac{1}{2} |a| \cdot \Delta t_2^2$$

Rechnung: $\Delta t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot s_1}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,0 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 1,0 \text{ s}$

$$\Delta v_1 = g \cdot \Delta t_1 = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,0 \text{ s} = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow \Delta v_2 = -9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta v_2}{a} = \frac{-9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{-25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,39 \text{ s}$$

$$s_2 = \frac{1}{2} \cdot 25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,39 \text{ s})^2 = 1,9 \text{ m}$$

Einstieg

- Die unterschiedlichen Startbahnlängen für unterschiedliche Flugzeugarten hängen mit der Masse der Flugzeuge zusammen. Für Flugzeuge mit größerer Masse wird eine längere Startbahn benötigt, wenn die gleiche Kraft aufgewendet werden soll, um die Flugzeuge in die Luft zu bekommen. Bei größerer Masse hat man dadurch eine geringere Beschleunigung, somit benötigt man einen längeren Weg, um das Flugzeug auf eine bestimmte Abhebegeschwindigkeit zu beschleunigen.

Aufgaben

- 1** Lösungsmöglichkeit: Bestimmung der Masse eines Smartphones

Auf einer schiefen Ebene wird das Smartphone auf einen Wagen gelegt und die auf den Wagen und das Smartphone wirkende Hangabtriebskraft mit einem Kraftmessgerät gemessen. Auf dem Smartphone wird die App „phyphox“ (Beschleunigung ohne g / Betrag) geöffnet. Während das Smartphone auf einem Wagen die schiefe Ebene hinuntergleitet, wird die Beschleunigung gemessen. Der Quotient aus Hangabtriebskraft und Beschleunigung liefert die beschleunigte Gesamtmasse. Subtrahiert man von der Gesamtmasse die Masse des Wagens, erhält man die Masse des Smartphones.

Anschließend wird die Masse des Smartphones mit einer Waage überprüft.
- 2** geg.: $m = 55 \text{ kg}; a = 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 ges.: F
 Ansatz: $F = m \cdot a$
 Rechnung: $F = m \cdot a = 55 \text{ kg} \cdot 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,2 \cdot 10^2 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 2,2 \cdot 10^2 \text{ N}$
- 3** geg.: $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; m = 70 \text{ kg}$
 ges.: F
 Ansatz: $F = m \cdot a; a = 4 \cdot g$
 Rechnung: $a = 4 \cdot g = 4 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 39,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $F = m \cdot a = 70 \text{ kg} \cdot 39,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 2,7 \text{ kN}$
- 4** geg.: $m_{\text{Martin}} = 50 \text{ kg}; a = 0,50 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; F = 34 \text{ N}$
 ges.: m_{Curl}
 Ansatz: $F = m_{\text{ges}} \cdot a \quad | : a$
 $m_{\text{ges}} = m_{\text{Martin}} + m_{\text{Curl}}$
 Rechnung: $m_{\text{ges}} = \frac{F}{a} = \frac{34 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{0,50 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 68 \text{ kg}$
 $m_{\text{Curl}} = 68 \text{ kg} - 50 \text{ kg} = 18 \text{ kg}$
- 5 a)** Beim Fahren mit einem Pkw muss ständig beim Anfahren beschleunigt werden. Auch beim Fahren mit konstanter Geschwindigkeit muss entgegen der Fahrtwindkraft eine beschleunigende Kraft auf das Auto wirken. Da die Masse von Geländelimousinen größer ist als von durchschnittlichen Pkw, muss nach der Grundgleichung der Mechanik für die betragsgleiche Beschleunigung eine größere Kraft wirken. Der Fahrzeugmotor muss mehr mechanische Arbeit verrichten und benötigt dafür mehr chemische Energie aus dem Sprit. Der Verbrauch steigt.

b) geg.: $\Delta t = 6,0 \text{ s}; v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}; F = 10,2 \text{ kN}$

ges.: $a; m$

Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}; F = m \cdot a \quad | : a$

Rechnung: $a = \frac{100 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6,0 \text{ s}} = 16,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$$m = \frac{10,2 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{16,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 6,1 \cdot 10^2 \text{ kg} = 0,61 \text{ t}$$

c) geg.: $a = 4,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; m = 1,5 \text{ t}$

ges.: F

Ansatz: $F = m \cdot a$

Rechnung: $F = 1,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 4,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 6,9 \text{ kN}$

d) SUV haben eine größere Querschnittsfläche als kleine Pkw. Dadurch steigt der Luftwiderstand bei schneller Fahrt stärker an. Darüber hinaus lassen sich in SUV mehr Personen bzw. Gepäck befördern, wodurch die Gesamtmasse nochmals ansteigt. Häufig sind SUV auch deutlich stärker motorisiert als kleinere Pkw, wodurch der Kraftstoffverbrauch ebenfalls ansteigt.

6 a) geg.: $\Delta t = 3,0 \text{ s}; v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

ges.: a

Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

Rechnung: $a = \frac{100 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,0 \text{ s}} = 33,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Antwort: Die Beschleunigung des Gepards liegt mit $9,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ nur knapp unter der Fallbeschleunigung im freien Fall mit $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Lui hat Recht, die Beschleunigungen sind durchaus zu vergleichen.

b) geg.: $a = 9,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; F = 470 \text{ N}$

ges.: $m; F_G$

Ansatz: $F = m \cdot a \quad | : a$

$$F_G = m \cdot g$$

Rechnung: $m = \frac{470 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{9,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 51 \text{ kg}$

$$F_G = 51 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 0,50 \text{ kN}$$

c) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_{\text{Ende}} = 110 \frac{\text{km}}{\text{h}}; g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

ges.: $\Delta t; s$

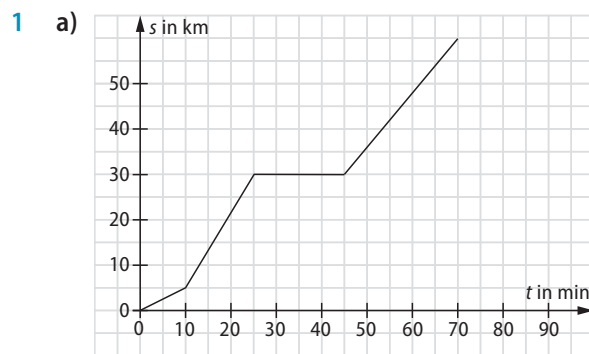
Ansatz: $g = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad | \cdot \Delta t \quad | : g$

$$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

Rechnung: $\Delta t = \frac{\Delta v}{g} = \frac{110 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 11,2 \text{ s}$

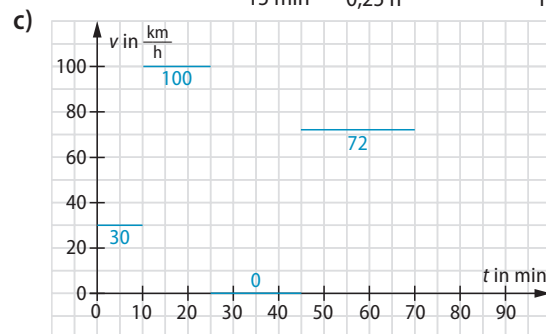
$$s = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (11,2 \text{ s})^2 = 61,4 \text{ m}$$

Aufgaben zur Einzelarbeit



In den ersten 10 Minuten der Fahrt legt der Motorradfahrer mit konstanter Geschwindigkeit einen Weg von 5 km zurück. Danach fährt er schneller und legt dabei in 15 Minuten 25 km zurück. Anschließend pausiert er für 20 Minuten, bevor er den Rückweg (im Zeit-Orts-Diagramm durch die negative Steigung erkennbar) antritt. Dabei legt er 30 km in 25 Minuten zurück.

- b) geg.: $\Delta t = 15 \text{ min}; \Delta s = 25 \text{ km}$
 ges.: v
 Ansatz: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
 Rechnung: $v = \frac{25 \text{ km}}{15 \text{ min}} = \frac{25 \text{ km}}{0,25 \text{ h}} = 1,0 \cdot 10^2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$



- d) In der Realität ist es nicht möglich, dass sich der Betrag der Geschwindigkeit abrupt, also zu einem bestimmten Zeitpunkt, ändert. Entsprechend müssten die „Ecken“ des Graphs eigentlich abgerundet sein. So würde deutlich werden, dass sich die Geschwindigkeit während einer Zeitspanne ändert.

- 2 a) geg.: $s = 10 \text{ m}; g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 ges.: t
 Ansatz: $s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad | \cdot \frac{2}{g} \quad | \sqrt{\quad}$
 Rechnung: $t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 1,4 \text{ s}$
- b) geg.: $t = 1,4 \text{ s}; g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 ges.: v
 Ansatz: $v = g \cdot t$
 Rechnung: $v = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,4 \text{ s} = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

3 a) geg.: $v = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}; t_1 = 0,80 \text{ s}; a = -6,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

ges.: $s_{\text{Anhalteweg}}$

Ansatz: $s_{\text{Anhalteweg}} = s_{\text{Reaktionsweg}} + s_{\text{Bremsweg}}$

$$v = \frac{s_{\text{Reaktionsweg}}}{t_1} \quad | \cdot t_1$$

$$v = |a| \cdot t_2 \quad | : |a|$$

$$s_{\text{Bremsweg}} = \frac{1}{2} \cdot |a| \cdot t_2^2$$

Rechnung: $s_{\text{Reaktionsweg}} = v \cdot t_1 = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 0,80 \text{ s}$

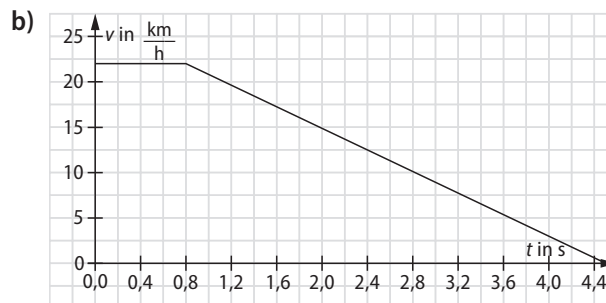
$$s_{\text{Reaktionsweg}} = 22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,80 \text{ s} = 18 \text{ m}$$

$$t_2 = \frac{v}{|a|} = \frac{22 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3,7 \text{ s}$$

$$s_{\text{Bremsweg}} = \frac{1}{2} \cdot 6,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (3,7 \text{ s})^2 = 41 \text{ m}$$

$$s_{\text{Anhalteweg}} = 18 \text{ m} + 41 \text{ m} = 59 \text{ m}$$

Antwort: Das Fahrzeug kommt rechtzeitig zum Stillstand.



4 a) Im t - s -Diagramm beschreibt Graph A den Bremsvorgang, da im Diagramm der zurückgelegte Weg dargestellt ist, dieser muss trotz des Bremsvorgangs zunehmen. Es nimmt nur die Geschwindigkeit ab, und zwar linear, da es sich um eine gleichmäßige Beschleunigung handelt. Deshalb beschreibt Graph B den Bremsvorgang im t - v -Diagramm, da der Graph dort fällt.

b) geg.: $m_{\text{Frau}} = 65 \text{ kg}; m_{\text{Roller}} = 80 \text{ kg}; \Delta t = 5,0 \text{ s}$

$$v_{\text{Anfang}} = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

ges.: $a; F$

Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}$

$$F = m \cdot |a| = (m_{\text{Frau}} + m_{\text{Roller}}) \cdot |a|$$

Rechnung: $a = \frac{0 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 40 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{5,0 \text{ s}} = \frac{-40 : 3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5,0 \text{ s}} = -2,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$$F = (65 \text{ kg} + 80 \text{ kg}) \cdot \left| -2,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right| = 0,32 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 0,32 \text{ kN}$$

c) geg.: $a = -2,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; t = 5,0 \text{ s}$

ges.: s

Ansatz: $s = \frac{1}{2} |a| \cdot t^2$

Rechnung: $s = \frac{1}{2} \cdot 2,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (5,0 \text{ s})^2 = 0,028 \text{ km}$

Antwort: Ein Anhalteweg von $28 \text{ m} = 0,028 \text{ km}$ reicht nicht aus. Außerdem muss der Reaktionsweg, also der Weg, den die Frau zurücklegt, bis sie tatsächlich reagiert und auf die Bremse drückt, ebenfalls berücksichtigt werden.

- 5 a) geg.: $m = 80 \text{ kg}; s = 40 \text{ cm}; v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}; t = 89 \text{ ms}$
 ges.: F
 Ansatz: $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad | \cdot \frac{2}{t^2}$
 $F = m \cdot a$
 Rechnung: $a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,40 \text{ m}}{(0,089 \text{ s})^2} = 1,0 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $F = 80 \text{ kg} \cdot 1,0 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 8,0 \text{ kN}$
- b) Nein, das wäre nicht möglich: Da beim Abstützen während des Abbremsens ein Kraftbetrag von 8,0 kN anstelle von 500 N notwendig wäre, muss der Großteil der Kraft durch einen Sicherheitsgurt „abgefangen“ werden.
- 6 a) Die Aussage ist korrekt und wird durch die Grundgleichung der Mechanik, $F = m \cdot a$, unterstützt.
- b) Berücksichtigt man, dass die Gesamtmasse der Rakete hauptsächlich auf den Treibstoff zurückgeht, welcher beim Start verbrannt wird, so ist Niklas' Berechnung der Beschleunigung nicht mehr so einfach möglich. Es reicht nicht aus, durch die Gesamtmasse der Rakete vor dem Start zu dividieren, da sich die Gesamtmasse durch das Verbrennen des Treibstoffs während des Starts reduziert.
- 7 a) geg.: $a = 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; v_{\text{Ende}} = 350 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: t
 Ansatz: $v = a \cdot t \quad | : a$
 Rechnung: $t = \frac{v}{a} = \frac{350 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{350 : 3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 81 \text{ s}$
- b) geg.: $a = 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; t = 81 \text{ s}$
 ges.: s
 Ansatz: $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$
 Rechnung: $s = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (81 \text{ s})^2 = 3,9 \text{ km}$
- c) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 350 \frac{\text{km}}{\text{h}}; s = 3,5 \text{ km}$
 ges.: $a; t$
 Ansatz: $a = \frac{v}{t}$ in $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 = \frac{1}{2} v \cdot t \quad | \cdot 2 \quad | : v$
 $t = \frac{2s}{v}$
 Rechnung: $t = \frac{2 \cdot 3,5 \text{ km}}{350 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = \frac{2 \cdot 3,5 \text{ km}}{350 : 3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 72 \text{ s}$
 $a = \frac{350 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{72 \text{ s}} = \frac{350 : 3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{72 \text{ s}} = 1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Aufgaben für Lernpartner

- A Das ist falsch. Je höher die Geschwindigkeit eines Körpers ist, desto steiler ist der Graph. Dies liegt daran, dass der Wert des Quotienten aus s und t bei höherer Geschwindigkeit ebenfalls größer ist und gleichzeitig die Steigung des Graphen beschreibt.
- B Das ist falsch. Die durchschnittliche Geschwindigkeit beschreibt die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers entlang der Strecke im Zeitintervall bzw. in einer Zeitspanne.

- C** Das ist falsch. Mit der Formel $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$ ergibt eine Verdopplung der Zeit t mit $s' = \frac{1}{2} a \cdot (2t)^2 = 4 \cdot \frac{1}{2} a \cdot t^2 = 4s$ eine Vervierfachung der Wegstrecke.
- D** Das ist richtig, denn wird die Kraft, die auf einen Körper wirkt, halbiert, so wird auch die Beschleunigung a halbiert. Das ergibt sich aus $F = m \cdot a$. Aus dieser Halbierung von a ergibt sich mit $\frac{1}{2} a = \frac{\Delta v}{2 \cdot \Delta t}$ eine Verdopplung der Bremszeit Δt . Setzt man nun alles in die Gleichung für den Bremsweg ein, also $\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} a\right) \cdot (2 \cdot \Delta t)^2 = 2 \cdot \frac{1}{2} a \cdot \Delta t^2 = 2s$, sieht man, dass sich der Bremsweg dadurch verdoppelt.
- E** Das ist falsch. Aufgrund der Luft wirkt zusätzlich zur Gewichtskraft eine Kraft, die dazu führt, dass die Bewegung auch ohne Fallschirm keine gleichmäßig beschleunigte Bewegung ist.
Die Fallbeschleunigung in Luft ist nur zu Beginn gleich der Erdbeschleunigung, nachher nimmt sie ab, bis sie nach etwa sieben Sekunden null wird. Je nach Dichte der umgebenden Luft erreicht ein Fallschirmspringer auch ohne geöffneten Schirm nur eine Maximalgeschwindigkeit von ca. $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, weil der Luftwiderstand quadratisch mit der Geschwindigkeit zunimmt.
- F** Das ist richtig. Bei der mathematischen Betrachtung des Energieerhaltungssatzes für den freien Fall kürzt sich die Masse aus den beteiligten Gleichungen raus.
- G** Das ist richtig, da die Beschleunigung beim freien Fall dem Ortsfaktor entspricht.

Einstieg

- $E_{\text{pot}} \rightarrow E_{\text{kin}} + E_i$
- Die kinetische Energie ist abhängig von der Masse und der Geschwindigkeit, dabei gilt: Je größer Masse und Geschwindigkeit sind, desto größer ist auch die kinetische Energie. Allerdings wirkt sich eine zu große Masse stark negativ auf die Flugweite aus, weil der Skispringer dann durch die Gravitation schneller zu Boden gezogen wird.

Aufgaben

1	$E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}}$ in J	0,07	0,15	0,29	0,59
	v^2 in $\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$	1,0	2,0	4,0	7,8
	$m \cdot v^2$ in $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$	0,15	0,30	0,60	1,2
	$\frac{E_{\text{kin}}}{m \cdot v^2}$ in $\frac{\text{J} \cdot \text{s}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$	0,5	0,50	0,48	0,49

Für die Einheiten gilt:

$$\frac{\text{J} \cdot \text{s}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{Nm} \cdot \text{s}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}^2} = 1$$

$$\left(\frac{E_{\text{kin}}}{m \cdot v^2}\right) = \frac{0,5 + 0,50 + 0,48 + 0,49}{4} = 0,5$$

- 2 maximale Geschwindigkeit von Usain Bolt bei seinem Weltrekordlauf: $v_1 = 44,7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 Annahmen:
 Geschwindigkeit Fahrrad: $v_2 = 30,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; Masse des Menschen mit Fahrrad: $m_2 = 70 \text{ kg}$

geg.: $v_1 = 44,7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; $v_2 = 30,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; $m_1 = 95 \text{ kg}$; $m_2 = 70 \text{ kg}$

ges.: $E_{\text{kin},1}$ und $E_{\text{kin},2}$

Ansatz: $E_{\text{kin}} = 0,5 \cdot m \cdot v^2$

Rechnung: $E_{\text{kin},1} = 0,5 \cdot 95 \text{ kg} \cdot \left(44,7 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2 = 0,5 \cdot 95 \text{ kg} \cdot \left(12,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 7,3 \text{ kJ}$

$E_{\text{kin},2} = 0,5 \cdot 100 \text{ kg} \cdot \left(30,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2 = 0,5 \cdot 70 \text{ kg} \cdot \left(8,33 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 2,4 \text{ kJ}$

Antwort: Die kinetische Energie von Usain Bolt ist ungefähr dreimal so hoch wie die des fiktiven Radfahrers. Der Grund liegt in der höheren Masse, aber vor allem daran, dass seine Geschwindigkeit höher ist als die unseres Radfahrers. Die Geschwindigkeit trägt quadratisch zur Energie bei.

- 3 geg.: $E_{\text{kin}} = 12 \text{ GJ}$; $m = 8,0 \text{ t} = 8,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$

ges.: v

Ansatz: $E_{\text{kin}} = 0,5 \cdot m \cdot v^2 \quad | : (0,5 \cdot m) \quad | \sqrt{\quad}$

Rechnung: $v = \sqrt{\frac{E_{\text{kin}}}{0,5 \cdot m}} = \sqrt{\frac{12 \cdot 10^9 \text{ J}}{0,5 \cdot 8,0 \cdot 10^3 \text{ kg}}} = 1,7 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,7 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

Einstieg

- Im tiefsten Punkt der Bahn ist die Geschwindigkeit der Kugel maximal.
- Es sind unterschiedliche Vermutungen möglich. Letztlich spielt die Masse der Kugel (abgesehen von Überlegungen zur Stabilität der Bahn) keine Rolle. Von Reibungsverlusten abgesehen müsste die Kugel dann durch den Looping gehen, wenn die Starthöhe mindestens der maximalen Höhe im Looping entspricht. In der Praxis (mit Reibung) wird man allerdings eine viel größere Starthöhe wählen müssen.

Aufgaben

- 1 a) $E_{\text{pot}} \rightarrow E_{\text{kin}} (+ E_{\text{r}})$
 Beim Schlittensfahren wird potenzielle Energie (Höhenenergie) in kinetische Energie (Bewegungsenergie) umgewandelt. Bezieht man die Gleitreibung zwischen den Kufen des Schlittens und dem Untergrund mit ein, wird ein Teil der Energie in Form von Wärme entwertet.
- b) $E_{\text{chem}} \rightarrow E_{\text{kin}} (+ E_{\text{r}})$
 Ein Teil der chemischen Energie wird allein dadurch entwertet, dass der Körper dauerhaft lebensnotwendige Funktionen aufrechterhält. Entwertung von Energie findet aber auch auf Grund von Reibung am Fahrrad statt. Entsprechend wird nur eine geringe Menge der chemischen Energie in kinetische Energie umgewandelt.
- c) $E_{\text{pot}} \rightarrow E_{\text{kin}} (+ E_{\text{r}})$
 Beim Fall durch die Luft besitzt der Körper einen Luftwiderstand. Dieser führt zur Entwertung von potenzieller Energie. Würde der Körper im Vakuum frei fallen, würde die gesamte potenzielle Energie in kinetische Energie umgewandelt werden.
- 2 a) geg.: $h = 44 \text{ m}$
 ges.: v
 Ansatz: $E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}}$
 $m \cdot g \cdot h = 0,5 \cdot m \cdot v^2 \quad | : m$
 $g \cdot h = 0,5 \cdot v^2 \quad | \cdot 2 \quad | \sqrt{\quad}$
 Rechnung: $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 44 \text{ m}} = 29 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- b) Gemäß a) würde Emma eine Geschwindigkeit von ungefähr $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreichen, was nicht sonderlich realistisch erscheint. Zum einen wird die potenzielle Energie teilweise durch Rollreibung oder den Luftwiderstand entwertet, und vermutlich wird Emma auch ab und zu bremsen, sei es vor einer Kurve oder einfach aus Sicherheitsgründen, damit sie nicht zu schnell wird.
- 3 a) Der Apfel hat wegen seiner Form einen geringeren Luftwiderstand als die Feder. Dieser bewirkt, dass der Apfel während des Falls weniger stark abgebremst wird.
- b) Beim freien Fall im Vakuum wird potenzielle in kinetische Energie umgewandelt. Diese Umwandlung ist unabhängig von der Masse der Körper. Des Weiteren wird im luftleeren Raum beim freien Fall keine Energie durch Reibung mit der Luft (Luftwiderstand) entwertet.
- c) $E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}}$
 $m \cdot g \cdot h = 0,5 \cdot m \cdot v^2 \quad | : m$
 $g \cdot h = 0,5 \cdot v^2$

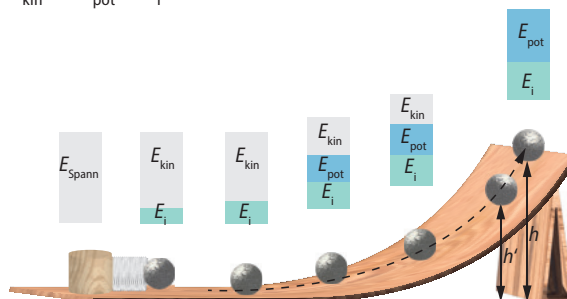
1.8 Energieerhaltung

4 geg.: $h = 5,0 \text{ cm}; m = 80 \text{ g}$
 ges.: $v; E_{\text{kin}}$
 Ansatz: $E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}}$
 $m \cdot g \cdot h = 0,5 \cdot m \cdot v^2 \quad | : m$
 $g \cdot h = 0,5 \cdot v^2 \quad | \cdot 2 \quad | \sqrt{\quad}$
 Rechnung: $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,050 \text{ m}} = 0,99 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 $E_{\text{kin}} = 0,5 \cdot m \cdot v^2 = 0,5 \cdot 0,080 \text{ kg} \cdot (0,99 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 0,039 \text{ J}$

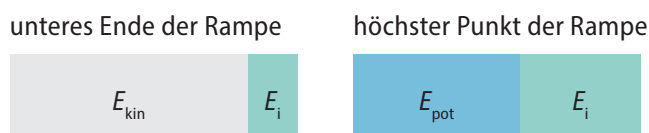
5 a) Wenn der Gummiball nach dem ersten Aufkommen nur noch 80 % der Höhe erreicht, besitzt er in diesem Punkt auch nur noch 80 % der potenziellen Energie. Entsprechend kann nach dem Energieerhaltungssatz auch der Wert der kinetischen Energie des Balls während der Bewegung nach oben maximal 80 % der ursprünglichen Energie besitzen. Da jedoch die kinetische Energie nicht direkt proportional zur Geschwindigkeit des Körpers ist (sondern zu ihrem Quadrat), ist die Behauptung, dass der Ball 80 % der ursprünglichen Geschwindigkeit hat, falsch.

b) geg.: $E_{\text{pot},0}; \eta = 0,80$
 ges.: ΔE
 Ansatz: $\Delta E = E_{\text{pot},0} - E_{\text{pot},5}$
 $E_{\text{pot},1} = \eta \cdot E_{\text{pot},0}$
 $E_{\text{pot},2} = \eta \cdot E_{\text{pot},1} = \eta \cdot \eta \cdot E_{\text{pot},0} = \eta^2 \cdot E_{\text{pot},0}$
 ...
 $E_{\text{pot},5} = \eta^5 \cdot E_{\text{pot},0}$
 Rechnung: $E_{\text{pot},5} = 0,80^5 \cdot E_{\text{pot},0} = 0,33 \cdot E_{\text{pot},0}$
 $\Delta E = E_{\text{pot},0} - 0,33 \cdot E_{\text{pot},0} = 0,67 \cdot E_{\text{pot},0}$
 Antwort: Beim 5-maligen Fallen werden 67 % der Energie entwertet.

6 a) $E_{\text{Spann}} \rightarrow E_{\text{kin}} + E_i$
 $E_{\text{kin}} \rightarrow E_{\text{pot}} + E_i$



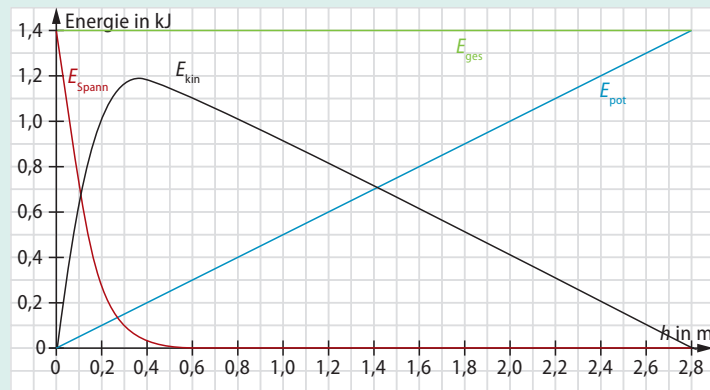
b) Am unteren Ende der Rampe besitzt die Kugel ihre höchste Geschwindigkeit und damit auch die maximale kinetische Energie. Ohne den Einfluss von Reibung würde sie der anfänglichen Spannenergie entsprechen. Mit Reibung wurde ein Teil der Spannenergie entwertet.
 Am höchsten Punkt der Rampe befindet sich die Kugel kurzzeitig in Ruhe und besitzt somit keine Geschwindigkeit bzw. keine kinetische Energie. Diese wurde im reibungslosen Fall komplett in potenzielle Energie umgewandelt. Bezieht man die Rollreibung in die Bilanz mit ein, wurde ein Teil der kinetischen Energie entsprechend entwertet.



- c) geg.: $E_{\text{Spann}} = 0,25 \text{ J}; m = 20 \text{ g}$
 ges.: v
 Ansatz: $E_{\text{Spann}} = E_{\text{kin}}$
 $E_{\text{Spann}} = E_{\text{kin}} = 0,5 \cdot m \cdot v^2 \quad | : (0,5 \cdot m)$
 $v^2 = \frac{E_{\text{Spann}}}{0,5 \cdot m} \quad | \sqrt{\quad}$
 Rechnung: $v = \sqrt{\frac{E_{\text{Spann}}}{0,5 \cdot m}} = \sqrt{\frac{0,25 \text{ J}}{0,5 \cdot 0,020 \text{ kg}}} = 5,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- d) geg.: $E_{\text{Spann}} = E_{\text{kin}} = 0,25 \text{ J}; m = 20 \text{ g}$
 ges.: h
 Ansatz: $E_{\text{kin}} = E_{\text{pot}}$
 $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h \quad | : (m \cdot g)$
 Rechnung: $h = \frac{E_{\text{pot}}}{m \cdot g} = \frac{0,25 \text{ J}}{0,020 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = \frac{0,25 \text{ Nm}}{0,020 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 1,3 \text{ m}$
- e) geg.: $m = 20 \text{ g}; h' = 80 \text{ cm}; E_{\text{Spann}} = 0,25 \text{ J}$
 ges.: $E_{\text{pot}}'; E_{\text{kin}}'$
 Ansatz: $E_{\text{pot}}' = m \cdot g \cdot h'; E_{\text{kin}}' = E_{\text{Spann}} - E_{\text{pot}}'$
 Rechnung: $E_{\text{pot}}' = 0,020 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,80 \text{ m} = 0,16 \text{ J}$
 $E_{\text{kin}}' = 0,25 \text{ J} - 0,16 \text{ J} = 0,09 \text{ J}$

Alltag

- Um die Höhe Δh zu bestimmen, die zum Ermitteln der potenziellen Energie notwendig ist, muss die Höhendifferenz zwischen dem tiefsten Punkt h_1 und dem Punkt der erreichten Höhe h_2 bestimmt werden: $\Delta h = h_2 - h_1$. Wählt man nun den tiefsten Punkt des Sprungs als Nullpunkt $h_1 = 0$ m, muss diese Differenz nicht gebildet werden. Die erreichte Sprunghöhe entspricht dann der gesuchten Höhe: $\Delta h = h_2$. Dies hat zur Folge, dass der Wert der Höhe immer positiv ist. Somit ist aber auch der Wert der Energie immer positiv.
- geg.: $E_{\text{Spann}} = 1,4 \text{ kJ}; m = 50 \text{ kg}$
 ges.: h
 Ansatz: $E_{\text{Spann}} = E_{\text{pot}}$
 $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h \quad | : (m \cdot g)$
 Rechnung: $h = \frac{E_{\text{pot}}}{m \cdot g} = \frac{1,4 \cdot 10^3 \text{ J}}{50 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2,9 \text{ m}$
- Aus dem Diagramm ergibt sich, dass die im Trampolin gespeicherte Spannenergie zunächst in kinetische Energie umgewandelt wird. Diese wird sogleich in potenzielle Energie umgewandelt, die Sprunghöhe nimmt zu.



Im reibungsfreien Fall bleibt die Gesamtenergie während des Vorgangs konstant. Es ergibt sich im Diagramm ein zur h -Achse paralleler Graph. Dies folgt, wenn man die Werte der Spannenergie, der kinetischen Energie und der potenziellen Energie in einer bestimmten Höhe addiert, beispielsweise:

$$\text{für } h = 0 \text{ m: } E_{\text{ges}} = E_{\text{Spann}} = 1,4 \text{ kJ}$$

$$\text{für } h = 0,1 \text{ m: } E_{\text{ges}} = E_{\text{Spann}} + E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = 0,7 \text{ kJ} + 0,65 \text{ kJ} + 0,05 \text{ kJ} = 1,4 \text{ kJ}$$

$$\text{für } h = 1,4 \text{ m: } E_{\text{ges}} = E_{\text{Spann}} + E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = 0 \text{ kJ} + 0,7 \text{ kJ} + 0,7 \text{ kJ} = 1,4 \text{ kJ}$$

Einstieg

- Verschiedene im Auto vorhandene Sensoren messen die ganze Zeit die Beschleunigung des Autos. Wirkt diese nun gegen die Fahrtrichtung, wird ab einem bestimmten Betrag der Airbag ausgelöst. Dabei strömt ein Gas explosionsartig in den Airbag und bläst diesen auf.
- Prallt der Körper des Fahrers auf den Airbag, wird der Körper abgebremst, also negativ beschleunigt. Der Airbag wird hingegen elastisch verformt. Im Moment des Zusammenstoßes erscheint es so, als würde der Körper des Fahrers positiv beschleunigt werden. Dies ist jedoch die Trägheit. Während das Fahrzeug abgebremst wird, verharrt der Körper in seinem Bewegungszustand, bis in der Folge des Aufpralls eine Kraft in entgegengesetzte Richtung auf ihn wirkt.

Aufgaben

- 1 a) Lösungsmöglichkeit:
 - Der Zusammenprall zweier Tennisbälle ist in guter Näherung ein Beispiel für einen elastischen Stoß. Dabei bleibt die kinetische Gesamtenergie während des Vorgangs erhalten.
 - Trifft ein Tennisball auf eine Kugel aus Knetmasse und prallt von dieser nach dem Stoß wieder ab, handelt es sich um einen teilelastischen Stoß. Ein Teil der kinetischen Energie des Balls wird durch Verformung der Knetmasse entwertet.
 - Haftet der Tennisball nach dem Zusammenstoß an der Knetmasse, so dass sich beide mit einer gemeinsamen Geschwindigkeit weiter bewegen, spricht man von einem inelastischen Stoß. Knetmasse und Ball können nach dem Stoß als „ein“ Körper mit einer gemeinsamen kinetischen Energie betrachtet werden. Die kinetische Gesamtenergie ist hier ebenfalls nicht erhalten.
- b)
 - 1 Beim Zusammenstoß der Widder handelt es sich um einen teilelastischen Stoß, wenn sich die Tiere nach dem Zusammenstoß in entgegengesetzte Richtungen weiterbewegen. Ein Teil der Energie wird über die Hörner entwertet.
 - 2 Springt der Junge auf das Skateboard, bewegen sich beide anschließend zusammen mit einer gemeinsamen Geschwindigkeit in die gleiche Richtung weiter. Entsprechend handelt es sich hier um einen inelastischen Stoß.
 - 3 Beim Zusammenprall zweier Billardkugeln handelt es sich in guter Näherung (mit der Annahme, die Kugeln verformen sich weder elastisch noch plastisch) um einen elastischen Stoß. Beide Kugeln bewegen sich getrennt voneinander mit bestimmten Geschwindigkeiten weiter. Beim Stoß wird dabei kinetische Energie übertragen.
- 2 Da sich die Gleiter auf einer Luftkissenbahn bewegen, wirken näherungsweise keine Reibungskräfte. Entsprechend kann die verrichtete Reibungsarbeit, also die Umwandlung von kinetischer Energie in innere Energie, vernachlässigt werden. Beim Zusammenstoß speichert die Feder die gesamte kinetische Energie und gibt diese anschließend wieder an die Gleiter ab. Hierbei wird ebenfalls ein nur sehr geringer Teil der Energie in innere Energie umgewandelt.

3 Lösungsmöglichkeiten:

	Erwünscht	Unerwünscht
Elastischer Stoß	Aufschlag beim Volleyball / Tennis o. Ä., Springen, Billard, ...	Federungen bei Fahrzeugen, Passannahme beim Fußball, Darts, ...
Teilelastischer Stoß	Federungen bei Fahrzeugen, Zusammenstöße von Fahrzeugen (in einem bestimmten Rahmen), Fangen, ...	Springen, Aufschlag beim Tennis / Volleyball o. Ä., Tischkicker, ...
Inelastischer Stoß	Passannahme beim Fußball, Tackling beim Rugby oder auch bei verschiedenen Kampfsportarten, Darts, ...	Billard, Aufschlag beim Tennis / Volleyball o. Ä., Federungen bei Fahrzeugen, Tischkicker, ...

- 4 Im Bezugssystem Erde bewegen sich beide Körper nicht mehr. Von einem Bezugssystem außerhalb der Erde lässt sich feststellen, dass sich beide Körper, also Sandsack und Erde, gemeinsam mit derselben sehr kleinen Geschwindigkeit in eine Richtung weiterbewegen. Diese ist jedoch vernachlässigbar.

Einstieg

- Das Verkehrszeichen weist auf einen Wildwechsel hin. Dies bedeutet, dass Wildtiere häufig die Straße überqueren und es somit zu gefährlichen Situationen im Straßenverkehr kommen kann.
- Die Wucht des Aufschlags hängt sicherlich von den Massen der beteiligten „Körper“ ab. Auch die Geschwindigkeiten spielen beim Aufprall eine Rolle.

Aufgaben

- 1 a) Die physikalische Größe Impuls gibt an, mit welcher Wucht der Ball die Wand trifft. Ihr Wert ist von der Geschwindigkeit und der Masse des Balls abhängig.
- b) geg.: $p = 12,0 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$; $m = 430 \text{ g}$
 ges.: v
 Ansatz: $p = m \cdot v \quad | : m$
 Rechnung: $v = \frac{p}{m} = \frac{12,0 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}}{0,430 \text{ kg}} = 27,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- c) geg.: $p = 99,78 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$; $v = 49,50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: m
 Ansatz: $p = m \cdot v \quad | : v$
 Rechnung: $m = \frac{p}{v} = \frac{99,78 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}}{49,50 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = \frac{99,78 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}}{13,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 7,257 \text{ kg}$
- 2 geg.: $m_1 = 65 \text{ kg}$; $v_1 = 5,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; $m_2 = 12 \text{ g}$; $v_2 = 750 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: p_1 ; p_2
 Ansatz: $p = m \cdot v$
 Rechnung: $p_1 = 65 \text{ kg} \cdot 5,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 65 \text{ kg} \cdot 1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 91 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$
 $p_2 = 12 \text{ g} \cdot 750 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,012 \text{ kg} \cdot 750 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 9,0 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$
 Der Impuls des Fußgängers ist im Vergleich zur Gewehr­kugel näherungsweise 10-mal so groß. Jedoch bewirkt die hohe Geschwindigkeit der Kugel, dass sie eine wesentlich größere Menge an kinetischer Energie speichert.
- $$E_{\text{kin},1} = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 65 \text{ kg} \cdot \left(1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 64 \text{ J}$$
- $$E_{\text{kin},2} = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,012 \text{ kg} \cdot \left(750 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 3,4 \text{ kJ}$$
- Diese Energie wird dann im Falle eines Aufpralls auf den anderen Körper übertragen und kann so großen Schaden anrichten.
- 3 a) Auf Grund der großen Masse haben SUVs im Falle eines Zusammenstoßes einen großen Impuls, der in der Regel dazu führt, dass weniger starke Kräfte auf den eigenen Wagen wirken. Ein weiterer Grund ist, dass man in einem SUV erhöht sitzt. Dies ermöglicht im Straßenverkehr eine bessere Übersicht. Des Weiteren besitzen SUVs viele Knautschzonen, die sich bei Zusammenstößen verformen können und so viel Energie entwerfen.
- b) Der beim Zusammenstoß mögliche große Impuls bedeutet auch, dass dafür stärkere Kräfte auf den Kollisionspartner wirken können. Die Masse sorgt ebenfalls dafür, dass SUVs überdurchschnittlich viel Treibstoff benötigen. Ferner stoßen SUVs im Vergleich zu anderen Fahrzeugklassen mit geringerer Masse mehr Schadstoffe aus und belasten somit stärker die Umwelt.
- 4 Wird die Kugel im Lauf des Gewehrs beschleunigt, überträgt sie einen Impuls auf das Gewehr und dieses wiederum auf den Schützen. Kugel und Schütze bewegen sich anschließend in entgegengesetzte Richtungen.

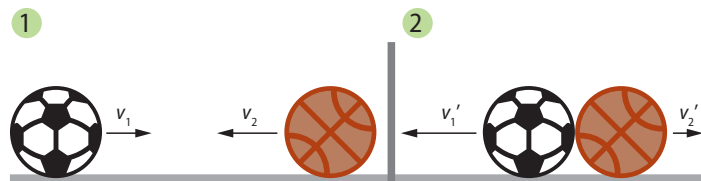
Einstieg

- Bei diesem Aufprall handelt es sich um einen elastischen Zusammenstoß.
- Die Bewegungen nach dem Zusammenstoß werden unter anderem durch die Massen und die Geschwindigkeiten der einzelnen Kugeln bestimmt. Darüber hinaus spielen aber auch die Richtungen vor dem Stoß eine Rolle.

Aufgaben

- a) Der Baseball trifft mit einer bestimmten Geschwindigkeit auf den bewegten Schläger. Dabei wird kinetische Energie und Impuls vom Schläger auf den Ball übertragen. Der Impuls des Balls nimmt zu, seine Geschwindigkeit steigt. Der Schläger wird hingegen leicht abgebremst. Der Gesamtimpuls bleibt dadurch erhalten.
 - b) Beim Rudern übertragen die Leute mit dem Ruderblatt einen Impuls auf das Wasser. Durch Impulserhaltung wirkt ein gleich großer entgegengesetzter Impuls auf das Ruderblatt und damit auch auf die Sportler und das Boot.
 - c) Wird die linke Kugel angehoben und dann losgelassen, fällt sie durch die Schwerkraft zurück gegen die zweite, stehende Kugel. Der Impuls der ersten Kugel wird an die zweite Kugel weitergegeben. Diese ist unbeweglich, da hinter dieser Kugel eine weitere platziert ist. Es findet so lange ein Impulsübertrag statt, bis die letzte Kugel den Impuls in Form einer Bewegung/Schwingung ausführen kann. Durch den elastischen Stoß geht kaum Energie verloren, sodass das Pendel einige Zeit schwingt.

2 a) 1



geg.: $m_1 = 430 \text{ g}; m_2 = 567 \text{ g}; v_1 = 6,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2 = -8,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_1' = -9,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

ges.: v_2'

Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2' \quad | -(m_1 \cdot v_1')$

$m_2 \cdot v_2' = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 - m_1 \cdot v_1' \quad | : m_2$

Rechnung: $v_2' = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 - m_1 \cdot v_1'}{m_2}$

$v_2' = \frac{0,430 \text{ kg} \cdot 6,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,567 \text{ kg} \cdot (-8,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}) - 0,430 \text{ kg} \cdot (-9,9 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{0,567 \text{ kg}} = 4,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

b) geg.: $m_1 = 430 \text{ g}; m_2 = 567 \text{ g}; v_2 = 0,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_1' = -9,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2' = 4,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

ges.: v_1

Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2' \quad | -m_2 \cdot v_2$

$m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2' - m_2 \cdot v_2 \quad | : m_1$

Rechnung: $v_1 = \frac{m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2' - m_2 \cdot v_2}{m_1}$

$v_1 = \frac{0,430 \text{ kg} \cdot (-9,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}) + 0,567 \text{ kg} \cdot 4,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0,567 \text{ kg} \cdot 0,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,430 \text{ kg}} = -4,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

- 3 a) Da die Wand fest mit dem Boden verbunden ist und die wirkenden Kräfte nicht ausreichen, sie zu verformen oder zu beschleunigen, besitzt der Tennisball nach dem Zusammenstoß nahezu dieselbe Geschwindigkeit wie davor. Dies macht ein wiederholtes Schlagen des Balls möglich.
- b) Impuls und mechanische Energie bleiben beim Zusammenstoß erhalten. Für diesen Fall gilt mit v_2 bzw. v_2' als Geschwindigkeit der Wand:
 $v_1 \cdot m_1 + v_2 \cdot m_2 = v_1' \cdot m_1 + v_2' \cdot m_2$ mit $v_2 = v_2' = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ folgt
 $v_1 \cdot m_1 = v_1' \cdot m_1$, also $v_1 = v_1'$.
 Die Geschwindigkeit des Balls nach dem Zusammenstoß ist somit unabhängig von der Masse der Wand.
- c) Lösungsmöglichkeit:
 Es könnte eine unebene Wand verwendet werden. Nach einem Zusammenstoß kann man dann nur schwer abschätzen, in welche Richtung der Ball fliegt. Hierbei wird die Reaktionsfähigkeit trainiert. Man könnte auch Felder vorgeben, in denen der Ball auf die Wand prallen soll, und somit die Präzision der Spielerin verbessern.
- 4 a) Beide Fahrzeuge bewegen sich nach dem Stoß in eine Richtung, da der Unterschied der Geschwindigkeiten gering ist, jedoch die Masse des Lkws die Masse des Autos stark übersteigt. Entsprechend ist der Impuls des Lkws deutlich größer und gibt damit auch die Bewegungsrichtung nach dem Stoß vor, denn der Impulsübertrag findet hauptsächlich vom Lkw auf das Auto statt, nicht umgekehrt.
- b) geg.: $m_1 = 35 \text{ t}; m_2 = 1,5 \text{ t}; v_1 = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_2 = -70 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_1' = 70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: v_2'
 Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2' \quad | -(m_1 \cdot v_1')$
 $m_2 \cdot v_2' = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 - m_1 \cdot v_1' \quad | : m_2$
 Rechnung: $v_2' = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 - m_1 \cdot v_1'}{m_2}$
 $v_2' = \frac{35 \text{ t} \cdot 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 1,5 \text{ t} \cdot (-70 \frac{\text{km}}{\text{h}}) - 35 \text{ t} \cdot 70 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{1,5 \text{ t}} = 1,6 \cdot 10^2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- c) Während des Zusammenstoßes wird sicherlich ein großer Teil beider kinetischer Energien als innere Energie entwertet. Dies geschieht vor allem durch die Verformung der Wagen. Außerdem wird der Kleinwagen nach dem Stoß auf eine Geschwindigkeit von ca. $160 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ beschleunigt. Auf Grund der großen Masse des Lkws ist ein Zusammenstoß mit diesem deshalb lebensgefährlich, falls nicht sogar tödlich. Für die Person im Lkw dagegen ist es weniger gefährlich.

Einstieg

- Bei diesem Aufprall handelt es sich um einen inelastischen Zusammenstoß.
- Nein, da ein Teil seiner Energie auf das Longboard übertragen wird. Dadurch ändert sich die Geschwindigkeit von Erik und seinem Longboard.

Aufgaben

- 1 a) Bei beiden Zusammenstößen bewegen sich die Körper im Anschluss weiter. Während sich beim elastischen Stoß die Körper getrennt voneinander bewegen, verbinden sich die Körper beim inelastischen Stoß und bewegen sich mit einer gemeinsamen Geschwindigkeit weiter. Für beide gilt der Impulserhaltungssatz.
- b) Bei beiden Zusammenstößen gilt jeweils der Energieerhaltungssatz. Dieser gilt immer. Jedoch bleibt beim inelastischen Stoß, im Gegensatz zum elastischen Stoß, die kinetische Energie nicht erhalten. Ein Teil der kinetischen Energie vor dem Stoß wird bei der Energieübertragung, zum Beispiel durch Verformung, entwertet.

- 2 a) geg.: $m_1 = 20 \text{ g}; m_2 = 4,5 \text{ kg}; v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v' = 3,10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: v_1
 Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v'$ mit $v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ folgt
 $m_1 \cdot v_1 = (m_1 + m_2) \cdot v' \quad | : m_1$
 Rechnung: $v_1 = \frac{(m_1 + m_2) \cdot v'}{m_1} = \frac{(0,020 \text{ kg} + 4,5 \text{ kg}) \cdot 3,10 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,020 \text{ kg}} = 7,0 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,9 \cdot 10^2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- b) geg.: $m_1 = 20 \text{ g}; m_2 = 4,5 \text{ kg}; v_1 = 7,0 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v' = 3,10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: $E_{\text{kin},1}; E_{\text{kin}}'; \frac{\Delta E}{E_{\text{kin},1}}$
 Ansatz: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

$$\frac{\Delta E}{E_{\text{kin},1}} = \frac{E_{\text{kin},1} - E_{\text{kin}}'}{E_{\text{kin},1}}$$
 Rechnung: $E_{\text{kin},1} = \frac{1}{2} \cdot 0,020 \text{ kg} \cdot \left(7,0 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 4,9 \text{ kJ}$
 $E_{\text{kin}}' = \frac{1}{2} \cdot (0,020 \text{ kg} + 4,5 \text{ kg}) \cdot \left(3,10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 22 \text{ J}$
 $\frac{\Delta E}{E_{\text{kin},1}} = 1 - \frac{E_{\text{kin}}'}{E_{\text{kin},1}} = 1,0000 - \frac{22 \text{ J}}{4,9 \cdot 10^3 \text{ J}} = 1,0000 - 0,0045 = 0,9955 = 99,55 \%$
- 3 a) geg.: $m_1 = 25 \text{ t}; m_2 = 14 \text{ t}; v_1 = 4,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_2 = -6,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: v'
 Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v' \quad | : (m_1 + m_2)$
 Rechnung: $v' = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} = \frac{25 \text{ t} \cdot 4,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 14 \text{ t} \cdot \left(-6,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)}{25 \text{ t} + 14 \text{ t}} = 0,41 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- b) geg.: $m_1 = 25 \text{ t}; m_2 = 14 \text{ t}; v_1 = 4,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_2 = 6,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: v'
 Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v' \quad | : (m_1 + m_2)$
 Rechnung: $v' = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} = \frac{25 \text{ t} \cdot 4,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 14 \text{ t} \cdot 6,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{25 \text{ t} + 14 \text{ t}} = 4,7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

- 4 a) geg.: $m_1 = 1,5 \text{ t}; m_2 = 800 \text{ kg}; v_1 = 150 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_2 = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: v'
 Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v'$ mit $v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ folgt
 $m_1 \cdot v_1 = (m_1 + m_2) \cdot v' \quad | : (m_1 + m_2)$
 Rechnung: $v' = \frac{m_1 \cdot v_1}{m_1 + m_2} = \frac{1,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 150 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{1,5 \cdot 10^3 \text{ kg} + 800 \text{ kg}} = 98 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- b) geg.: $m_1 = 1,5 \text{ t}; m_2 = 800 \text{ kg}; v_1 = 150 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_2 = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v' = 98 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: $E_{\text{kin},1}; E_{\text{kin}}'; \Delta E$
 Ansatz: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2; \Delta E = E_{\text{kin},1} - E_{\text{kin}}'$
 Rechnung: $E_{\text{kin},1} = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} \cdot (1,5 \cdot 10^3 \text{ kg}) \cdot \left(41,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1,3 \text{ MJ}$
 $E_{\text{kin}}' = \frac{1}{2} \cdot (m_1 + m_2) \cdot v'^2 = \frac{1}{2} \cdot (1,5 \cdot 10^3 \text{ kg} + 800 \text{ kg}) \cdot \left(27,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 0,85 \text{ MJ}$
 $\Delta E = 1,3 \text{ MJ} - 0,85 \text{ MJ} = 0,5 \text{ MJ}$
- c) geg.: $m_1 = 1,5 \text{ t}; m_2 = 800 \text{ kg}; v_1 = 150 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_2 = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: v'
 Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v' \quad | : (m_1 + m_2)$
 Rechnung: $v' = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} = \frac{1,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 150 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 800 \text{ kg} \cdot 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{1,5 \cdot 10^3 \text{ kg} + 800 \text{ kg}} = 1,3 \cdot 10^2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- d) Bei schlechter Sicht sollte man grundsätzlich vorsichtig fahren. Das bedeutet, dass man langsam und vorausschauend fährt und jederzeit bremsbereit ist.
- 5 a) geg.: $m = 250 \text{ g}; v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: p
 Ansatz: $p = m \cdot v$
 Rechnung: $p = 0,250 \text{ kg} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 5,0 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$
 Antwort: Der Impuls nimmt um $5,0 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$ ab.
- b) Der Impuls wird auf die Wand, die mit dem Boden und der Erde verbunden ist, übertragen. Auf Grund der großen Masse der Erde hat dies keine Auswirkungen auf die weitere „Bewegung“ der Wand bzw. des Bodens.
- c) geg.: $m = 250 \text{ g}; v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: E_{kin}
 Ansatz: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
 Rechnung: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 0,250 \text{ kg} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 50 \text{ J}$
 Antwort: Der Energieverlust beträgt 50 J. Diese Energie wird auf die Wand übertragen und dort als innere Energie oder durch die Verformung des Knetballs entwertet.

Reaktionszeit und Reaktionsweg

- geg.: $t = 1,0 \text{ s}; v = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: s
 Ansatz: $v = \frac{s}{t} \quad | \cdot t$
 Rechnung: $s = v \cdot t = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 1,0 \text{ s} = \frac{50}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,0 \text{ s} = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,0 \text{ s} = 14 \text{ m}$
- Lösungsmöglichkeit:
 Die Reaktionszeit setzt sich folgendermaßen zusammen:
 - 1 Zunächst vergeht die Zeit, die ein Mensch braucht, um ein Ereignis (z. B. ein über die Straße laufendes Reh) zu erfassen.
 - 2 Hinzu kommt die Zeit, die ein Mensch braucht, bis er seinen Fuß auf das Bremspedal setzt und entsprechend Druck aufbaut.
 - 3 Manchmal wird auch noch die Zeit hinzugerechnet, die das Auto braucht, bis der Druck des Bremspedals in eine effektive Bremswirkung umgesetzt ist (ca. 0,2 s).
 Nimmt man alle drei Phasen zusammen, vergehen ungefähr 1,0 s, man spricht üblicherweise vereinfachend von der Reaktionszeit.
- Lösungsmöglichkeiten:
 - Alter
 - Übermüdung
 - Ablenkung (z. B. Handy am Steuer)
 - Drogeneinfluss
 - Fitness
 - ...
- Lösungsmöglichkeit anhand einer Unterscheidung:
 vermeidbare Ablenkungen:
 - heruntergefallene Gegenstände
 - Telefonieren
 - SMS, Nachrichten, E-Mails schreiben
 - Essen
 - Rauchen
 - Körperpflege
 weniger vermeidbare Ablenkungen:
 - Bedienen des Navigationsgeräts oder anderer Bedienelemente (z. B. Klimaanlage, Radio, etc.)
 - Trinken
 - Kinder als Beifahrer
 - Tiere im Fahrzeug
 - Einstellen des Sitzes oder der Spiegel
- geg.: $t = 2,0 \text{ s}; v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: s
 Ansatz: $v = \frac{s}{t} \quad | \cdot t$
 Rechnung: $s = v \cdot t = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 2,0 \text{ s} = \frac{100}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2,0 \text{ s} = 27,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2,0 \text{ s} = 56 \text{ m}$

- Lösungsmöglichkeit:

Unfallursache	Gegenmaßnahmen
Verkehrstüchtigkeit: Alkohol/ Drogen am Steuer, Übermüdung, etc.	Nur bei klarem Bewusstsein das Auto verwenden
Fehler der Fahrzeugführer: Geschwindigkeit, Abstand, Überholen, Wenden, Abbiegen, Ladung, etc.	Ständige Kontrolle von Geschwindigkeit und Abstand, Spiegel des Fahrzeugs verwenden
Technische Mängel/Wartungsmängel: Beleuchtung, Bereifung, Bremsen, etc.	Regelmäßige Überprüfung des Fahrzeugs durch Experten
Falsches Verhalten der Fußgänger: Falsches Verhalten beim Überschreiten der Fahrbahn, Nichtbenutzen des Gehwegs, etc.	Vorausschauendes Fahren
Allgemeine Unfallursachen: Straßenverhält- nisse, Witterungseinflüsse, Hindernisse, etc.	Geschwindigkeit und Abstand an äußere Bedingungen anpassen sowie voraus- schauendes Fahren

Bremsweg und Anhalteweg

- Lösungsmöglichkeit:
 - falscher Reifendruck: Reifendruck prüfen und anpassen
 - Straßenverhältnisse (z. B.: winterliche Glätte, Nässe): Richtige Reifenwahl (z. B. Winterreifen, Ketten) und Fahrverhalten entsprechend der Witterungsbedingungen anpassen
 - geringes Reifenprofil: Reifenwechsel
 - veraltete Reifen: Reifenwechsel

- Es gilt: $v_2 = 2 \cdot v_1$

$$s_{\text{Bremsweg}, v_1} = \frac{v_1^2}{100} \text{ m}$$

$$s_{\text{Bremsweg}, v_2} = \frac{v_2^2}{100} \text{ m} = \frac{(2 \cdot v_1)^2}{100} \text{ m} = \frac{4 \cdot v_1^2}{100} \text{ m} = 4 \cdot \frac{v_1^2}{100} \text{ m} = 4 \cdot s_{\text{Bremsweg}, v_1}$$

- geg.: $v_1 = 25 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_2 = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_3 = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_4 = 180 \frac{\text{km}}{\text{h}}; t_{\text{Reaktionszeit}} = 1,0 \text{ s}$

ges.: $s_{\text{Bremsweg}}; s_{\text{Anhalteweg}}$

Ansatz: $v = \frac{s}{t} \quad | \cdot t$

$$s_{\text{Reaktionsweg}} = v \cdot t_{\text{Reaktionszeit}}$$

$$s_{\text{Bremsweg}} = \frac{\left(v \text{ in } \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2}{100} \text{ m}$$

$$s_{\text{Anhalteweg}} = s_{\text{Reaktionsweg}} + s_{\text{Bremsweg}}$$

Rechnung:

Geschwindigkeit	Reaktionsweg	Bremsweg	Anhalteweg
$25 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 6,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$6,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,0 \text{ s} = 6,9 \text{ m}$	$\frac{25^2}{100} \text{ m} = 6,3 \text{ m}$	13,2 m
$50 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,0 \text{ s} = 14 \text{ m}$	$\frac{50^2}{100} \text{ m} = 25 \text{ m}$	39 m
$100 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$28 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,0 \text{ s} = 28 \text{ m}$	$\frac{100^2}{100} \text{ m} = 100 \text{ m}$	128 m
$180 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$50 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,0 \text{ s} = 50 \text{ m}$	$\frac{180^2}{100} \text{ m} = 324 \text{ m}$	374 m

Sicherheitsabstand und Verkehrszonen

- Auf Grund des zu geringen Abstands würde im Falle eines sofortigen Abbremsens des vorderen Autos der Weg nicht ausreichen und es würde zu einem Auffahrunfall (mit möglichen schwerwiegenden Folgen) kommen. Zudem ist die Straße augenscheinlich nass, was einen nochmals höheren Sicherheitsabstand erfordert.
- Das vorausfahrende Fahrzeug ist nicht mit einem stehenden Hindernis gleichzusetzen, sondern legt selbst bei einer Vollbremsung noch einen Weg zurück – den Anhalteweg, genau wie das eigene Auto.
- Sowohl auf Autobahnen als auch auf Landstraßen beträgt der Abstand der Straßenbegrenzungspfosten auf gerader Strecke 50 m. Ihr Abstand in der Kurve hängt von der Krümmung der Fahrbahn ab.
Kurvenradius 20 m: 3 m Abstand
Kurvenradius 50 m: 5 m Abstand
Kurvenradius 100 m: 10 m Abstand
Kurvenradius 300 m: 20 m Abstand
Kurvenradius 600 m und mehr: 50 m Abstand
- Die verschiedenen Geschwindigkeitsbegrenzungen hängen davon ab, wie der Bereich, durch den die Straße verläuft, aufgebaut ist. So werden 30er-Zonen vor allem dort eingesetzt, wo sich viele Menschen, vor allem junge und alte (z. B.: vor Kindergärten und Schulen, in dicht besiedelten Wohngebieten, vor Altenheimen, etc.), aufhalten und bewegen. In Ortschaften ist aus diesem Grund auch eine maximale Geschwindigkeit von $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erlaubt. Diese Begrenzungen führen dazu, dass weniger Unfälle passieren. Auf Straßen, auf denen weniger bzw. keine Fußgänger zu erwarten sind, zum Beispiel Landstraßen oder Autobahnen, darf die Geschwindigkeit der Fahrzeuge auch höher sein.
- Geschwindigkeitsbegrenzungen sorgen für gleichmäßigere Fahrgeschwindigkeiten mit weniger Bremsmanövern und Spurwechseln auf viel befahrenen Straßen und helfen so, das Risiko von Staus zu vermindern. Zudem ist bei geringeren Geschwindigkeiten nur ein kleinerer Sicherheitsabstand nötig. Beide Effekte zusammen sorgen dafür, dass das Fassungsvermögen einer Straße steigt.
- Der Impuls ist der Produktwert aus der Masse und der Geschwindigkeit eines Fahrzeugs und gibt an, wie stark die Wucht beim Zusammenstoß ist. Der Impuls, also die Wucht, nimmt mit steigender Geschwindigkeit des Fahrzeugs zu. Beim Aufprall wird der Impuls dann teilweise auf das andere Fahrzeug übertragen. Je größer die Geschwindigkeit, desto fataler können also die Folgen des Zusammenstoßes sein.

Sicherheitssysteme

- $E_{\text{kin},1} + E_{\text{kin},2} \rightarrow E_{\text{kin}} + E_i$

Sicherheitssystem	Zweirädriges Kfz	Fahrrad	Vierrädriges Kfz
Anti-Blockier-System (ABS)	ja	vereinzelt bei E-Bikes	ja
Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP)	ja	nein	ja
Antriebsschlupfregelung (ASR)	ja	nein	ja
Nachtsichtassistent	ja	nein	ja (auch nachrüstbar)
Totwinkelassistent	ja	nein	ja
Knautschzone	nein	nein	ja
...			

Vergleicht man die Sicherheitssysteme von zwei- und vierrädrigen Kraftfahrzeugen, so fällt auf, dass sich diese stark überschneiden. Ein großer Unterschied besteht jedoch in der Knautschzone. Während vierrädrige Fahrzeuge (bis auf Quads) ausreichend Knautschzonen besitzen, gilt dies für zweirädrige Fahrzeuge nicht.

Dabei hilft die Knautschzone vor allem bei Zusammenstößen mit Körpern geringer Masse und beim Aufprall mit geringen Geschwindigkeiten. Sie entwertet Energie durch elastische und plastische Verformung. Jedoch können die Knautschzonen nur eine bedingte Menge an Energie aufnehmen. Ist diese ausgeschöpft, kann die überschüssige (kinetische) Energie zu fatalen Folgen führen.

- Lösungsmöglichkeiten:
 - Sicherheitsgurt
 - Airbag
 - Abstandsregeltempomat
 - Spurhalteassistent
 - Spurwechselassistent
 - Müdigkeitswarnsysteme
 - Automatische Notbremsysteme
 - ...

Aufgaben zur Einzelarbeit

- 1 Geschosse mit sehr geringen Massen können dennoch sehr gefährlich sein, da sie durch sehr hohe Geschwindigkeiten eine große kinetische Energie besitzen, die bei einem Aufprall mit einer größeren Masse in andere Energieformen umgewandelt wird, sodass große Schäden entstehen können. Die Geschwindigkeit spielt dabei eine größere Rolle als die Masse, da sie quadratisch in die Gleichung für die kinetische Energie eingeht:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2.$$

- 2 a) geg.: $F = 180 \text{ kN}; m = 23,5 \text{ t}$
 ges.: a
 Ansatz: $F = m \cdot a \quad | : m$
 Rechnung: $a = \frac{F}{m} = \frac{180 \cdot 10^3 \text{ N}}{23,5 \cdot 10^3 \text{ kg}} = 7,66 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- b) geg.: $a = 7,66 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; v = 234 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: s
 Ansatz: $v = a \cdot t \quad | : a$
 $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$
 Rechnung: $t = \frac{v}{a} = \frac{65,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7,66 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 8,49 \text{ s}$
 $s = \frac{1}{2} \cdot 7,66 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (8,49 \text{ s})^2 = 276 \text{ m}$
- c) geg.: $v = 234 \frac{\text{km}}{\text{h}}; F = 180 \text{ kN}; m = 23,5 \text{ t}; s = 276 \text{ m}$
 ges.: E_{kin}
 Ansatz: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
 $E_{\text{kin}} = F \cdot s$
 Rechnung: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 23,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \left(65,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 49,6 \text{ MJ}$
 $E_{\text{kin}} = 180 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 276 \text{ m} = 49,7 \text{ MJ}$
- 3 a) geg.: $m = 12 \text{ g}; h = 6,2 \text{ m}$
 ges.: v
 Ansatz: Es gilt Energieerhaltung, die kinetische Energie wandelt sich bis zur Höhe h komplett in potenzielle Energie um.
 $E_{\text{kin}} = E_{\text{pot}}$
 $\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h \quad | : m \quad | \cdot 2 \quad | \sqrt{\quad}$
 Rechnung: $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6,2 \text{ m}} = 11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- b) geg.: $v = 11 \frac{\text{m}}{\text{s}}; m = 12 \text{ g}$
 ges.: E_{Spann}
 Ansatz: Es gilt Energieerhaltung, die Spannenergie wird in kinetische Energie umgewandelt.
 $E_{\text{Spann}} = E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$
 Rechnung: $E_{\text{Spann}} = \frac{1}{2} \cdot 12 \text{ g} \cdot \left(11 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$
 $E_{\text{Spann}} = \frac{1}{2} \cdot 0,012 \text{ kg} \cdot \left(11 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 0,73 \text{ J}$
- c) geg.: $E_{\text{Spann}} = E_{\text{kin}} = 0,73 \text{ J}; m = 12 \text{ g}; 15 \% \text{ Energieentwertung}$
 ges.: h
 Ansatz: $E_{\text{kin}} \cdot 0,85 = E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h \quad | : (m \cdot g)$
 Rechnung: $h = \frac{E_{\text{kin}} \cdot 0,85}{m \cdot g} = \frac{0,73 \text{ J} \cdot 0,85}{0,012 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 5,3 \text{ m}$

- 4 a) geg.: $h_1 = 2,5 \text{ m}; m_1 = 70 \text{ kg}; m_2 = 60 \text{ kg}$
 ges.: h_2
 Ansatz: $E_{\text{pot}, 1} = E_{\text{pot}, 2}$
 $m_1 \cdot g \cdot h_1 = m_2 \cdot g \cdot h_2 \quad | : g \quad | : m_2$
 Rechnung: $h_2 = \frac{m_1 \cdot h_1}{m_2} = \frac{70 \text{ kg} \cdot 2,5 \text{ m}}{60 \text{ kg}} = 2,9 \text{ m}$
- b) Unter der Voraussetzung, dass Schüler 2 („Partner“) und damit seine Masse festgelegt ist: Man könnte einen Schüler 1 mit geringerer Masse wählen oder/und den Schüler 1 aus einer geringeren Höhe springen lassen. Damit würde sich die Schleuderhöhe des Partners verringern.
- 5 a) Bei der Verwendung von Matten beim Sport handelt es sich meist um einen inelastischen Stoß, da man beispielsweise beim Hochsprung am Ende auf die Matte fällt und dort liegen bleibt. Der eigene Impuls wirkt sich dadurch so gut wie nicht auf die Matte aus, da diese direkt mit der Erde verbunden ist, welche eine deutlich größere Masse besitzt. Die Matte wird jedoch zusammengedrückt bzw. verformt, wobei die Energie dabei komplett entwertet wird.
- b) Bei Leitplanken am Straßenrand handelt es sich meist ebenfalls um einen inelastischen Stoß. Kommt ein Auto beispielsweise von der Fahrbahn ab und fährt gegen die Leitplanke, so bewegen sich Leitplanke und Auto je nach Stärke des Aufpralls gemeinsam weiter, bis die Energie entwertet ist, was meist durch die Verformung der Leitplanke und des Autos der Fall ist. Auto und Leitplanke besitzen bis zum Stillstand einen gemeinsamen Impuls.
- c) Beim Zusammenstoß von Billardkugeln handelt es sich um elastische Stöße. Stößt eine Billardkugel beispielsweise auf eine andere ruhende Billardkugel, so bewegen sich beide mit neuen Impulsen, die addiert wieder den Anfangsimpuls der ersten Kugel ergeben, in unterschiedliche Richtungen weiter. Die kinetische Energie bleibt dabei ebenfalls erhalten.
- d) Bei einem Kometeneinschlag handelt es sich um einen inelastischen Stoß, da der Komet auf der Erde liegen bleibt. Der Impuls des Kometen hat aufgrund der deutlich geringeren Masse so gut wie keinen Einfluss auf die Bewegung der Erde. Die Energie wird komplett entwertet, hauptsächlich durch die Verformung der Erde, wenn der Einschlagkrater entsteht.
- 6 geg.: $m_G = 4,0 \text{ kg}; m_K = 10 \text{ g}; v_K = 400 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: v_G
 Ansatz: $m_G \cdot v_G = m_K \cdot v_K \quad | : m_G$
 $v_G = \frac{m_K \cdot v_K}{m_G}$
 Rechnung: $v_G = \frac{0,010 \text{ kg} \cdot 400 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4,0 \text{ kg}} = 1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- 7 geg.: $m_1 = 2,0 \text{ kg}; v_1 = 8,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2 = 0,0 \frac{\text{m}}{\text{s}};$
 $v_1' = -4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2' = 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: m_2
 Ansatz: $m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2' \quad | - m_1 \cdot v_1' \quad | : v_2'$
 $m_2 = \frac{m_1 \cdot v_1 - m_1 \cdot v_1'}{v_2'} = \frac{m_1 \cdot (v_1 - v_1')}{v_2'}$
 Rechnung: $m_2 = \frac{2,0 \text{ kg} \cdot \left(8,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} - (-4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}})\right)}{4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 6,0 \text{ kg}$

- 8 a) Die Geschwindigkeit der Fußspitze nimmt kurz vor dem Ballkontakt ab, da die Energie der Fußspitze an den Ball übertragen wird. Aufgrund der Energieerhaltung muss die Geschwindigkeit also abnehmen, sodass nach der Impulsübertragung durch den Stoß der Ball eine Geschwindigkeit besitzt.
- b) Dies lässt sich ebenfalls mithilfe des Energieerhaltungssatzes erklären, da gilt
- $$E_{\text{kin, Fuß}} = \frac{1}{2} m_{\text{Fuß}} \cdot v_{\text{Fuß}}^2 = \frac{1}{2} m_{\text{Ball}} \cdot v_{\text{Ball}}^2.$$
- Die Masse des Balls ist kleiner als die Masse des Fußes, somit ist die Geschwindigkeit größer, um die gleiche kinetische Energie zu erhalten.
- 9 a) geg.: $v_1 = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; m_1 = m_2 = m$
 ges.: v'
 Ansatz: Impulserhaltung $v_1 \cdot m = 2m \cdot v' \quad | : m \quad | : 2$

$$v' = \frac{v_1}{2}$$
 Rechnung: $v' = \frac{10 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- b) geg.: $v_1 = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v' = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: Prozent der thermischen Energie zur kinetischen Energie η
 Ansatz: $\eta = \frac{E_{\text{therm}}}{E_{\text{kin}}} = \frac{E_{\text{kin}} - E'_{\text{kin}}}{E_{\text{kin}}}; E_{\text{kin}}' = \frac{1}{2} \cdot 2m \cdot v'^2$

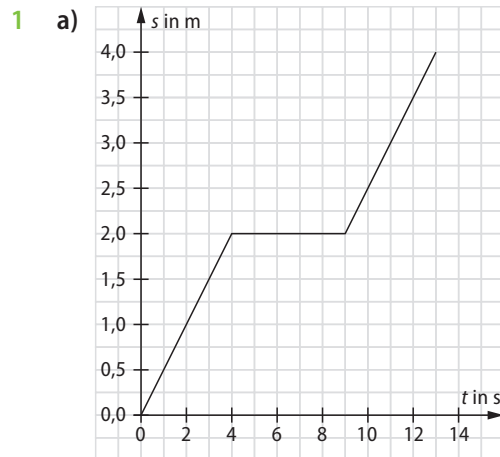
$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v_1^2$$

$$\eta = \frac{v_1^2 - 2 \cdot v'^2}{v_1^2}$$
 Rechnung: $\eta = \frac{(10 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 - 2 \cdot (5 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{(10 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 0,5 = 5 \cdot 10^1 \%$

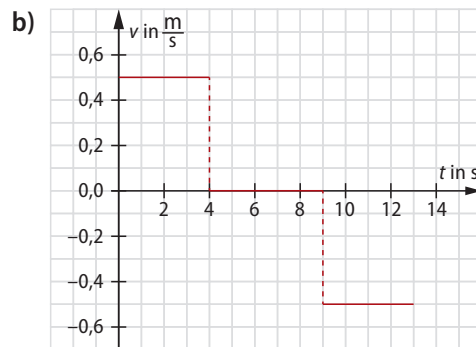
Aufgaben für Lernpartner

- A Das ist falsch. Um eine Verdopplung der kinetischen Energie zu erreichen, muss die Geschwindigkeit eines Körpers bei fester Masse auf das $\sqrt{2}$ -Fache ansteigen, da die Geschwindigkeit quadratisch in die Gleichung eingeht. Bei einer Vervielfachung der Geschwindigkeit würde die kinetische Energie auf das 16-Fache ansteigen.
- B Das ist falsch. Der Energieerhaltungssatz gilt immer. Im Falle von vorhandener Reibung wird ein Teil der Energie in innere Energie umgewandelt, was jedoch nicht gegen den Energieerhaltungssatz spricht.
- C Das ist falsch. Beim elastischen Stoß muss die Summe der kinetischen Energien vor dem Stoß gleich der Summe der kinetischen Energien nach dem Stoß sein, nicht aber die Energien der einzelnen Körper.
- D Das ist richtig und ergibt sich aus der Definition des Impulses $p = m \cdot v = 2m \cdot \frac{1}{2}v$.
- E Das ist falsch. Nur die kinetische Energie bleibt nicht bei jeder Art des Zusammenstoßes erhalten, der Impuls schon.

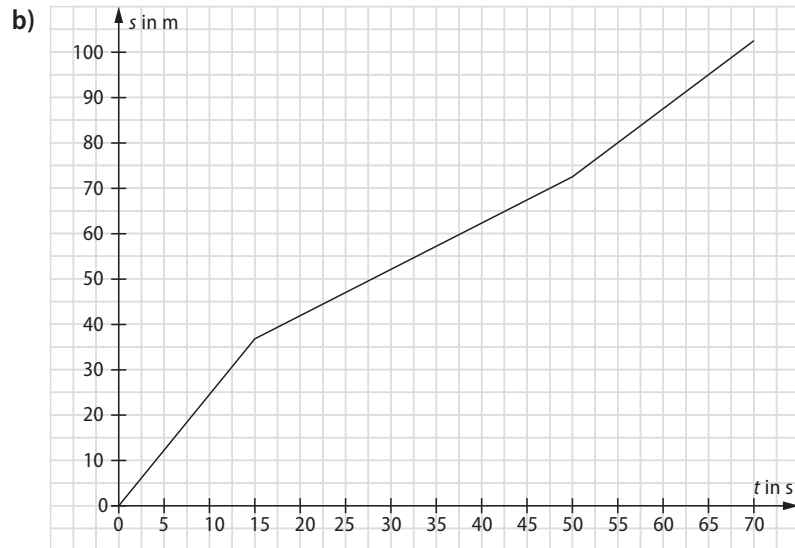
- F Das ist falsch. Bei Aufgabe 9 handelt es sich beispielsweise um einen inelastischen Stoß, dort geht jedoch kinetische Energie in Form von thermischer Energie verloren. Das eine Auto fährt auf das andere Auto mit gleicher Masse auf und beide zusammen haben nach dem Stoß nur die halbe Geschwindigkeit. $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \neq \frac{1}{2} 2m \cdot \left(\frac{1}{2} v\right)^2 = \frac{1}{2} E_{\text{kin}}$.



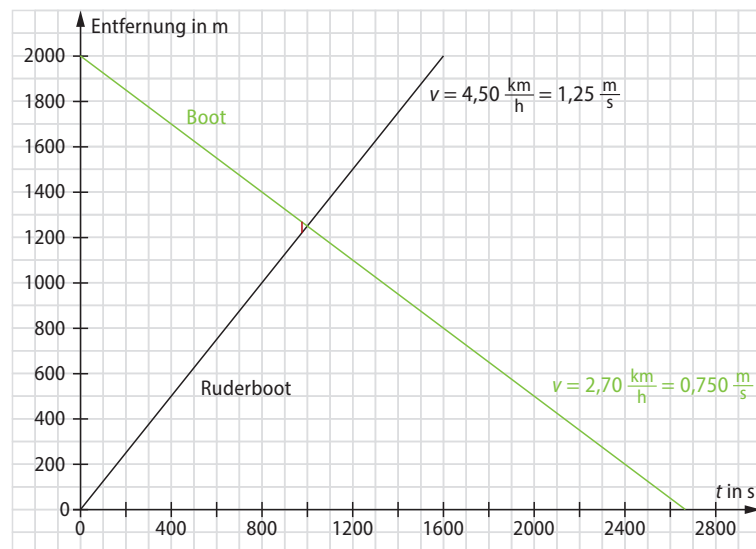
$t \in [0 \text{ s}; 4 \text{ s}]$: konstante Geschwindigkeit
 $t \in [4 \text{ s}; 9 \text{ s}]$: Körper bleibt stehen / bremst schlagartig auf „Null“ ab
 $t \in [9 \text{ s}; 13 \text{ s}]$: konstante Geschwindigkeit wie zur Zeit $t \in [0 \text{ s}; 4 \text{ s}]$,
 aber in entgegengesetzter Richtung, also mit negativem Vorzeichen



2 a) geg.: $v_1 (\Delta t_1 = 15 \text{ s}) = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; $v_2 (\Delta t_2 = 35 \text{ s}) = 1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; $v_3 (\Delta t_3 = 20 \text{ s}) = -1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: $s (\Delta t_{\text{ges}} = 70 \text{ s})$; $x (\Delta t_{\text{ges}} = 70 \text{ s})$
 Ansatz: Weg s : $s (\Delta t_{\text{ges}}) = v_1 \cdot \Delta t_1 + v_2 \cdot \Delta t_2 + |v_3| \cdot \Delta t_3$;
 Entfernung x : $x (\Delta t_{\text{ges}}) = v_1 \cdot \Delta t_1 + v_2 \cdot \Delta t_2 + v_3 \cdot \Delta t_3$
 Rechnung: $s (\Delta t_{\text{ges}} = 70 \text{ s}) = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 15 \text{ s} + 1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 35 \text{ s} + | -1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} | \cdot 20 \text{ s}$
 $s (\Delta t_{\text{ges}} = 70 \text{ s}) = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 15 \text{ s} + 1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 35 \text{ s} + 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 20 \text{ s}$
 $s (\Delta t_{\text{ges}} = 70 \text{ s}) = 0,10 \text{ km}$
 $x (\Delta t_{\text{ges}} = 70 \text{ s}) = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 15 \text{ s} + 1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 35 \text{ s} - 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 20 \text{ s}$
 $x (\Delta t_{\text{ges}} = 70 \text{ s}) = 43 \text{ m}$



3 Grafische Lösung:



Rechnerische Lösung:

geg.: $v_{\text{Ruderboot}} = 4,50 \frac{\text{km}}{\text{h}}; s_{\text{Ruderboot}}(t=0 \text{ s}) = 0 \text{ m}$

$s_{\text{Boot}}(t=0 \text{ s}) = 2000 \text{ m}; v_{\text{Boot}} = 2,70 \frac{\text{km}}{\text{h}}; s_{\text{Boot}} - s_{\text{Ruderboot}} = 50 \text{ m}$

ges.: $t; s$

Ansatz: $s_{\text{Ruderboot}}(t) = v_{\text{Ruderboot}} \cdot t; s_{\text{Boot}}(t) = s_{\text{Boot}}(t=0 \text{ s}) - v_{\text{Boot}} \cdot t$

Rechnung: $s_{\text{Ruderboot}}(t) = 4,50 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot t = 1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t$

$s_{\text{Boot}}(t) = 2000 \text{ m} - 2,70 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot t = 2000 \text{ m} - 0,750 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t$

$50 \text{ m} = s_{\text{Boot}} - s_{\text{Ruderboot}} = 2000 \text{ m} - 0,750 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t - 1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t$
 $= 2000 \text{ m} - 2,00 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t$

$50 \text{ m} = 2000 \text{ m} - 2,00 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t \quad | - 50 \text{ m} + 2,00 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t \quad | : 2,00 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$t = \frac{1950 \text{ m}}{2,00 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 975 \text{ s}$

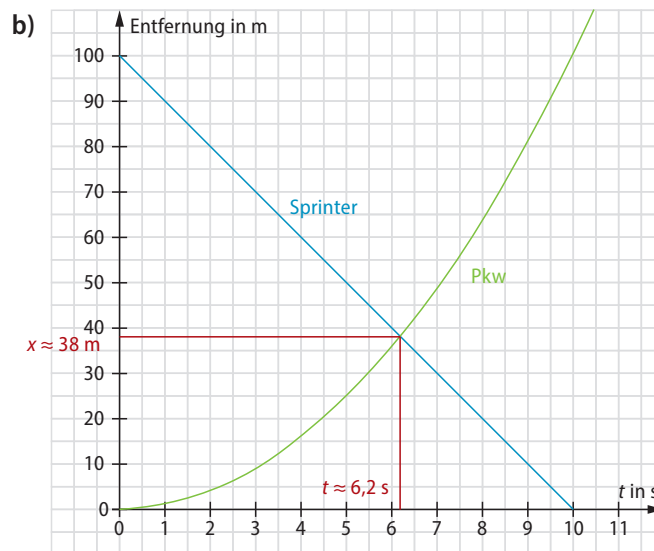
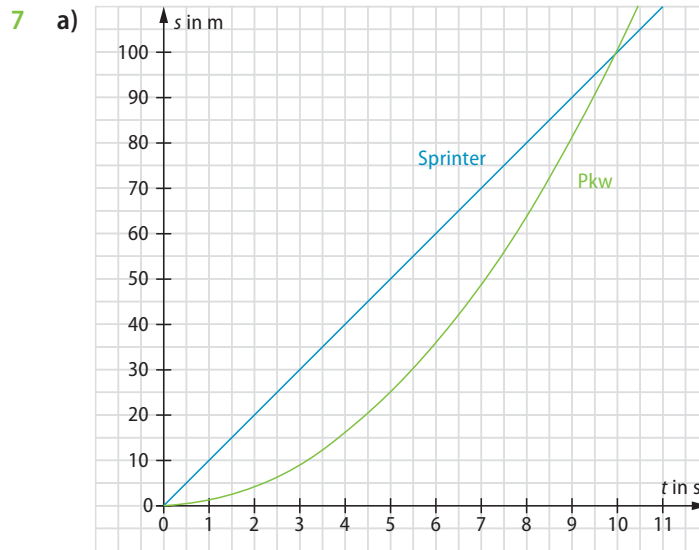
$s_{\text{Ruderboot}}(t) = 1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 975 \text{ s} = 1,22 \text{ km}$

$s_{\text{Boot}}(t) = 2000 \text{ m} - 0,750 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 975 \text{ s} = 1,27 \text{ km}$

Antwort: Die beiden Boote haben nach 975 s einen Abstand von 50 m.

Das Ruderboot hat bis dahin 1,22 km zurückgelegt, das Boot dagegen nur $(2,00 - 1,27) \text{ km} = 0,73 \text{ km}$.

- 4 a) geg.: $v_{\text{Ende}} = 126 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; \Delta t = 40 \text{ s}$
 ges.: a
 Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}$
 Rechnung: $a = \frac{126 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{40 \text{ s}} = \frac{35 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{40 \text{ s}} = 0,88 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- b) geg.: $a = 0,88 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; t = 85 \text{ s}$
 ges.: v
 Ansatz: $v = a \cdot t$
 Rechnung: $v = 0,88 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 85 \text{ s} = 75 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 27 \cdot 10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- c) geg.: $a = -0,70 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; v_{\text{Anfang}} = 300 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: t
 Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad | \cdot \Delta t \quad | : a$
 Rechnung: $\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{a} = \frac{0 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 300 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{-0,70 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{83,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,70 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 12 \cdot 10 \text{ s} = 2,0 \text{ min}$
- d) Da der Luftwiderstand, dem ein Fahrzeug entgegenwirken muss, mit zunehmender Geschwindigkeit ebenfalls (sogar quadratisch) steigt, wirkt der Beschleunigungskraft des Motors eine immer größer werdende Kraft entgegen. Die effektive Beschleunigung nimmt deshalb mit zunehmender Geschwindigkeit immer weiter ab.
- 5 a) geg.: $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; t = 4,5 \text{ s}$
 ges.: s
 Ansatz: $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$
 Rechnung: $s = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (4,5 \text{ s})^2 = 99 \text{ m}$
 Antwort: Der Turm könnte nach dieser einfachen Rechnung zunächst gebaut werden, da die für einen freien Fall von 4,5 s geforderte Turmhöhe von 99 m kleiner ist als die genehmigte Höhe von 100 m.
- b) Aufgrund des Luftwiderstands ist die tatsächliche Fallhöhe geringer als die berechnete. Die tatsächliche Turmhöhe muss jedoch deutlich größer sein, da der Bremsweg zur Fallhöhe addiert werden muss. Es ist deshalb anzunehmen, dass der Turm die Maximalhöhe von 100 m überschreitet und deshalb so nicht gebaut werden darf.
- 6 a) geg.: $a = -9,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; v_{\text{Anfang}} = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: $\Delta t; s_{\text{Bremsweg}}$
 Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad | \cdot \Delta t \quad | : a$
 $s_{\text{Bremsweg}} = \frac{1}{2} |a| \cdot \Delta t^2$
 Rechnung: $t_{\text{Bremszeit}} = \Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{0 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{-9,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,92 \text{ s}$
 $s_{\text{Bremsweg}} = \frac{1}{2} \cdot \left| -9,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right| \cdot (0,92 \text{ s})^2 = 3,8 \text{ m}$
- b) geg.: $a = -9,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; v_{\text{Anfang}} = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 $s_{\text{Bremsweg}} = 3,8 \text{ m}; t_{\text{Reaktionszeit}} = 1,0 \text{ s}$
 ges.: $s_{\text{Anhalteweg}}$
 Ansatz: $s_{\text{Anhalteweg}} = s_{\text{Reaktionsweg}} + s_{\text{Bremsweg}}; s_{\text{Reaktionsweg}} = v_{\text{Anfang}} \cdot t_{\text{Reaktionszeit}}$
 Rechnung: $s_{\text{Reaktionsweg}} = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 1,0 \text{ s} = 8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,0 \text{ s} = 8,3 \text{ m}$
 $s_{\text{Anhalteweg}} = 8,3 \text{ m} + 3,8 \text{ m} = 12,1 \text{ m}$



c) **1. Lösungsmöglichkeit:** Der Wert kann grafisch bestimmt und direkt am Zeit-Orts-Diagramm abgelesen werden, da es sich um den Ortswert des Schnittpunktes handelt. Die beiden treffen sich nach ca. 6,2 s bei 38 m Entfernung von der Startlinie des Autos.

2. Lösungsmöglichkeit: Man verwendet den grafisch bestimmten Wert für $t \approx 6,2$ s und berechnet damit den Ort.

geg.: $v_{\text{Sprinter}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}; x_{\text{Sprinter}}(t = 0 \text{ s}) = 100 \text{ m}; t_{\text{Begegnung}} = 6,2 \text{ s}$

ges.: $x_{\text{Begegnung}}$

Ansatz: $x_{\text{Begegnung}} = x_{\text{Sprinter}}(t = 0 \text{ s}) - v_{\text{Sprinter}} \cdot t_{\text{Begegnung}}$

Rechnung: $x_{\text{Begegnung}} = 100 \text{ m} - 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 6,2 \text{ s} = 38 \text{ m}$

3. Lösungsmöglichkeit: rein rechnerische Lösung:

geg.: $v_{\text{Sprinter}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}; a_{\text{Pkw}} = 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; x_{\text{ges}} = 100 \text{ m}$

ges.: $t_{\text{Begegnung}}; x_{\text{Begegnung}}$

Ansatz: $x_{\text{Sprinter}}(t_{\text{Begegnung}}) = -v_{\text{Sprinter}} \cdot t_{\text{Begegnung}} + x_{\text{ges}}$

$$x_{\text{Pkw}}(t_{\text{Begegnung}}) = \frac{1}{2} a_{\text{Pkw}} \cdot t_{\text{Begegnung}}^2$$

$$x_{\text{Sprinter}}(t_{\text{Begegnung}}) = x_{\text{Pkw}}(t_{\text{Begegnung}})$$

$$\Leftrightarrow -v_{\text{Sprinter}} \cdot t_{\text{Begegnung}} + x_{\text{ges}} = \frac{1}{2} a_{\text{Pkw}} \cdot t_{\text{Begegnung}}^2$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2} a_{\text{Pkw}} \cdot t_{\text{Begegnung}}^2 + v_{\text{Sprinter}} \cdot t_{\text{Begegnung}} - x_{\text{ges}} = 0$$

$$\Leftrightarrow t_{\text{Begegnung}} = \frac{-v_{\text{Sprinter}} \pm \sqrt{v_{\text{Sprinter}}^2 - 4 \cdot \frac{1}{2} a_{\text{Pkw}} \cdot (-x_{\text{ges}})}}{a_{\text{Pkw}}}$$

Rechnung: $t_{\text{Begegnung}} = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \pm \frac{\sqrt{\left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (-100 \text{ m})}}{2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$

$$= \frac{-10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \pm \sqrt{100 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 400 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}}{2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$t_{\text{Begegnung},1} = 6,2 \text{ s} \quad (t_{\text{Begegnung},2} = -16 \text{ s} \text{ ist physikalisch nicht möglich.})$$

$$x_{\text{Begegnung}} = \frac{1}{2} \cdot 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (6,2 \text{ s})^2 = 38 \text{ m}$$

d) geg.: $m_{\text{Sprinter}} = 75 \text{ kg}; v_{\text{Sprinter}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}; m_{\text{Pkw}} = 1,5 \text{ t}; t = 6,2 \text{ s}$

ges.: $E_{\text{kin, Sprinter}}; E_{\text{kin, Pkw}}$

Ansatz: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2; v_{\text{Pkw}} = a_{\text{Pkw}} \cdot t$

Rechnung: $E_{\text{kin, Sprinter}} = \frac{1}{2} \cdot 75 \text{ kg} \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 3,8 \text{ kJ}$

$$v_{\text{Pkw}} = 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6,2 \text{ s} = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$E_{\text{kin, Pkw}} = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \left(12 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 11 \cdot 10 \text{ kJ}$$

Antwort: Die kinetische Energie des Pkws ist deutlich größer als die des Sprinters, obwohl sich die Geschwindigkeiten nicht sehr stark unterscheiden. Würden die beiden tatsächlich aufeinandertreffen, wäre das für den Sprinter also äußerst gefährlich.

8 a) geg.: $m = 2,5 \text{ t}; \Delta t = 4,0 \text{ s}; v_{\text{Anfang}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

ges.: $a; F$

Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}; F = m \cdot a$

Rechnung: $\Delta v = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{11 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4,0 \text{ s}} = 2,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = m \cdot a = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 2,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 7,0 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 7,0 \text{ kN}$$

b) geg.: $a = 2,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; t = 4,0 \text{ s}; F = 7,0 \text{ kN}; v_{\text{Anfang}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

ges.: $s; W$

Ansatz: $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_{\text{Anfang}} \cdot t; W = F \cdot s$

Rechnung: $s = \frac{1}{2} \cdot 2,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (4,0 \text{ s})^2 + 14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 4,0 \text{ s} = 78 \text{ m}$

$$W = F \cdot s = 7,0 \text{ kN} \cdot 78 \text{ m} = 55 \cdot 10 \text{ kNm} = 55 \cdot 10 \text{ kJ}$$

c) geg.: $W = 55 \cdot 10 \text{ kJ}; m = 2,5 \text{ t}; v_{\text{Anfang}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: ΔE_{kin}
 Ansatz: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2; \Delta E_{\text{kin}} = E_{\text{kin},2} - E_{\text{kin},1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{Ende}}^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{Anfang}}^2$
 $= \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_{\text{Ende}}^2 - v_{\text{Anfang}}^2)$
 Rechnung: $\Delta E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \left(\left(25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 - \left(14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right) = 54 \cdot 10^4 \text{ Nm} = 54 \cdot 10 \text{ kJ}$
 Antwort: Die Differenz der kinetischen Energien entspricht annähernd der Bremsarbeit, denn aufgrund der Energieerhaltung bleibt die Gesamtenergie beim Bremsvorgang gleich und die Differenz der kinetischen Energien wird in Beschleunigungsarbeit umgewandelt.

d) geg.: $W = 55 \cdot 10 \text{ kJ}; v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: v_{Ende}
 Ansatz: $W = \Delta E_{\text{kin}} = E_{\text{kin, Ende}} - E_{\text{kin, Anfang}} = E_{\text{kin, Ende}} - 0 = E_{\text{kin, Ende}}$
 $W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{Ende}}^2 \quad | \cdot 2 \quad | : m \quad | \sqrt{\quad}$
 $v_{\text{Ende}} = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{m}}$
 Rechnung: $v_{\text{Ende}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 55 \cdot 10 \text{ kJ}}{2,5 \cdot 10^3 \text{ kg}}} = 21 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 76 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

alternative Lösung:

geg.: $W = 55 \cdot 10 \text{ kJ}; v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: $a; v_{\text{Ende}}$
 Ansatz: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}; W = F \cdot s$
 mit $F = m \cdot a$ folgt: $W = m \cdot a \cdot s$
 mit $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$ folgt: $W = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot t^2 \cdot a^2$
 Auflösen nach a ergibt: $a = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{m \cdot t^2}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{Ende}}}{t} \Rightarrow v_{\text{Ende}} = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{m}}$
 Rechnung: $\Delta v = v_{\text{Ende}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 55 \cdot 10 \text{ kJ}}{2,5 \cdot 10^3 \text{ kg}}} = 21 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 76 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

9 geg.: $m_1 = 30 \text{ g}; m_2 = 60 \text{ g}; v_1 = 6,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2' = 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: v_1'
 Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2' \quad | - (m_2 \cdot v_2')$
 $m_1 \cdot v_1' = m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2' \quad | : m_1$
 Rechnung: $v_1' = \frac{m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2'}{m_1} = \frac{30 \text{ g} \cdot 6,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 60 \text{ g} \cdot 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{30 \text{ g}} = -2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

10 a) geg.: $m_1 = 0,50 \text{ g}; m_2 = 250 \text{ g}; v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v' = 0,38 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: v_1
 Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v'$
 $m_1 \cdot v_1 = (m_1 + m_2) \cdot v' \quad | : m_1$
 Rechnung: $v_1 = \frac{(m_1 + m_2) \cdot v'}{m_1} = \frac{(0,50 \text{ g} + 250 \text{ g}) \cdot 0,38 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,50 \text{ g}} = 1,9 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 b) geg.: $m_1 = 0,50 \text{ g}; m_2 = 250 \text{ g}; v_1 = 1,9 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v' = 0,38 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: $E_{\text{kin},1}; E_{\text{kin},2}; E_{\text{kin}}$
 Ansatz: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
 Rechnung: $E_{\text{kin},1} = \frac{1}{2} \cdot 0,50 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \left(1,9 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 9,0 \text{ J}$
 $E_{\text{kin},2} = 0,0 \text{ J}$
 $E_{\text{kin}}' = \frac{1}{2} \cdot (0,50 \cdot 10^{-3} \text{ kg} + 0,250 \text{ kg}) \cdot \left(0,38 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 0,018 \text{ J}$
 Antwort: Ein Großteil der kinetischen Energie der Kugel wird beim inelastischen Zusammenstoß in innere Energie umgewandelt. Dabei wird thermische Arbeit sowie Verformungsarbeit verrichtet.

11 a) geg.: $m_1 = 44 \text{ kg}; m_2 = 56 \text{ kg}; v_1 = 4,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_2 = 3,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10,8 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: v'
 Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v' \quad | : (m_1 + m_2)$
 Rechnung: $v' = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} = \frac{44 \text{ kg} \cdot 4,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 56 \text{ kg} \cdot 10,8 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{44 \text{ kg} + 56 \text{ kg}} = 7,8 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

b) geg.: $m_1 = 44 \text{ kg}; m_2 = 56 \text{ kg}; v_1 = 4,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_2 = -3,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} = -10,8 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: v'
 Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v' \quad | : (m_1 + m_2)$
 Rechnung: $v' = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} = \frac{44 \text{ kg} \cdot 4,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 56 \text{ kg} \cdot (-10,8 \frac{\text{km}}{\text{h}})}{44 \text{ kg} + 56 \text{ kg}} = -4,3 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

12 geg.: Körper 1 mit $m_1 = 100 \text{ g}$:
 Weg vor dem Stoß: $s_1 = 1,00 \text{ m}$
 Zeit für diesen Weg: $t_1 = 1,00 \text{ s}$
 Weg nach dem Stoß: $s_1' = -0,30 \text{ m}$
 Zeit für diesen Weg: $t_1' = 0,875 \text{ s}$
 Körper 2 mit $m_2 = 200 \text{ g}$:
 Weg vor dem Stoß: $s_2 = 0,00 \text{ m}$
 Zeit für diesen Weg: $t_2 = 1,00 \text{ s}$
 Weg nach dem Stoß: $s_2' = 0,50 \text{ m}$
 Zeit für diesen Weg: $t_2' = 0,75 \text{ s}$

ges.: $p_{\text{vor}}; p_{\text{nach}}; E_{\text{kin, vor}}; E_{\text{kin, nach}}$
 Ansatz: $v = \frac{s}{t}$
 $p_{\text{vor}} = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2$
 $p_{\text{nach}} = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$
 $E_{\text{kin, vor}} = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2$
 $E_{\text{kin, nach}} = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2'^2$

Rechnung: $v_1 = \frac{1,00 \text{ m}}{1,00 \text{ s}} = 1,00 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad v_1' = \frac{-0,30 \text{ m}}{0,875 \text{ s}} = -0,34 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 $v_2 = \frac{0,00 \text{ m}}{1,00 \text{ s}} = 0,00 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad v_2' = \frac{0,50 \text{ m}}{0,75 \text{ s}} = 0,67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 $p_{\text{vor}} = 0,100 \text{ kg} \cdot 1,00 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,200 \text{ kg} \cdot 0,00 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,100 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$
 $p_{\text{nach}} = 0,100 \text{ kg} \cdot (-0,34 \frac{\text{m}}{\text{s}}) + 0,200 \text{ kg} \cdot 0,67 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,100 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$
 $E_{\text{kin, vor}} = \frac{1}{2} \cdot 0,100 \text{ kg} \cdot (1,00 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,200 \text{ kg} \cdot (0,00 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 0,0500 \text{ J}$
 $E_{\text{kin, nach}} = \frac{1}{2} \cdot 0,100 \text{ kg} \cdot (-0,34 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,200 \text{ kg} \cdot (0,67 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 0,051 \text{ J}$

Antwort: Näherungsweise bleiben Energie und Impuls erhalten. Die leichten Unterschiede ergeben sich aus Mess- und Ableseungenauigkeiten, Rundungen und kleinen Energieentwertungen.

13 a) geg.: $m_1 = 100 \text{ g}; m_2 = 150 \text{ g}; v_1 = 1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2' = 0,50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 ges.: v_1'
 Ansatz: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2' \quad | - (m_2 \cdot v_2')$
 $m_1 \cdot v_1' = m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2' \quad | : m_1$
 Rechnung: $v_1' = \frac{m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2'}{m_1} = \frac{100 \text{ g} \cdot 1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 150 \text{ g} \cdot 0,50 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{100 \text{ g}} = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

- b) geg.: $m_1 = 100 \text{ g}; m_2 = 150 \text{ g}; v_1 = 1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_1' = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2' = 0,50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- ges.: $E_{\text{kin, vor}}; E_{\text{kin, nach}}$
- Ansatz: $E_{\text{kin, vor}} = E_{\text{kin, 1}} + E_{\text{kin, 2}}$
 $E_{\text{kin, nach}} = E_{\text{kin, 1}}' + E_{\text{kin, 2}}'$
 $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
- Rechnung: $E_{\text{kin, vor}} = \frac{1}{2} \cdot 0,100 \text{ kg} \cdot \left(1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,150 \text{ kg} \cdot \left(0,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 0,050 \text{ J}$
 $E_{\text{kin, nach}} = \frac{1}{2} \cdot 0,100 \text{ kg} \cdot \left(0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,150 \text{ kg} \cdot \left(0,50 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 0,022 \text{ J}$
- Antwort: Nein, bei diesem Stoß bleibt die mechanische Energie nicht erhalten.
 Es handelt sich hierbei also nicht um einen elastischen Stoß.

Einstieg

- Ihr Vater kann die Lichterkette anschließen, da 230 V auf 23 Lampen verteilt 10 V pro Lampe ergeben.
- Ist eine Lampe defekt, so wird die Lichterkette nicht leuchten, da der Stromkreis nicht mehr geschlossen ist.

Aufgaben

- 1 a) geg.: $R_1 = 20 \Omega; R_2 = 40 \Omega; U_{\text{ges}} = 24 \text{ V}$
 ges.: $R_{\text{ges}}; I; U_1; U_2$
 Ansatz: $R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$

$$I = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}}$$

$$U = R \cdot I; U_{\text{ges}} = U_1 + U_2$$
 Rechnung: $R_{\text{ges}} = 20 \Omega + 40 \Omega = 60 \Omega$

$$I = \frac{24 \text{ V}}{60 \Omega} = 0,40 \text{ A}$$

$$U_1 = 20 \Omega \cdot 0,40 \text{ A} = 8,0 \text{ V}$$

$$U_2 = 40 \Omega \cdot 0,40 \text{ A} = 16 \text{ V} \text{ oder}$$

$$U_2 = U_{\text{ges}} - U_1 = 24 \text{ V} - 8,0 \text{ V} = 16 \text{ V}$$
 b) geg.: $U_1 = 8,0 \text{ V}; U_2 = 16 \text{ V}; I = 0,40 \text{ A}; U_{\text{ges}} = 24 \text{ V}$
 ges.: $P_1; P_2; P_{\text{ges}}$
 Ansatz: $P = U \cdot I$
 Rechnung: $P_1 = 8,0 \text{ V} \cdot 0,40 \text{ A} = 3,2 \text{ W}$

$$P_2 = 16 \text{ V} \cdot 0,40 \text{ A} = 6,4 \text{ W}$$

$$P_{\text{ges}} = 24 \text{ V} \cdot 0,40 \text{ A} = 9,6 \text{ W} \text{ oder } P_{\text{ges}} = P_1 + P_2 = 3,2 \text{ W} + 6,4 \text{ W} = 9,6 \text{ W}$$
 Antwort: Je größer der Spannungsabfall ist, umso größer ist die umgesetzte Leistung. Die Leistungen werden folglich wie die Spannungen addiert.
- 2 a) geg.: $U_{\text{ges}} = 230 \text{ V}; U_L = 5,0 \text{ V}$
 ges.: Anzahl der Lampen n
 Ansatz: $n = \frac{U_{\text{ges}}}{U_L}$
 Rechnung: $n = \frac{230 \text{ V}}{5,0 \text{ V}} = 46$
 b) geg.: $P_L = 0,24 \text{ W}; n = 46$
 ges.: $P_{\text{ges}}; I$
 Ansatz: $P_{\text{ges}} = n \cdot P_L; P_{\text{ges}} = U_{\text{ges}} \cdot I \quad | : U_{\text{ges}}$
 Rechnung: $P_{\text{ges}} = 46 \cdot 0,24 \text{ W} = 11 \text{ W}$

$$I = \frac{P_{\text{ges}}}{U_{\text{ges}}} = \frac{11 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 48 \text{ mA}$$
 c) geg.: $U_{\text{ges}} = 230 \text{ V}; U_L = 5,0 \text{ V}; I = 48 \text{ mA}$
 ges.: $R_{\text{ges}}; R_L$
 Ansatz: $R = \frac{U}{I}$
 Rechnung: $R_{\text{ges}} = \frac{230 \text{ V}}{48 \text{ mA}} = \frac{230 \text{ V}}{48 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 4,8 \text{ k}\Omega$

$$R_L = \frac{5,0 \text{ V}}{48 \text{ mA}} = \frac{5,0 \text{ V}}{48 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 0,10 \text{ k}\Omega$$

Einstieg

- Viele Geräte verbrauchen auch im Standby-Modus sehr viel Strom, beispielsweise durch brennende Standby-Lampen. Verwendet man jedoch eine Mehrfachsteckdose mit Schalter, so kann Energie gespart werden, indem man bei Nichtbetreiben der Geräte den Schalter auf „aus“ stellt. Dadurch wird der Stromkreis komplett unterbrochen und alle angeschlossenen Geräte verbrauchen keinen unnötigen Strom.
- Es kann bei einer Mehrfachsteckdose keine Reihenschaltung vorliegen. Wäre es eine Reihenschaltung, so müssten immer alle Steckplätze belegt sein, da sonst der Stromkreis unterbrochen wäre.

Aufgaben

1 geg.: $U_{\text{ges}} = 12,0 \text{ V}; R_1 = 50 \text{ } \Omega; R_2 = 70 \text{ } \Omega; R_3 = 120 \text{ } \Omega$

ges.: I_{ges}

Ansatz: $\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

$$R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I_{\text{ges}}} \quad | \cdot I_{\text{ges}} \quad | : R_{\text{ges}}$$

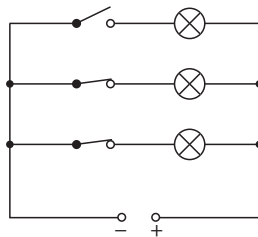
Rechnung: $\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{50 \text{ } \Omega} + \frac{1}{70 \text{ } \Omega} + \frac{1}{120 \text{ } \Omega}$

$$R_{\text{ges}} = 23 \text{ } \Omega$$

$$I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{12,0 \text{ V}}{23 \text{ } \Omega} = 0,52 \text{ A} = 5,2 \cdot 10^2 \text{ mA}$$

Antwort: Die Gesamtstromstärke ist mit ca. 520 mA größer als 500 mA.

- 2 a) Es ist eine Parallelschaltung sinnvoll, da so jede Lampe einzeln in Betrieb genommen werden kann.



b) geg.: $U_{\text{ges}} = 230 \text{ V}; P_{\text{H}} = 100 \text{ W}; P_{\text{W}} = 15 \text{ W}; P_{\text{D}} = 60 \text{ W}$

ges.: $I_{\text{H}}; I_{\text{W}}; I_{\text{D}}; I_{\text{ges}}$

$$R_{\text{H}}; R_{\text{W}}; R_{\text{D}}; R_{\text{ges}}$$

Ansatz: $P = U_{\text{ges}} \cdot I \quad | : U_{\text{ges}} \Rightarrow I = \frac{P}{U_{\text{ges}}}$

$$I_{\text{ges}} = I_{\text{H}} + I_{\text{W}} + I_{\text{D}}$$

$$R = \frac{U_{\text{ges}}}{I}; \frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_{\text{H}}} + \frac{1}{R_{\text{W}}} + \frac{1}{R_{\text{D}}}$$

Rechnung: $I_{\text{H}} = \frac{100 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,435 \text{ A} = 435 \text{ mA}$

$$I_{\text{W}} = \frac{15 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,065 \text{ A} = 65 \text{ mA}$$

$$I_{\text{D}} = \frac{60 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,26 \text{ A}$$

$$I_{\text{ges}} = 0,435 \text{ A} + 0,065 \text{ A} + 0,26 \text{ A} = 0,76 \text{ A}$$

$$R_{\text{H}} = \frac{230 \text{ V}}{0,435 \text{ A}} = 529 \text{ } \Omega$$

$$R_{\text{W}} = \frac{230 \text{ V}}{0,065 \text{ A}} = 3,5 \cdot 10^3 \text{ } \Omega = 3,5 \text{ k} \Omega$$

$$R_{\text{D}} = \frac{230 \text{ V}}{0,26 \text{ A}} = 0,88 \cdot 10^3 \text{ } \Omega = 0,88 \text{ k} \Omega$$

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{529 \text{ } \Omega} + \frac{1}{3,5 \cdot 10^3 \text{ } \Omega} + \frac{1}{0,88 \cdot 10^3 \text{ } \Omega}$$

$$R_{\text{ges}} = 0,30 \text{ k} \Omega$$

- c) geg.: $U_{\text{ges}} = 230 \text{ V}; I_{\text{ges}} = 0,76 \text{ A}; P_{\text{H}} = 100 \text{ W}; P_{\text{W}} = 15 \text{ W}; P_{\text{D}} = 60 \text{ W}$
ges.: P_{ges}
Ansatz: $P_{\text{ges}} = U_{\text{ges}} \cdot I_{\text{ges}}$
Rechnung: $P_{\text{ges}} = 230 \text{ V} \cdot 0,76 \text{ A} = 0,17 \cdot 10^3 \text{ W} = 0,17 \text{ kW}$
oder $P_{\text{ges}} = 100 \text{ W} + 15 \text{ W} + 60 \text{ W} = 175 \text{ W} = 0,175 \text{ kW}$
Antwort: Die umgesetzte Gesamtleistung 0,17 kW entspricht im Rahmen von Rundungen der Summe der Teilleistungen.

Einstieg

- Man kann den Gesamtwiderstand berechnen, indem man schrittweise „von innen nach außen“ arbeitet und die Schaltung in Teilschaltungen aufteilt, die nur aus Reihen- oder Parallelschaltungen bestehen.

Aufgaben

- Der Schaltplan wird so gegliedert, dass Widerstände zu Paaren in Reihen- oder Parallelschaltung gruppiert werden.
 - Für diese Widerstandspaare werden die jeweiligen Ersatzwiderstände berechnet.
 - Nun werden aus den erhaltenen Ersatzwiderständen wie in 2 neue Paare gebildet und für diese erneut der jeweilige Ersatzwiderstand bestimmt.
 - 3 wird so lange wiederholt, bis nur noch ein Ersatzwiderstand übrigbleibt. Dieser ist der Gesamtwiderstand der Schaltung.

2 geg.: $U_{\text{ges}} = 12,0 \text{ V}; R_1 = 51 \text{ } \Omega; R_2 = 100 \text{ } \Omega; R_3 = 110 \text{ } \Omega; R_4 = 36 \text{ } \Omega; R_5 = 27 \text{ } \Omega$

ges.: $U_1; U_2; U_3; U_4; U_5; I_1; I_2; I_3; I_4; I_5; R_{\text{ges}}; I_{\text{ges}}$

Gliederung: Berechne zuerst die Ersatzwiderstände für folgende Widerstandspaare:

$$R_1 \text{ und } R_2 \rightarrow R_{1/2} \quad (\text{Parallelschaltung})$$

$$R_4 \text{ und } R_5 \rightarrow R_{4/5} \quad (\text{Parallelschaltung})$$

Im Anschluss ergibt sich der Ersatzwiderstand:

$$R_{1/2} \text{ und } R_3 \rightarrow R_{1/2/3} \quad (\text{Reihenschaltung})$$

Abschließend ergibt sich daraus der Gesamtwiderstand:

$$R_{1/2/3} \text{ und } R_{4/5} \rightarrow R_{\text{ges}} \quad (\text{Parallelschaltung})$$

Ansatz:

$$\frac{1}{R_{1/2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_{4/5}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}$$

$$R_{1/2/3} = R_{1/2} + R_3$$

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_{1/2/3}} + \frac{1}{R_{4/5}}$$

$$R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I_{\text{ges}}} \quad | \cdot I_{\text{ges}} \quad | : R_{\text{ges}}$$

$$U_4 = U_5 = U_{1/2/3} = U_{\text{ges}}$$

$$R = \frac{U}{I} \quad | \cdot I \quad | : R$$

$$I_{1/2/3} = \frac{U_{1/2/3}}{R_{1/2/3}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{1/2/3}} = I_3 = I_{1/2}$$

$$R = \frac{U}{I} \quad | \cdot I$$

$$U_{1/2} = U_1 = U_2$$

Rechnung: $\frac{1}{R_{1/2}} = \frac{1}{51 \text{ } \Omega} + \frac{1}{100 \text{ } \Omega} \Rightarrow R_{1/2} = 34 \text{ } \Omega$

$$\frac{1}{R_{4/5}} = \frac{1}{36 \text{ } \Omega} + \frac{1}{27 \text{ } \Omega} \Rightarrow R_{4/5} = 15 \text{ } \Omega$$

$$R_{1/2/3} = 34 \text{ } \Omega + 110 \text{ } \Omega = 144 \text{ } \Omega$$

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{144 \text{ } \Omega} + \frac{1}{15 \text{ } \Omega} \Rightarrow R_{\text{ges}} = 14 \text{ } \Omega$$

$$I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{12,0 \text{ V}}{14 \text{ } \Omega} = 0,86 \text{ A}$$

$$U_4 = U_5 = U_{1/2/3} = U_{\text{ges}} = 12,0 \text{ V}$$

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4} = \frac{12,0 \text{ V}}{36 \text{ } \Omega} = 0,33 \text{ A}$$

$$I_5 = \frac{U_5}{R_5} = \frac{12,0 \text{ V}}{27 \text{ } \Omega} = 0,44 \text{ A}$$

$$I_3 = I_{1/2} = I_{1/2/3} = \frac{12,0 \text{ V}}{144 \text{ } \Omega} = 0,0833 \text{ A}$$

$$U_3 = R_3 \cdot I_3 = 110 \, \Omega \cdot 0,0833 \, \text{A} = 9,16 \, \text{V}$$

$$U_1 = U_2 = U_{1/2} = R_{1/2} \cdot I_{1/2} = 34 \, \Omega \cdot 0,0833 \, \text{A} = 2,8 \, \text{V}$$

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{2,8 \, \text{V}}{51 \, \Omega} = 0,055 \, \text{A}$$

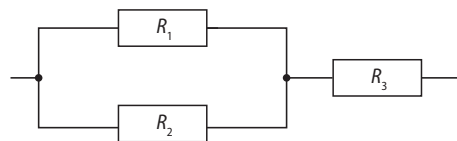
$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{2,8 \, \text{V}}{100 \, \Omega} = 0,028 \, \text{A}$$

3 Es sind individuelle Lösungen möglich.

4 geg.: $R_1 = 470 \, \Omega$; $R_2 = 220 \, \Omega$; $R_3 = 50 \, \Omega$; $R_{\text{ges}} = 200 \, \Omega$

Ansatz: R_1 und R_2 müssen parallel geschaltet sein, da der Gesamtwiderstand kleiner ist als der kleinste der Widerstände. Deshalb kann R_3 auch nur in Reihe geschaltet werden, da er kleiner als der Gesamtwiderstand ist.

Schaltbild:



$$\frac{1}{R_{1/2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_{\text{ges}} = R_{1/2} + R_3$$

Rechnung: $\frac{1}{R_{1/2}} = \frac{1}{470 \, \Omega} + \frac{1}{220 \, \Omega} \Rightarrow R_{1/2} = 150 \, \Omega$

$$R_{\text{ges}} = 150 \, \Omega + 50 \, \Omega = 200 \, \Omega$$

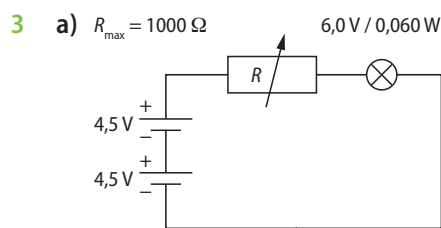
Einstieg

- Wahrscheinlich ist die Spannung der Batterien zu hoch für das Glühlämpchen.
- Die am Lämpchen abfallende Spannung kann durch einen Vorwiderstand reduziert werden.

Aufgaben

- Mit Vorwiderständen kann ein Teil der Gesamtspannung reduziert und auf die Betriebsspannung des Energiewandlers angepasst werden. Gleichzeitig wird durch den nun erhöhten Gesamtwiderstand der Schaltung die Stromstärke im Stromkreis reduziert.
 - Die Reihenfolge von Vorwiderstand und Energiewandler spielt keine Rolle, da die Stromstärke im Stromkreis bei einer Reihenschaltung überall gleich ist und die Spannung, die am Energiewandler abfällt, trotz Vertauschen gleichbleibt.
 - Durch den Vorwiderstand und die dadurch verminderte Stromstärke tritt ein Leistungsverlust auf, der den Wirkungsgrad der Schaltung reduziert.

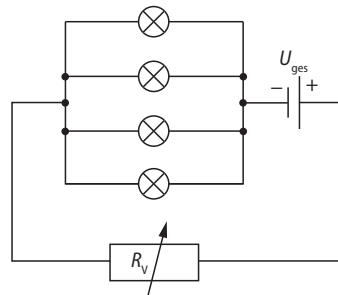
2 geg.: $U = 24 \text{ V}; U_L = 3,8 \text{ V}; I_L = 0,30 \text{ A}$
 ges.: $R_V; P_V$; Anteil p der Verlustleistung an der Gesamtleistung
 Ansatz: $U = U_V + U_L \quad | - U_L$
 $I_L = I_V$
 $R_V = \frac{U_V}{I_V}$
 $P = U \cdot I$
 $p = \frac{P_V}{P_{\text{ges}}}$
 Rechnung: $U_V = 24 \text{ V} - 3,8 \text{ V} = 20 \text{ V}$
 $R_V = \frac{20 \text{ V}}{0,30 \text{ A}} = 67 \Omega$
 $P_V = 20 \text{ V} \cdot 0,30 \text{ A} = 6,0 \text{ W}$
 $P_{\text{ges}} = 24 \text{ V} \cdot 0,30 \text{ A} = 7,2 \text{ W}$
 $p = \frac{6,0 \text{ W}}{7,2 \text{ W}} = 83 \%$



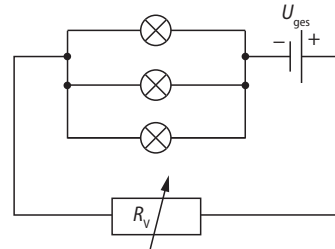
b) geg.: $U_B = 6,0 \text{ V}; P_B = 0,060 \text{ W}; U_{\text{ges}} = 2 \cdot 4,5 \text{ V}; R_{\text{max}} = 1000 \Omega$
 ges.: $U_R; I_{\text{ges}}; R$
 Ansatz: $U_R = U_{\text{ges}} - U_B$
 $P_B = U_B \cdot I_{\text{ges}} \quad | : U_B$
 $R = \frac{U_R}{I_{\text{ges}}}$
 Rechnung: $U_R = 2 \cdot 4,5 \text{ V} - 6,0 \text{ V} = 3,0 \text{ V}$
 $I_{\text{ges}} = \frac{P_B}{U_B} = \frac{0,060 \text{ W}}{6,0 \text{ V}} = 0,010 \text{ A}$
 $R = \frac{3,0 \text{ V}}{0,010 \text{ A}} = 0,30 \cdot 10^3 \Omega = 0,30 \text{ k}\Omega$

- 4 geg.: $R_L = 36 \Omega$; $U_{\text{ges}} = 12 \text{ V}$; $R_V = 9 \Omega$
 ges.: $R_{V, \text{neu}}$

Schaltung mit 4 Lämpchen:



Schaltung mit 3 Lämpchen:



Ansatz:

$$\frac{1}{R_{4L}} = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_L} = 4 \cdot \frac{1}{R_L} \quad | \cdot R_{4L} \quad | \cdot \frac{R_L}{4}$$

$$\frac{1}{R_{3L}} = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_L} = 3 \cdot \frac{1}{R_L} \quad | \cdot R_{3L} \quad | \cdot \frac{R_L}{3}$$

$$R_{\text{ges}} = R_V + R_{4L}$$

$$R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I_{\text{ges}}} \quad | \cdot I_{\text{ges}} \quad | : R_{\text{ges}}$$

$$I_L = \frac{1}{4} \cdot I_{\text{ges}}$$

$$I_{\text{ges, neu}} = 3 \cdot I_L$$

$$R_{\text{ges, neu}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I_{\text{ges, neu}}}$$

$$R_{\text{ges, neu}} = R_{V, \text{neu}} + R_{3L} \quad | - R_{3L}$$

Rechnung:

$$R_{4L} = \frac{R_L}{4} = \frac{36 \Omega}{4} = 9,0 \Omega$$

$$R_{3L} = \frac{R_L}{3} = \frac{36 \Omega}{3} = 12 \Omega$$

$$R_{\text{ges}} = 9,0 \Omega + 9,0 \Omega = 18 \Omega$$

$$I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{12 \text{ V}}{18 \Omega} = 0,67 \text{ A}$$

$$I_L = \frac{1}{4} \cdot 0,67 \text{ A} = 0,17 \text{ A}$$

$$I_{\text{ges, neu}} = 3 \cdot 0,17 \text{ A} = 0,51 \text{ A}$$

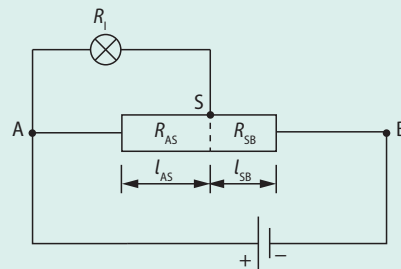
$$R_{\text{ges, neu}} = \frac{12 \text{ V}}{0,51 \text{ A}} = 24 \Omega$$

$$R_{V, \text{neu}} = R_{\text{ges, neu}} - R_{3L} = 24 \Omega - 12 \Omega = 12 \Omega$$

Alltag

- Ein Potentiometer besteht grundsätzlich aus einem Widerstand und einem auf dem Widerstand verschiebbaren Gleitkontakt, der als Schleifer bezeichnet wird. Der feste Widerstand hat an jedem seiner beiden Enden einen Anschluss. Der Schleifer hat ebenfalls einen Anschluss, weshalb ein Potentiometer also insgesamt drei Anschlüsse besitzt. Über den Schleifer kann ein veränderbarer Widerstand abgegriffen werden. Je nachdem, ob die Positionsänderung des Schleifers durch eine Drehbewegung (kreisförmig angeordneter Basiswiderstand) oder durch eine Schiebbewegung (gerade angelegter Basiswiderstand) erfolgt, spricht man von einem Dreh- oder Schiebepotentiometer.
- Spannungsteiler werden eingesetzt zur ...
 - Pegelanpassung an Geräten.
 - Lautstärkeregelung.
 - Spannungsmessung. Vielfachmessgeräte besitzen einen umschaltbaren Vorwiderstand.
 - Erstellung einer Brückenschaltung durch Kombination von Spannungsteilern. Brückenschaltungen werden beispielsweise für Brückengleichrichter verwendet, die Wechselstrom in Gleichstrom umwandeln.

Wird ein Teilzweig des Spannungsteilers mit einem Zusatzwiderstand R_1 (Verbraucher) verbunden, entsteht zwischen R_1 und z. B. R_{AS} eine Parallelschaltung. Die Teilspannungen sind nun von der Position des Abgriffpunktes S und dem Betrag von R_1 abhängig. Man spricht in diesem Fall von einem belasteten Spannungsteiler. Zwischen der abgegriffenen Drahtlänge l_{AS} und der abgegriffenen Spannung besteht nun kein linearer Zusammenhang, vor allem bei kleinen R_1 -Werten nicht.



Einstieg

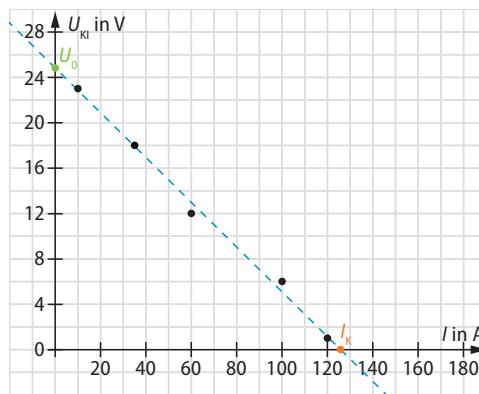
- Durch den Anlasser des Autos fließt zu Beginn eine sehr hohe Stromstärke. Ist der Innenwiderstand der Autobatterie mit der Zeit zu groß, führt dies zu einem hohen Spannungsabfall. Somit fungiert die Autobatterie während dem Anlassen als merklicher Vorwiderstand zu den Autoscheinwerfern. Diese werden dadurch beim Anlassen des Autos deutlich dunkler.

Aufgaben

- 1 Jede Elektrizitätsquelle besitzt einen eigenen Widerstand. Wird nun eine Elektrizitätsquelle belastet, fließt durch diese eine hohe Stromstärke. Wegen des Stromflusses durch den Innenwiderstand kommt es an diesem zu einem Spannungsabfall. Diese Teilspannung steht nun außerhalb der Energiequelle auch nicht mehr zur Verfügung, die Spannung an den Anschlussklemmen nimmt ab.
- 2 a) Die Elektrizitätsquelle wird durch geeignete Energiewandler (z. B. variabler Drahtwiderstand) unterschiedlich stark belastet. Hierbei wird der Strom durch den Widerstand und die am Widerstand abfallende Spannung gemessen. Trägt man nun diese Wertepaare in ein Diagramm ein, sieht man, dass sie auf einer Strecke liegen, die nach vorne und hinten verlängert (extrapoliert) werden kann. Man erhält dadurch Schnittpunkte mit der Strom- und Spannungsachse. Diese Werte sind der (theoretische) Kurzschlussstrom I_K und die Leerlaufspannung U_0 . Der Innenwiderstand R_i der Elektrizitätsquelle kann nun als Quotient aus U_0 und I_K berechnet werden: $R_i = \frac{U_0}{I_K}$.

b)

U in V	23	18	12	6	1
I in A	10	35	60	100	120



geg.: $I_K = 126 \text{ A}; U_0 = 25 \text{ V}$

ges.: R_i

Ansatz: $R_i = \frac{U_0}{I_K}$

Rechnung: $R_i = \frac{25 \text{ V}}{126 \text{ A}} = 0,20 \Omega$

- 3 Um in der Gleichung $I_K = \frac{U_0}{R_i}$ eine möglichst große Stromstärke I_K zu erhalten, müsste der Innenwiderstand R_i möglichst klein sein. Eine Elektrizitätsquelle kann jedoch nicht mit einem beliebig kleinen Innenwiderstand gebaut werden. Somit begrenzt der Innenwiderstand stets die Maximalstromstärke.

- 4 a) geg.: $U_0 = 10 \text{ V}; R_i = 0,60 \text{ } \Omega; R_{a,1} = 100 \text{ } \Omega; R_{a,2} = 0,50 \text{ } \Omega$
 ges.: $U_{Kl,1}; U_{Kl,2}$
 Ansatz: $R_{ges} = R_i + R_a$

$$R_{ges} = \frac{U_0}{I} \quad | \cdot I \quad | : R_{ges}$$

$$R_a = \frac{U_{kl}}{I} \quad | \cdot I$$
 Rechnung: $R_{ges,1} = 0,60 \text{ } \Omega + 100 \text{ } \Omega = 101 \text{ } \Omega$
 $R_{ges,2} = 0,60 \text{ } \Omega + 0,50 \text{ } \Omega = 1,10 \text{ } \Omega$
 $I_1 = \frac{U_0}{R_{ges,1}} = \frac{10 \text{ V}}{101 \text{ } \Omega} = 0,10 \text{ A}$
 $I_2 = \frac{U_0}{R_{ges,2}} = \frac{10 \text{ V}}{1,10 \text{ } \Omega} = 9,1 \text{ A}$
 $U_{Kl,1} = R_{a,1} \cdot I_1 = 100 \text{ } \Omega \cdot 0,10 \text{ A} = 10 \text{ V}$
 $U_{Kl,2} = R_{a,2} \cdot I_2 = 0,50 \text{ } \Omega \cdot 9,1 \text{ A} = 4,6 \text{ V}$
- b) geg.: $R_i = 0,60 \text{ } \Omega; U_0 = 10 \text{ V}$
 ges.: I_k
 Ansatz: $R_i = \frac{U_0}{I_k} \quad | \cdot I_k \quad | : R_i$
 Rechnung: $I_k = \frac{U_0}{R_i} = \frac{10 \text{ V}}{0,60 \text{ } \Omega} = 17 \text{ A}$
- 5 a) geg.: $U_0 = 1,6 \text{ V}; I_k = 1,0 \text{ A}$
 ges.: R_i
 Ansatz: $R_i = \frac{U_0}{I_k}$
 Rechnung: $R_i = \frac{1,6 \text{ V}}{1,0 \text{ A}} = 1,6 \text{ } \Omega$
- b) geg.: $U_0 = 1,6 \text{ V}; R_i = 1,6 \text{ } \Omega; R_L = 15 \text{ } \Omega$
 ges.: I
 Ansatz: $R_{ges} = R_i + R_L$

$$R_{ges} = \frac{U_0}{I} \quad | \cdot I \quad | : R_{ges}$$
 Rechnung: $R_{ges} = 1,6 \text{ } \Omega + 15 \text{ } \Omega = 17 \text{ } \Omega$
 $I = \frac{U_0}{R_{ges}} = \frac{1,6 \text{ V}}{17 \text{ } \Omega} = 0,094 \text{ A}$
- 6 a) geg.: $R_i = 2,5 \text{ } \Omega; U_0 = 30 \text{ V}$
 ges.: I_k
 Ansatz: $R_i = \frac{U_0}{I_k} \quad | \cdot I_k \quad | : R_i$
 Rechnung: $I_k = \frac{U_0}{R_i} = \frac{30 \text{ V}}{2,5 \text{ } \Omega} = 12 \text{ A}$
- b) geg.: $R_i = 2,5 \text{ } \Omega; U_0 = 30 \text{ V}; R_1 = 15 \text{ } \Omega$
 ges.: U_B
 Ansatz: $R_{ges} = R_i + R_1$

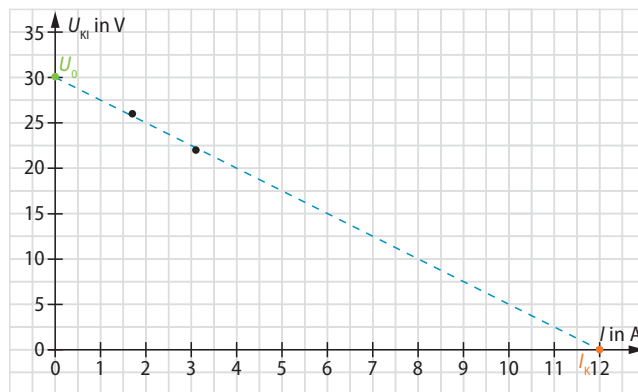
$$R_{ges} = \frac{U_0}{I} \quad | \cdot I \quad | : R_{ges}$$

$$R_1 = \frac{U_B}{I} \quad | \cdot I$$
 Rechnung: $R_{ges} = 2,5 \text{ } \Omega + 15 \text{ } \Omega = 18 \text{ } \Omega$
 $I = \frac{U_0}{R_{ges}} = \frac{30 \text{ V}}{18 \text{ } \Omega} = 1,7 \text{ A}$
 $U_B = R_1 \cdot I = 15 \text{ } \Omega \cdot 1,7 \text{ A} = 26 \text{ V}$

c) geg.: $R_1 = 2,5 \Omega; U_0 = 30 \text{ V}; R_2 = 12 \Omega; R_3 = 18 \Omega$
 ges.: U_B
 Ansatz: $R_{2/3} = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$
 $R_{\text{ges}} = R_1 + R_{2/3}$
 $R_{\text{ges}} = \frac{U_0}{I_{\text{ges}}} \quad | \cdot I_{\text{ges}} \quad | : R_{\text{ges}}$
 $R_{2/3} = \frac{U_B}{I_{\text{ges}}} \quad | \cdot I_{\text{ges}} \quad | : R_{2/3}$
 Rechnung: $\frac{1}{R_{2/3}} = \frac{1}{12 \Omega} + \frac{1}{18 \Omega} \Rightarrow R_{2/3} = 7,2 \Omega$
 $R_{\text{ges}} = 2,5 \Omega + 7,2 \Omega = 9,7 \Omega$
 $I_{\text{ges}} = \frac{U_0}{R_{\text{ges}}} = \frac{30 \text{ V}}{9,7 \Omega} = 3,1 \text{ A}$
 $U_B = R_{2/3} \cdot I_{\text{ges}} = 7,2 \Omega \cdot 3,1 \text{ A} = 22 \text{ V}$

d)

U in V	0	22	26	30
I in A	12	3,1	1,7	0



7 a) geg.: $R_L = 8,0 \Omega; U_0 = 4,5 \text{ V}; U_{\text{kl}} = 4,1 \text{ V}$
 ges.: $R_i; I$
 Ansatz: $R_L = \frac{U_{\text{kl}}}{I} \quad | \cdot I \quad | : R_L$
 $U_{\text{kl}} = U_0 - R_i \cdot I \quad | + R_i \cdot I - U_{\text{kl}} \quad | : I$
 Rechnung: $I = \frac{U_{\text{kl}}}{R_L} = \frac{4,1 \text{ V}}{8,0 \Omega} = 0,51 \text{ A}$
 $R_i = \frac{U_0 - U_{\text{kl}}}{I} = \frac{4,5 \text{ V} - 4,1 \text{ V}}{0,51 \text{ A}} = \frac{0,4 \text{ V}}{0,51 \text{ A}} = 0,8 \Omega$

b) geg.: $R_L = 8,0 \Omega; U_0 = 4,5 \text{ V}; U_{\text{kl}} = 3,0 \text{ V}$
 ges.: $R_i; I$
 Ansatz: $R_L = \frac{U_{\text{kl}}}{I} \quad | \cdot I \quad | : R_L$
 $U_{\text{kl}} = U_0 - R_i \cdot I \quad | + R_i \cdot I - U_{\text{kl}} \quad | : I$
 Rechnung: $I = \frac{U_{\text{kl}}}{R_L} = \frac{3,0 \text{ V}}{8,0 \Omega} = 0,38 \text{ A}$
 $R_i = \frac{U_0 - U_{\text{kl}}}{I} = \frac{4,5 \text{ V} - 3,0 \text{ V}}{0,38 \text{ A}} = \frac{1,5 \text{ V}}{0,38 \text{ A}} = 3,9 \Omega$

Antwort: Man sieht, dass die Stromstärke durch die lange Inbetriebnahme der Batterie um etwa 25 % gesunken ist. Außerdem hat sich der Innenwiderstand ca. um den Faktor 5 erhöht.

Einstieg

- Mit dem Drehschalter kann man die Empfindlichkeit bzw. den Messbereich des Messgeräts verändern.
- Im Gerät werden hier verschiedene Widerstände ausgewählt, bei Spannungsmessern als Vorwiderstand, bei Strommessern als Parallelwiderstand. Am Vorwiderstand fällt dadurch schon eine gewisse Spannung ab, wodurch ein höherer Spannungsmessbereich möglich ist. Beim Parallelwiderstand funktioniert dies analog. Ein gewisser Strom fließt bereits durch den Parallelwiderstand, wodurch je nach Widerstandsgröße die Stromstärke in größeren Messbereichen gemessen werden kann.

Aufgaben

- 1 a) Wird ein Widerstand parallel geschaltet, fließt ein Teil des Gesamtstroms durch den Nebenwiderstand, der Gesamtstrom wird also aufgeteilt. Damit kann eine höhere Gesamtstromstärke gemessen werden.

b) geg.: $R_M = 0,34 \Omega$; $I_M = 300 \text{ mA}$; $R_N = 0,060 \Omega$
 ges.: I_{neu}
 Ansatz: $U_N = U_M$ bzw. mit $U = R \cdot I$
 $R_N \cdot I_N = R_M \cdot I_M \quad | : R_N$
 $I_{\text{neu}} = I_N + I_M$
 Rechnung: $I_N = \frac{R_M \cdot I_M}{R_N} = \frac{0,34 \Omega \cdot 300 \text{ mA}}{0,060 \Omega} = \frac{0,34 \Omega \cdot 0,300 \text{ A}}{0,060 \Omega} = 1,7 \text{ A}$
 $I_{\text{neu}} = 1,7 \text{ A} + 0,300 \text{ A} = 2,0 \text{ A}$

- 2 geg.: $R_M = 0,50 \text{ k}\Omega$; $R_V = 49,5 \text{ k}\Omega$; $U_M = 1,0 \text{ V}$

ges.: U_{neu}
 Ansatz: $I_V = I_M$ bzw. mit $I = \frac{U}{R}$
 $\frac{U_V}{R_V} = \frac{U_M}{R_M} \quad | \cdot R_V$
 $U_{\text{neu}} = U_M + U_V$
 Rechnung: $U_V = \frac{U_M \cdot R_V}{R_M} = \frac{1,0 \text{ V} \cdot 49,5 \text{ k}\Omega}{0,50 \text{ k}\Omega} = 99 \text{ V}$
 $U_{\text{neu}} = 1,0 \text{ V} + 99 \text{ V} = 100 \text{ V}$

- 3 Berechnung der benötigten Nebenwiderstände der Strommessung:

geg.: $R_M = 60 \Omega$; $I_M = 1,0 \text{ mA} = 0,0010 \text{ A}$; I_{neu} (je nach Drehstellung)

ges.: R_N
 Ansatz: $I_{\text{neu}} = I_N + I_M \quad | - I_M$
 $I_N = I_{\text{neu}} - I_M$
 $U_N = U_M$ bzw. mit $U = R \cdot I$
 $R_N \cdot I_N = R_M \cdot I_M \quad | : I_N$
 $R_N = \frac{R_M \cdot I_M}{I_N}$

Rechnung: $I_{\text{neu},1} = 2000 \mu\text{A} = 2,000 \text{ mA}$
 $I_{N,1} = 2,000 \text{ mA} - 1,0 \text{ mA} = 1,0 \text{ mA}$
 $R_{N,1} = \frac{60 \Omega \cdot 1,0 \text{ mA}}{1,0 \text{ mA}} = 60 \Omega$

$I_{\text{neu},2} = 20 \text{ mA}$
 $I_{N,2} = 20 \text{ mA} - 1,0 \text{ mA} = 19 \text{ mA}$
 $R_{N,2} = \frac{60 \Omega \cdot 1,0 \text{ mA}}{19 \text{ mA}} = 3,2 \Omega$

$$I_{\text{neu},3} = 200 \text{ mA}$$

$$I_{\text{N},3} = 200 \text{ mA} - 1,0 \text{ mA} = 199 \text{ mA}$$

$$R_{\text{N},3} = \frac{60 \Omega \cdot 1,0 \text{ mA}}{199 \text{ mA}} = 0,30 \Omega$$

$$I_{\text{neu},4} = 10 \text{ A}$$

$$I_{\text{N},4} = 10 \text{ A} - 0,0010 \text{ A} = 10 \text{ A}$$

$$R_{\text{N},4} = \frac{60 \Omega \cdot 0,0010 \text{ A}}{10 \text{ A}} = 0,0060 \Omega$$

Berechnung der benötigten Vorwiderstände der Spannungsmessung:

geg.: $R_M = 60 \Omega$; $I_M = 1,0 \text{ mA} = 0,0010 \text{ A}$; U_{neu} (je nach Drehstellung)

ges.: R_V

Ansatz: $U_M = R_M \cdot I_M$

$$U_{\text{neu}} = U_M + U_V \quad | - U_M$$

$$U_V = U_{\text{neu}} - U_M$$

$$I_V = I_M$$

$$R_V = \frac{U_V}{I_V}$$

Rechnung: $U_M = 60 \Omega \cdot 1,0 \text{ mA} = 60 \text{ mV} = 0,060 \text{ V}$

$$U_{\text{neu},1} = 200 \text{ mV} = 0,200 \text{ V}$$

$$U_{V,1} = 0,200 \text{ V} - 0,060 \text{ V} = 0,140 \text{ V}$$

$$R_{V,1} = \frac{0,140 \text{ V}}{0,0010 \text{ A}} = 0,14 \text{ k}\Omega$$

$$U_{\text{neu},2} = 2000 \text{ mV} = 2,000 \text{ V}$$

$$U_{V,2} = 2,000 \text{ V} - 0,060 \text{ V} = 1,940 \text{ V}$$

$$R_{V,2} = \frac{1,940 \text{ V}}{0,0010 \text{ A}} = 1,9 \Omega$$

$$U_{\text{neu},3} = 20 \text{ V}$$

$$U_{V,3} = 20 \text{ V} - 0,060 \text{ V} = 20 \text{ V}$$

$$R_{V,3} = \frac{20 \text{ V}}{0,0010 \text{ A}} = 20 \text{ k}\Omega$$

$$U_{\text{neu},4} = 200 \text{ V}$$

$$U_{V,4} = 200 \text{ V} - 0,060 \text{ V} = 200 \text{ V}$$

$$R_{V,4} = \frac{200 \text{ V}}{0,0010 \text{ A}} = 0,2 \text{ M}\Omega$$

$$U_{\text{neu},5} = 1000 \text{ V}$$

$$U_{V,5} = 1000 \text{ V} - 0,060 \text{ V} = 1000 \text{ V}$$

$$R_{V,5} = \frac{1000 \text{ V}}{0,0010 \text{ A}} = 1,0 \text{ M}\Omega$$

4 a) geg.: $I_M = 1,00 \text{ mA}; U_M = 100 \text{ mV}$

ges.: R_M
 Ansatz: $R_M = \frac{U_M}{I_M}$

Rechnung: $R_M = \frac{100 \text{ mV}}{1,00 \text{ mA}} = 100 \Omega$

b) Berechnung der benötigten Nebenwiderstände der Strommessung:

geg.: $I_M = 1,00 \text{ mA}; U_M = 100 \text{ mV}; R_M = 100 \Omega$

$I_{\text{neu}} = 0,030 \text{ A}; 0,30 \text{ A}; 1,5 \text{ A} \text{ und } 6,0 \text{ A}$

ges.: R_N

Ansatz: $I_{\text{neu}} = I_N + I_M \quad | - I_M$

$I_N = I_{\text{neu}} - I_M$

$U_N = U_M$ bzw. mit $U = R \cdot I$

$R_N \cdot I_N = R_M \cdot I_M \quad | : I_N$

$R_N = \frac{R_M \cdot I_M}{I_N}$

Rechnung: $I_{\text{neu},1} = 0,030 \text{ A}$

$I_{N,1} = 0,030 \text{ A} - 1,00 \text{ mA} = 0,029 \text{ A}$

$R_{N,1} = \frac{100 \Omega \cdot 1,00 \text{ mA}}{0,029 \text{ A}} = 3,4 \Omega$

$I_{\text{neu},2} = 0,30 \text{ A}$

$I_{N,2} = 0,30 \text{ A} - 1,00 \text{ mA} = 0,30 \text{ A}$

$R_{N,2} = \frac{100 \Omega \cdot 1,00 \text{ mA}}{0,30 \text{ A}} = 0,33 \Omega$

$I_{\text{neu},3} = 1,5 \text{ A}$

$I_{N,3} = 1,5 \text{ A} - 1,00 \text{ mA} = 1,5 \text{ A}$

$R_{N,3} = \frac{100 \Omega \cdot 1,00 \text{ mA}}{1,5 \text{ A}} = 0,067 \Omega$

$I_{\text{neu},4} = 6,0 \text{ A}$

$I_{N,4} = 6,0 \text{ A} - 1,00 \text{ mA} = 6,0 \text{ A}$

$R_{N,4} = \frac{100 \Omega \cdot 1,00 \text{ mA}}{6,0 \text{ A}} = 0,017 \Omega$

Berechnung der benötigten Vorwiderstände der Spannungsmessung:

geg.: $I_M = 1,00 \text{ mA}; U_M = 100 \text{ mV}; R_M = 100 \Omega$

$U_{\text{neu}} = 3,0 \text{ V}; 6,0 \text{ V}; 30 \text{ V} \text{ und } 300 \text{ V}$

ges.: R_V

Ansatz: $U_{\text{neu}} = U_M + U_V \quad | - U_M$

$U_V = U_{\text{neu}} - U_M$

$I_V = I_M$

$R_V = \frac{U_V}{I_V} = \frac{U_V}{I_M}$

Rechnung: $U_{\text{neu},1} = 3,0 \text{ V}$

$U_{V,1} = 3,0 \text{ V} - 100 \text{ mV} = 2,9 \text{ V}$

$R_{V,1} = \frac{2,9 \text{ V}}{0,00100 \text{ A}} = 2,9 \text{ k}\Omega$

$U_{\text{neu},2} = 6,0 \text{ V}$

$U_{V,2} = 6,0 \text{ V} - 100 \text{ mV} = 5,9 \text{ V}$

$R_{V,2} = \frac{5,9 \text{ V}}{0,00100 \text{ A}} = 5,9 \text{ k}\Omega$

$$U_{\text{neu},3} = 30 \text{ V}$$

$$U_{V,3} = 30 \text{ V} - 100 \text{ mV} = 30 \text{ V}$$

$$R_{V,3} = \frac{30 \text{ V}}{0,00100 \text{ A}} = 30 \text{ k}\Omega$$

$$U_{\text{neu},4} = 300 \text{ V}$$

$$U_{V,4} = 300 \text{ V} - 100 \text{ mV} = 300 \text{ V}$$

$$R_{V,4} = \frac{300 \text{ V}}{0,00100 \text{ A}} = 300 \text{ k}\Omega$$

Vertiefung**Stromstärkemessgerät**

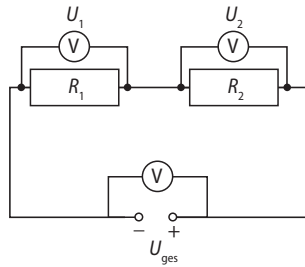
- Bei der Messbereichserweiterung der Stromstärkemessung handelt es sich um eine Parallelschaltung des Widerstands der Messbereichserweiterung (Nebenwiderstand/Shunt) zum Innenwiderstand des Messgeräts. Bei einer Parallelschaltung von Widerständen ist die Spannung immer gleich.
- geg.: $R_M = 100 \Omega$; $n = 5,0 \cdot 10^2$
 ges.: R_N
 Ansatz: $R_N = \frac{R_M}{(n-1)}$
 Rechnung: $R_N = \frac{100 \Omega}{(5,0 \cdot 10^2 - 1)} = 0,20 \Omega$

Spannungsmessgerät

- Bei der Messbereichserweiterung der Spannungsmessung handelt es sich um eine Reihenschaltung des Widerstands zur Messbereichserweiterung (Vorwiderstand) mit dem Innenwiderstand des Messgeräts. Bei einer Reihenschaltung von Widerständen ist die Stromstärke überall gleich.
- geg.: $R_M = 100 \Omega$; $n = 1,0 \cdot 10^2$
 ges.: R_V
 Ansatz: $R_V = (n-1) \cdot R_M$
 Rechnung: $R_V = (1,0 \cdot 10^2 - 1) \cdot 100 \Omega = 9,9 \text{ k}\Omega$

Aufgaben zur Einzelarbeit

1 a)

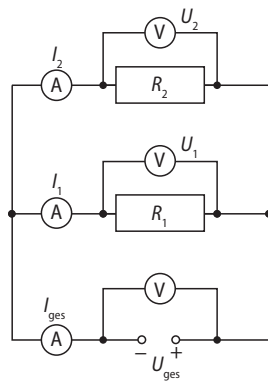
b) geg.: $R_1 = 80 \Omega; R_2 = 120 \Omega; U_{\text{ges}} = 12 \text{ V}$ ges.: $R_{\text{ges}}; I; U_1; U_2$ Ansatz: $R_{\text{ges}} = R_1 + R_2; I = \frac{U}{R}; U = R \cdot I$ Rechnung: $R_{\text{ges}} = 80 \Omega + 120 \Omega = 200 \Omega$

$$I = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{12 \text{ V}}{200 \Omega} = 0,060 \text{ A} = 60 \text{ mA} = I_1 = I_2$$

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 80 \Omega \cdot 0,060 \text{ A} = 4,8 \text{ V}$$

$$U_2 = R_2 \cdot I_2 = 120 \Omega \cdot 0,060 \text{ A} = 7,2 \text{ V}$$

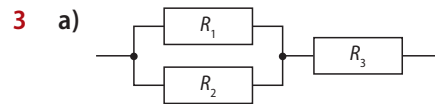
2 a)

b) geg.: $R_1 = 90 \Omega; R_2 = 60 \Omega; U_{\text{ges}} = 24 \text{ V}$ ges.: $R_{\text{ges}}; I_{\text{ges}}; I_1; I_2$ Ansatz: $\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}; I = \frac{U}{R}; U_{\text{ges}} = U_1 = U_2$ Rechnung: $\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{90 \Omega} + \frac{1}{60 \Omega} \Rightarrow R = 36 \Omega$

$$I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{24 \text{ V}}{36 \Omega} = 0,67 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{24 \text{ V}}{90 \Omega} = 0,27 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{24 \text{ V}}{60 \Omega} = 0,40 \text{ A}$$



Lösungsmöglichkeit:

geg.: $I_1 = 1,5 \text{ A}; U_2 = 10 \text{ V}; I_3 = 4,5 \text{ A}; U_{\text{ges}} = 30 \text{ V}$

ges.: $U_1; U_3; I_2; I_{\text{ges}}; R_1; R_2; R_3; R_{\text{ges}}$

Ansatz: $U_1 = U_2; U_{\text{ges}} = U_1 + U_3 \quad | - U_1$

$I_3 = I_1 + I_2 \quad | - I_1$

$I_{\text{ges}} = I_3$

$R_1 = \frac{U_1}{I_1}; R_2 = \frac{U_2}{I_2}; R_3 = \frac{U_3}{I_3}$

$\frac{1}{R_{1/2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}; R_{\text{ges}} = R_{1/2} + R_3$

Rechnung: $U_1 = U_2 = 10 \text{ V}$

$U_3 = U_{\text{ges}} - U_1 = 30 \text{ V} - 10 \text{ V} = 20 \text{ V}$

$I_2 = I_3 - I_1 = 4,5 \text{ A} - 1,5 \text{ A} = 3,0 \text{ A}$

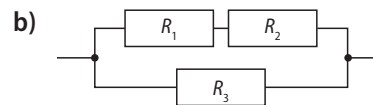
$I_{\text{ges}} = 4,5 \text{ A}$

$R_1 = \frac{10 \text{ V}}{1,5 \text{ A}} = 6,7 \text{ } \Omega; R_2 = \frac{10 \text{ V}}{3,0 \text{ A}} = 3,3 \text{ } \Omega$

$R_3 = \frac{20 \text{ V}}{4,5 \text{ A}} = 4,4 \text{ } \Omega$

$\frac{1}{R_{1/2}} = \frac{1}{6,7 \text{ } \Omega} + \frac{1}{3,3 \text{ } \Omega} \Rightarrow R_{1/2} = 2,2 \text{ } \Omega$

$R_{\text{ges}} = 2,2 \text{ } \Omega + 4,4 \text{ } \Omega = 6,6 \text{ } \Omega$



Lösungsmöglichkeit:

geg.: $U_1 = 60 \text{ V}; U_2 = 20 \text{ V}; I_2 = 5,0 \text{ A}; R_3 = 40 \text{ } \Omega$

ges.: $U_3; U_{\text{ges}}; I_1; I_3; I_{\text{ges}}; R_1; R_2; R_{\text{ges}}$

Ansatz: $U_3 = U_1 + U_2; U_{\text{ges}} = U_3$

$I_1 = I_2$

$R_3 = \frac{U_3}{I_3} \quad | \cdot I_3 \quad | : R_3$

$I_{\text{ges}} = I_1 + I_3$

$R_1 = \frac{U_1}{I_1}; R_2 = \frac{U_2}{I_2}$

$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_{1/2}} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3}$

Rechnung: $U_3 = 60 \text{ V} + 20 \text{ V} = 80 \text{ V}; U_{\text{ges}} = 80 \text{ V}$

$I_1 = 5,0 \text{ A}$

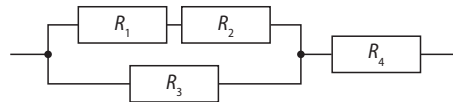
$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{80 \text{ V}}{40 \text{ } \Omega} = 2,0 \text{ A}$

$I_{\text{ges}} = 5,0 \text{ A} + 2,0 \text{ A} = 7,0 \text{ A}$

$R_1 = \frac{60 \text{ V}}{5,0 \text{ A}} = 12 \text{ } \Omega; R_2 = \frac{20 \text{ V}}{5,0 \text{ A}} = 4,0 \text{ } \Omega$

$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{12 \text{ } \Omega + 4,0 \text{ } \Omega} + \frac{1}{40 \text{ } \Omega} \Rightarrow R_{\text{ges}} = 11 \text{ } \Omega$

4



geg.: $R_1 = 100 \Omega; R_2 = 50 \Omega; R_3 = 75 \Omega; R_4 = 20 \Omega$

ges.: R_{ges}

Ansatz: $R_{1/2} = R_1 + R_2; \frac{1}{R_{1/2/3}} = \frac{1}{R_{1/2}} + \frac{1}{R_3}$

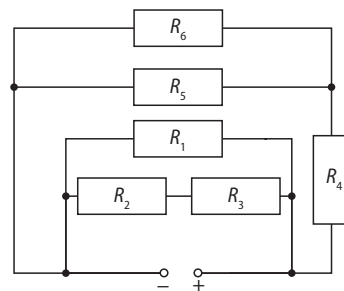
$$R_{\text{ges}} = R_{1/2/3} + R_4$$

Rechnung: $R_{1/2} = 100 \Omega + 50 \Omega = 150 \Omega$

$$\frac{1}{R_{1/2/3}} = \frac{1}{150 \Omega} + \frac{1}{75 \Omega} = \frac{1}{50 \Omega} \Rightarrow R_{1/2/3} = 50 \Omega$$

$$R_{\text{ges}} = 50 \Omega + 20 \Omega = 70 \Omega$$

5



geg.: $R_1 = 2,0 \text{ k}\Omega; R_2 = 50 \Omega; R_3 = 75 \Omega; R_4 = 420 \Omega; R_5 = 700 \Omega; R_6 = 1,0 \text{ k}\Omega$

ges.: R_{ges}

Ansatz: $R_{2/3} = R_2 + R_3; \frac{1}{R_{1/2/3}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{2/3}}$

$$\frac{1}{R_{5/6}} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}; R_{4/5/6} = R_{5/6} + R_4$$

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_{1/2/3}} + \frac{1}{R_{4/5/6}}$$

Rechnung: $R_{2/3} = 50 \Omega + 75 \Omega = 125 \Omega$

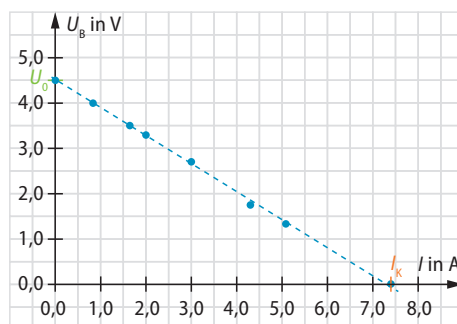
$$\frac{1}{R_{1/2/3}} = \frac{1}{2,0 \text{ k}\Omega} + \frac{1}{125 \Omega} \Rightarrow R_{1/2/3} = 0,12 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{1}{R_{5/6}} = \frac{1}{700 \Omega} + \frac{1}{1,0 \text{ k}\Omega} \Rightarrow R_{5/6} = 0,41 \text{ k}\Omega$$

$$R_{4/5/6} = 0,41 \text{ k}\Omega + 420 \Omega = 0,82 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{0,12 \text{ k}\Omega} + \frac{1}{0,82 \text{ k}\Omega} \Rightarrow R_{\text{ges}} = 0,10 \text{ k}\Omega$$

6 a)



b) Die Ruhespannung U_0 beträgt ca. 4,5 V und die Kurzschlussstromstärke I_K beträgt ca. 7,4 A.

c) geg.: $U_0 = 4,5 \text{ V}; I_K = 7,4 \text{ A}$
 ges.: R_i
 Ansatz: $R_i = \frac{U_0}{I_K}$
 Rechnung: $R_i = \frac{4,5 \text{ V}}{7,4 \text{ A}} = 0,61 \Omega$

7 Baut man einen Vorwiderstand in den Stromkreis, erhöht sich der Gesamtwiderstand R_{ges} , da er in der Reihenschaltung die Summe aus Vorwiderstand R_V und Widerstand der Diode R_{Diode} ist: $R_{\text{ges}} = R_V + R_{\text{Diode}}$. Mit der konstanten Spannung U_{ges} von der Elektrizitätsquelle folgt für die Gesamtstromstärke:

$$I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_V + R_{\text{Diode}}}$$

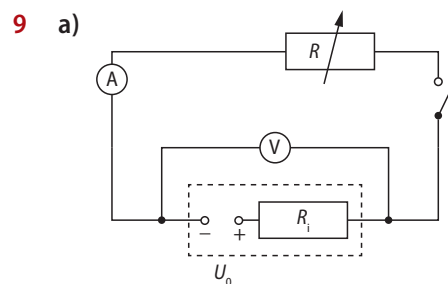
In der Reihenschaltung gilt dann $I_{\text{ges}} = I_V = I_{\text{Diode}}$ und diese Stromstärke soll 20 mA nicht überschreiten. Für diesen Fall kann der Gesamtwiderstand berechnet werden.

geg.: $I_{\text{ges}} = 20 \text{ mA}; U_{\text{ges}} = 5,0 \text{ V}$
 ges.: R_{ges}
 Ansatz: $R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I_{\text{ges}}}$
 Rechnung: $R_{\text{ges}} = \frac{5,0 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = \frac{5,0 \text{ V}}{0,020 \text{ A}} = 0,25 \text{ k}\Omega$

Antwort: Wird ein Vorwiderstand von 0,25 kΩ davor geschaltet, so ist der Gesamtwiderstand, also die Summe aus Vorwiderstand und Widerstand der Diode, auf jeden Fall groß genug, um eine Stromstärke kleiner als 20 mA zu erhalten.

8 geg.: $I_{\text{neu}} = 10 \cdot I_M$ (bzw. 100 I_M ; 1000 I_M)
 ges.: $\frac{R_N}{R_M}$
 Ansatz: $U_N = U_M; U = R \cdot I$
 $R_N \cdot I_N = R_M \cdot I_M \Rightarrow \frac{R_N}{R_M} = \frac{I_M}{I_N}; I_N = I_{\text{neu}} - I_M$

Rechnung: 10-fache Vergrößerung:
 $I_N = 10 \cdot I_M - I_M = 9 I_M$
 $\frac{R_N}{R_M} = \frac{I_M}{9 I_M} = \frac{1}{9}$
 100-fache Vergrößerung:
 $I_N = 100 \cdot I_M - I_M = 99 I_M$
 $\frac{R_N}{R_M} = \frac{I_M}{99 I_M} = \frac{1}{99}$
 1000-fache Vergrößerung:
 $I_N = 1000 \cdot I_M - I_M = 999 I_M$
 $\frac{R_N}{R_M} = \frac{I_M}{999 I_M} = \frac{1}{999}$



b) geg.: $U_0 = 4,50 \text{ V}; R_a = 10,0 \text{ } \Omega; U_B = 4,00 \text{ V}$
 ges.: $R_i; I_K$
 Ansatz: $R_a = \frac{U_B}{I} \Rightarrow I = \frac{U_B}{R_a}$
 $U_B = U_0 - R_i \cdot I \quad | + R_i \cdot I - U_B \quad | : I$
 $R_i = \frac{U_0 - U_B}{I} = \frac{U_0 - U_B}{\frac{U_B}{R_a}}; I_K = \frac{U_0}{R_i}$
 Rechnung: $R_i = \frac{4,50 \text{ V} - 4,00 \text{ V}}{\frac{4,00 \text{ V}}{10,0 \text{ } \Omega}} = 1,25 \text{ } \Omega$
 $I_K = \frac{4,50 \text{ V}}{1,25 \text{ } \Omega} = 3,60 \text{ A}$

c) geg.: $I = 2,0 \text{ A}; U_0 = 4,50 \text{ V}; R_i = 1,25 \text{ } \Omega$
 ges.: R_a
 Ansatz: $R = \frac{U}{I} \Rightarrow U = R \cdot I;$
 $U_B = R_a \cdot I = U_0 - R_i \cdot I \quad | : I$
 Rechnung: $R_a = \frac{U_0}{I} - R_i = \frac{4,50 \text{ V}}{2,0 \text{ A}} - 1,25 \text{ } \Omega = 1,0 \text{ } \Omega$

Aufgaben für Lernpartner

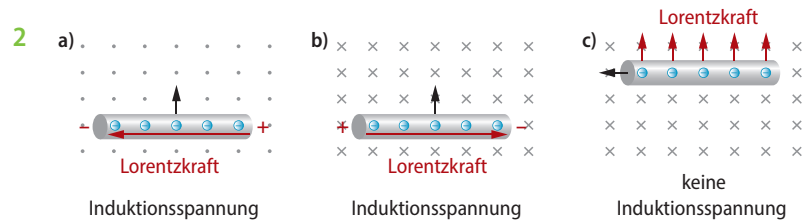
- A** Das ist richtig. Der Gesamtwiderstand ist die Summe der Einzelwiderstände.
- B** Das ist falsch. Hat man beispielsweise $R_1 = 20 \text{ } \Omega$ und $R_2 = 30 \text{ } \Omega$ parallel geschaltet, so erhält man einen Gesamtwiderstand von $\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{12 \text{ } \Omega}$, also $R_{\text{ges}} = 12 \text{ } \Omega$, was kleiner ist als beide Einzelwiderstände. Somit liegt der Wert hier nicht dazwischen.
- C** Das ist falsch. Bei Kurzschluss ist die Klemmspannung am kleinsten bzw. hat den Wert Null.
- D** Das ist richtig. Der Strom fließt so hauptsächlich durch den Nebenwiderstand, wobei am Messwiderstand selbst deutlich weniger Strom durchfließt und somit ein größerer Bereich gemessen werden kann.
- E** Das ist falsch. Bei der Messbereichserweiterung eines Spannungsmessgeräts wird ein Vorwiderstand in Reihe geschaltet. Die Stromstärke ist also überall gleich. Außerdem nimmt der Gesamtwiderstand der Schaltung zu, wobei bei gleicher Spannung nach $R = \frac{U}{I}$, also $I = \frac{U}{R}$, weniger Strom fließt.
- F** Das ist richtig. Ein Messgerät hat einen Innenwiderstand, an dem Spannung abfällt. Der Betrag dieser Spannung ist jedoch bei guten Messgeräten meist vernachlässigbar.

Einstieg

- Man bringt die Taschenlampe durch Schütteln zum Leuchten.

Aufgaben

- 1 Bewegt sich ein elektrischer Leiter nicht parallel zu den Feldlinien eines Magneten, so wird in diesem Leiter eine Spannung induziert. Der Betrag der Induktionsspannung wird dabei durch die Bewegungsgeschwindigkeit sowie die Magnetfeldstärke bestimmt. Außerdem ist sie maximal, wenn sich der Leiter genau senkrecht zu den Magnetfeldlinien bewegt. Die Polung der Spannung ist abhängig von der gegenseitigen Lage der Bewegungs- und der Magnetfeldrichtung. Durch Induktion kann also Bewegungsenergie in elektrische Energie umgewandelt werden.



Einstieg

- Ja, das ist möglich. Eine Spannung wird induziert, wenn sich Leiter und Magnetfeld auf eine bestimmte Weise relativ zueinander bewegen.

Aufgaben

- 1 In einer Schütteltaschenlampe befindet sich eine feste Spule und ein beweglicher Permanentmagnet. Durch das Schütteln bewegt sich der Magnet ständig durch die Spule hindurch. Dadurch wirkt auf die Spule ein sich ständig zeitlich änderndes Magnetfeld, wodurch an den Spulenenden eine Spannung induziert wird. Diese Spannung bzw. dieser Strom bringt die Lampe zum Leuchten.
- 2 Die Höhe der induzierten Spannung ist abhängig von der Magnetfeldstärke, der Bewegungsgeschwindigkeit und der Anzahl der Windungen der Spule. Die Polung der Induktionsspannung ist abhängig von der Bewegungsrichtung der Spule relativ zum Magneten.
- 3
 - a) Die ersten 4 s bewegt sich der Magnet auf die Spule zu, seine maximale Geschwindigkeit erreicht er zum Zeitpunkt $t = 2$ s. Danach verharrt er für 1 s in Ruhe, bevor er sich zwischen $t = 5$ s und $t = 7$ s von der Spule entfernt (da die Spannung umgekehrt gepolt ist). Hier erreicht er seine Maximalgeschwindigkeit bei $t = 6$ s. Von $t = 8$ s bis $t = 9$ s bewegt sich der Magnet wieder auf die Spule zu mit Maximalgeschwindigkeit bei $t = 8,5$ s. Die induzierte Spannung in diesem letzten Abschnitt ist am größten, woraus man ableiten kann, dass auch die Bewegungsgeschwindigkeit des Magneten am größten war.
 - b) Die induzierte Spannung wäre doppelt so groß. Die Betragswerte der Spannung zu einem bestimmten Zeitpunkt im Graphen würden sich also verdoppeln.

Einstieg

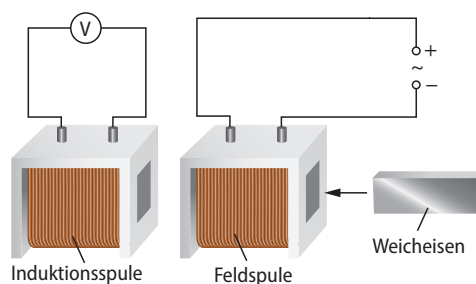
- Durch Änderung des Magnetfeldes, welches auf den Leiter oder die Spule wirkt.
- Je schneller oder größer die Magnetfeldänderung ist, desto größer ist die Induktionsspannung. Bei einer Spule ist auch die Windungszahl entscheidend, je höher die Windungszahl, desto größer die Spannung.

Aufgaben

1 Lösungsmöglichkeit:

- Durch An- oder Abschalten des Stroms in der Feldspule
- Durch Änderung der Stromstärke in der Feldspule
- Durch Anschließen einer Wechselspannung an die Feldspule
- Durch Einführen oder Herausnehmen eines Weicheisenkerns in die Feldspule
- Durch Bewegung der Feldspule relativ zur Induktionsspule bei konstantem Stromfluss

2 a) Lösungsbeispiel:



Durch Anlegen einer Wechselspannung an der Feldspule entsteht in dieser ein sich ständig zeitlich änderndes Magnetfeld, welches auf die Induktionsspule wirkt. Dadurch wird in der Induktionsspule eine Spannung induziert, die am Spannungsmessgerät abgelesen werden kann.

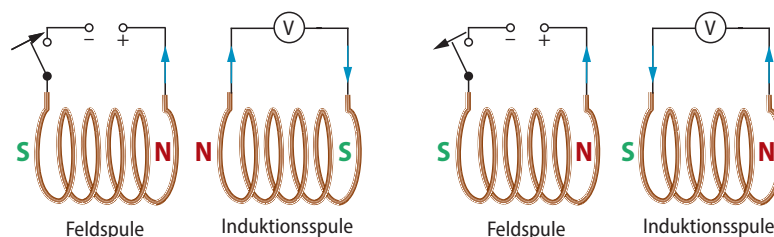
- b) Der Versuchsaufbau kann verändert werden durch Verwendung einer Spule mit mehr Windungen, Einlegen eines Weicheisenkerns in die Feldspule oder Einstellen einer Wechselspannung mit höherer Frequenz, sodass sich das Magnetfeld schneller ändert. Dies sind Möglichkeiten, um eine größere Induktionsspannung zu erhalten.
- 3 a) $t_1 - t_2$: In der Induktionsspule wird eine (konstante) Spannung induziert, da sich die Stromstärke der Feldspule und damit das Magnetfeld ändert.
 $t_2 - t_3$: Es wird keine Induktionsspannung induziert ($U_{\text{ind}} = 0$), da der Strom konstant ist und somit auch das Magnetfeld.
 $t_3 - t_4$: In der Induktionsspule wird eine viermal so hohe Spannung mit umgekehrter Polung induziert wie im ersten Abschnitt, da sich die Stromstärke um den gleichen Betrag ändert wie im ersten Abschnitt, aber in einem Viertel der Zeit.
- b) Bei Verdopplung des Zeitintervalls ist die Induktionsspannung halb so groß, bei Verdreifachung nur noch ein Drittel der ursprünglichen Induktionsspannung, da die Änderung des Magnetfeldes langsamer stattfindet.

Einstieg

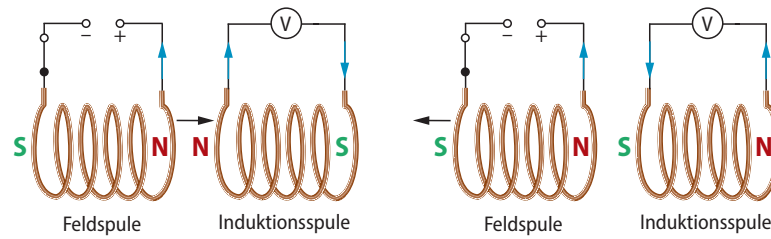
- Durch das Schließen des Stromkreises findet in der Spule eine plötzliche zeitliche Änderung des Magnetfeldes statt (ein Magnetfeld wird aufgebaut). Diese Änderung wirkt auch auf den Aluminiumring, wodurch in diesem ein Strom induziert wird, welcher wiederum ein Magnetfeld erzeugt, das dem ursächlichen Magnetfeld (der Ursache des Stroms) entgegenwirkt: Der Aluminiumring wird nach oben geschleudert.

Aufgaben

- 1 Würde die Regel von Lenz nicht gelten, so würde dies dem Energieerhaltungssatz widersprechen, da in diesem Fall Energie „erzeugt“ werden würde. Der Aufbau eines Magnetfeldes ist automatisch mit einer Energieänderung verbunden. Diese Energie kann nicht aus dem Nichts kommen, weshalb sie dem entstandenen Strom „entnommen“ wird. Das resultiert darin, dass das Magnetfeld genau dem Strom, also seiner Ursache entgegenwirkt, um diese Energieänderung auszugleichen, sodass der Energieerhaltungssatz gilt.
- 2 Beim Schließen und Öffnen des Stromkreises der Feldspule wird jeweils ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld erzeugt, welches auf den Aluminiumring wirkt und somit in diesem einen Induktionsstrom hervorruft, welcher wiederum ein Magnetfeld erzeugt, das gemäß der Regel von Lenz der Ursache der Induktion entgegenwirkt.
Beim Schließen des Stromkreises baut sich das Magnetfeld der Feldspule auf. Das entstehende Magnetfeld des Rings wirkt dem entgegen durch eine entgegengesetzte Magnetfeldrichtung, und der Ring stößt sich ab.
Beim Öffnen des Stromkreises baut sich das Magnetfeld der Feldspule ab. Das entstehende Magnetfeld des Rings wirkt dem entgegen und will das Magnetfeld mit der gleichen Magnetfeldrichtung aufrechterhalten. Der Ring bewegt sich auf die Spule zu.
- 3 a) In der Induktionsspule passiert nichts. Es ist keine Spannung messbar, da sich das Magnetfeld nicht ändert.
b) Beim Schließen wird eine entgegengesetzte Spannung an der Induktionsspule gemessen, da sich das Magnetfeld der Feldspule ändert und das durch den Induktionsstrom an der Induktionsspule entstandene Magnetfeld dieser Ursache nach der Regel von Lenz entgegenwirkt.
Beim Öffnen dagegen wird eine Spannung in gleicher Richtung gemessen, da das Entgegenwirken einer Aufrechterhaltung des abnehmenden Magnetfeldes entspricht.



- c) Beim Zubewegen wird eine Induktionsspannung mit entgegengesetzter Polung wie in der Feldspule gemessen. Beim Wegbewegen wird ebenfalls eine Induktionsspannung gemessen, jedoch mit gleicher Polung wie in der Feldspule.



Einstieg

- Ja, hier besteht ein Zusammenhang.
- Im Herd ist eine Spule verbaut, die beim Betrieb von Wechselstrom durchflossen wird. Dadurch entsteht ein sich ständig zeitlich änderndes Magnetfeld. Durchsetzt dieses Magnetfeld den Topfboden, so werden in diesem viele kleine Ströme (Wirbelströme) induziert. Diese Ströme erwärmen den Topfboden.

Aufgaben

- 1 Kupferrohr: Der Magnet bewegt sich durch das Kupferrohr, wodurch auf dieses ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld wirkt. Dies führt zur Bildung von Wirbelströmen im Kupferrohr, die so gerichtet sind, dass dessen eigene Magnetfelder der Ursache des Induktionsvorgangs, der Bewegung des Magneten, entgegenwirken und diesen somit abbremesen. Somit „fällt“ der Magnet nur ganz langsam nach unten.
Kunststoff: Das Kunststoffrohr ist kein elektrischer Leiter, weshalb sich keine Wirbelströme bilden können und der Magnet somit ungehindert nach unten fällt.
- 2 Man kann beispielsweise die in einem Gegenstand verwendeten massiven Metallteile in kleinere Teile zerlegen, wie z. B. Eisenkerne blättern, und diese Schichten gegeneinander isolieren oder mit Luftspalten zersetzen. Dadurch ist der Raum nicht groß genug, sodass sich keine großen Wirbelströme bilden können.

Alltag

- Es sind individuelle Lösungen möglich.
Beispiel Wirbelstrombremse:
Das Prinzip der Wirbelstrombremse ist besonders gut am Versuch des Waltenhofenschen Pendels erkennbar. Hierbei wird ein Pendel aus einem elektrischen Leiter durch ein Magnetfeld bewegt. Es entstehen durch die Induktion kleine Wirbelströme auf dem Pendel, die der Ursache, also dem Schwingen durch das Magnetfeld, entgegenwirken und das Pendel somit abbremesen.
Weitere Anwendungen von Wirbelströmen sind beispielsweise ...
 - ein Induktionsofen, wobei die Wirbelströme sehr hohe Temperaturen erzielen, die man zum Schweißen, Umformen, Schneiden oder Schmelzen von Metallen verwenden kann.
 - elektromagnetische Dämpfung.

Induktives Laden

- Vorteile:
 - Kein Kabel-Wirrwarr
 - Kein Suchen mit dem Anschluss-Stecker, dieser wird geschont, was es langlebiger macht
 - Vereinheitlichung der Ladepads
 - Teilweise mehrere Geräte gleichzeitig aufladbar
 - Optisch unauffälliger
- Nachteile:
 - Nur für manche Smartphones nutzbar oder besondere Adapter notwendig
 - Kann nicht hochgehoben/genutzt werden
 - Teurer
 - Benötigt mehr Zeit zum Laden
 - Größere Energieverluste
- In der Ladestation befindet sich eine Spule, in der ein durch sie fließender Wechselstrom ein sich ständig zeitlich änderndes Magnetfeld hervorruft. In dem zu ladenden elektrischen Gerät befindet sich wiederum eine Induktionsspule. Befindet sich diese nun in der Nähe der Feldspule des Ladegerätes, so durchsetzt das Magnetfeld die Induktionsspule und induziert in dieser eine Spannung, die den Akku lädt.
- Lösungsmöglichkeiten:
 - Elektroautos
 - Maschinen/Fahrzeuge in der Industrie (z. B. Gabelstapler)
 - Drohnen
 - Serviceroboter
 - Geräte im medizinischen Bereich (hygienischer, leichter zu desinfizieren)

Induktionsschleifen

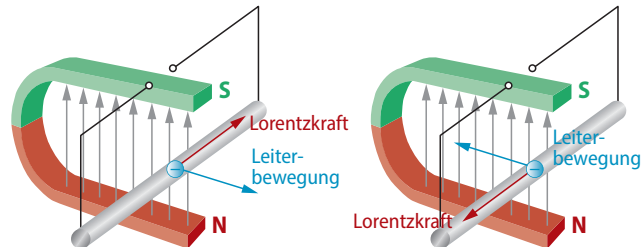
- In Veranstaltungsräumen (z. B. Kinos, Theater, Kirchen) sind manchmal Induktionsschleifenanlagen vorhanden. Dabei können Audio-Signale für Menschen mit Hörbehinderung zugänglich gemacht werden, indem diese in elektrische Signale umgewandelt und als elektromagnetisches Wechselfeld ausgesendet werden. In manchen Hörgeräten sind nun Induktionsspulen (sogenannte T-Spulen) vorhanden, mit denen dieses Wechselfeld wieder empfangen und in Audiosignale umgewandelt werden kann.

Wirbelstromsensoren

- Bei modernen Autos werden Wirbelstromsensoren zur Abstandsmessung eingesetzt, um die Abstände zu anderen Autos oder der Umgebung zu messen, z. B. für Einparkhilfen, beim autonomen Fahren oder zur Messung kleiner Abstandsänderungen im Motor, um Fehler zu erkennen.
- Alle drei Geräte senden elektromagnetische Wellen aus und empfangen diese nach Veränderung durch die Umgebung wieder, um so mithilfe von Induktion Aussagen über die Umgebung machen zu können. Entweder, um Metall oder Schwingungen in der Umgebung zu finden oder eben Abstände in der Umgebung zu messen.

Aufgaben zur Einzelarbeit

- 1 Durch die Bewegung der Elektronen nicht parallel zum Magnetfeld wirkt auf die Elektronen die Lorentzkraft. Die Elektronen werden dadurch entlang des Leiters abgelenkt und somit wird eine Spannung induziert. Diese Spannung kann dann an den Anschlüssen der Leiterschaukel gemessen werden.

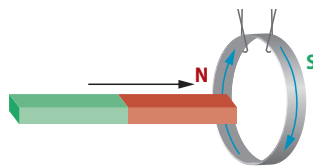


- 2 a)
 - Der Hufeisenmagnet wird abwechselnd zur Spule hin- und wieder zurückbewegt.
 - Die Spule wird auf einen Schenkel des Hufeisenmagneten hin- und wieder zurückbewegt.
- b) Bewegungsenergie wird in elektrische Energie umgewandelt.
- c) Das Lämpchen leuchtet stärker, wenn ...
 - ein stärkerer Magnet verwendet wird.
 - die Bewegung von Magnet oder Spule schneller erfolgt.
 - die Windungszahl in der Spule vergrößert wird.
 - ein Spulendraht aus einem elektrischen Leiter mit geringerem spezifischen elektrischen Widerstand verwendet wird.
 - ein Weicheisenkern in die Spule eingeführt wird.

- 3 Der Magnet fällt nahezu ungebremst durch das Kunststoffrohr, im Kupferrohr wird er dagegen deutlich gebremst.

Da Kupfer ein elektrischer Leiter ist, wird durch den Fall des Magneten an jeder ringförmigen Stelle aufgrund der zeitlichen Änderung des Magnetfelds während des Falls ein elektrischer Strom induziert. Dieser Strom erzeugt selbst wiederum ein Magnetfeld, welches gemäß der Regel von Lenz der Ursache der Induktion entgegenwirkt. Da die Ursache der Induktion die beschleunigte Abwärtsbewegung des Magneten ist, führt die Wechselwirkung der Magnetfelder zur Abbremsung des Körpers.

- 4 a)



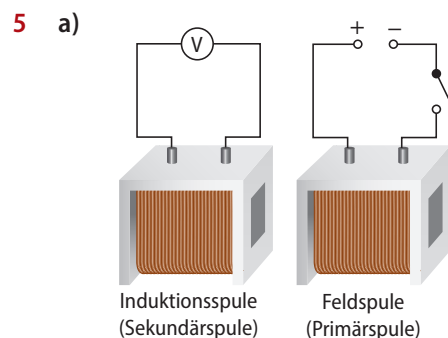
Der Aluminiumring wird abgestoßen.

Durch die Bewegung des Magneten wirkt auf den Aluminiumring ein zeitlich sich änderndes Magnetfeld. Durch diese Magnetfeldänderung wird im Ring eine Spannung induziert. Da der Ring geschlossen ist, fließt ein Induktionsstrom. Dieser induzierte Strom erzeugt wiederum selbst ein Magnetfeld, sodass es zu einer Wechselwirkung der beiden Magnetfelder von Magnet und Ring kommt. Der Induktionsstrom im Ring ist dabei stets so gerichtet, dass das von ihm erzeugte Magnetfeld der Ursache der Induktion entgegenwirkt.

Bewegt sich der Magnet auf den Aluminiumring zu, dann wirkt das Magnetfeld des Rings dieser Magnetfeldverstärkung (Ursache der Induktion) am Ort des Rings entgegen und der Ring wird abgestoßen. Der Stromfluss im Ring muss also so gerichtet sein, dass an der Seite zum Magneten ein gleichnamiger magnetischer Pol entsteht (linke-Faust-Regel).

b) Der Aluminiumring bleibt in Ruhe.

Ist der Aluminiumring an einer Stelle durchtrennt, dann kann kein elektrischer Strom induziert werden, da der Stromkreis nicht geschlossen ist. Folglich wird kein Magnetfeld aufgebaut, sodass es auch keine Wechselwirkung mit dem Magnetfeld des Magneten gibt.



b) Beim Schließen des Schalters fließt ein elektrischer Strom, der ein Magnetfeld aufbaut. Dieses Magnetfeld induziert in der Sekundärspule kurzzeitig eine Spannung, da sich die Spule im Moment des Schließens des Schalters in einem zeitlich sich ändernden Magnetfeld befindet. Deshalb schlägt der Zeiger des Spannungsmessgerätes nur im Moment des Schließens des Schalters aus.

c) Lösungsmöglichkeiten: Die Spannung wird vergrößert, wenn ...

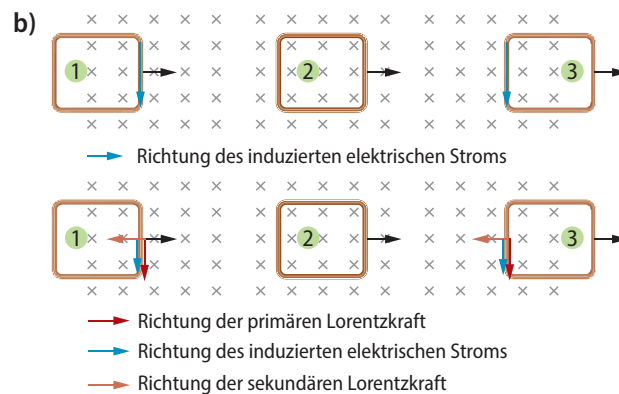
- die Spannung an der Feldspule erhöht wird.
- ein Weicheisenkern in die Feldspule eingeführt wird.
- die Windungszahl der Feldspule erhöht wird.

6 a) Da die Spule 1 von Wechselstrom durchflossen ist, erzeugt diese ein sich änderndes Magnetfeld. Kommt die Bankkarte beim Auslesevorgang nun in die Nähe von Spule 1, so wird die Spule 2 von dem sich zeitlich ändernden Magnetfeld der Spule 1 durchsetzt und somit im Stromkreis von Spule 2 ein Induktionsstrom induziert. Dieser Strom wird dann zum Auslesen des Mikrochips verwendet.

b) Eine höhere Reichweite erhält man, indem man die Reichweite des in Spule 1 erzeugten Magnetfelds erhöht. Dies erreicht man beispielsweise durch eine höhere Stromstärke oder eine höhere Windungszahl in Spule 1.

c) Durch das Verwenden einer Aluminiumhülle werden äußere Magnetfelder abgeschirmt, dadurch ist die Magnetfeldänderung, die bei Spule 2 in der Bankkarte ankommt, deutlich geringer und damit auch die Stromstärke, die induziert wird.

- 7 Lösungsmöglichkeiten:
- Beim Betrieb eines Induktionsherds werden im Boden einer Pfanne Wirbelströme induziert, sodass sich die Pfanne aufgrund der elektrischen Ströme erwärmt.
 - Bei der Wirbelstrombremse werden in einem Körper Wirbelströme aufgrund eines zeitlich sich ändernden Magnetfelds erzeugt, die entsprechend der Regel von Lenz so gerichtet sind, dass sie der Ursache der Induktion entgegenwirken. Bewegt sich dieser Körper, dann bewirken die durch die Wirbelströme erzeugten Magnetfelder eine Abbremsung.
- 8 a) Beim Hinein- und Hinausbewegen aus dem Magnetfeld wird in der Leiterschleife ein elektrischer Strom induziert, weil sich in diesem Moment das Magnetfeld ändert. Entsprechend der Regel von Lenz wirkt das durch diesen induzierten elektrischen Strom erzeugte Magnetfeld der Ursache der Induktion entgegen. Beim Hineinbewegen fließt in der Leiterschleife folglich ein elektrischer Strom im Uhrzeigersinn, sodass sein Magnetfeld der Magnetfeldverstärkung (als Ursache der Induktion) entgegenwirkt und eine magnetisch abstoßende Kraft durch die Wechselwirkung der beiden Magnetfelder bewirkt wird (1).
 Beim Hinausbewegen fließt der elektrische Strom entgegen dem Uhrzeigersinn, sodass in diesem Fall der Magnetfeldabschwächung als Ursache der Induktion entgegenwirkt wird. Die Wechselwirkung der beiden Magnetfelder übt eine anziehende Kraft auf die Leiterschleife aus (3).
 Befindet sich die Leiterschleife vollständig im homogenen Magnetfeld, dann wird kein elektrischer Strom induziert, da sich das Magnetfeld an der Leiterschleife zeitlich nicht ändert (2).



Aufgaben für Lernpartner

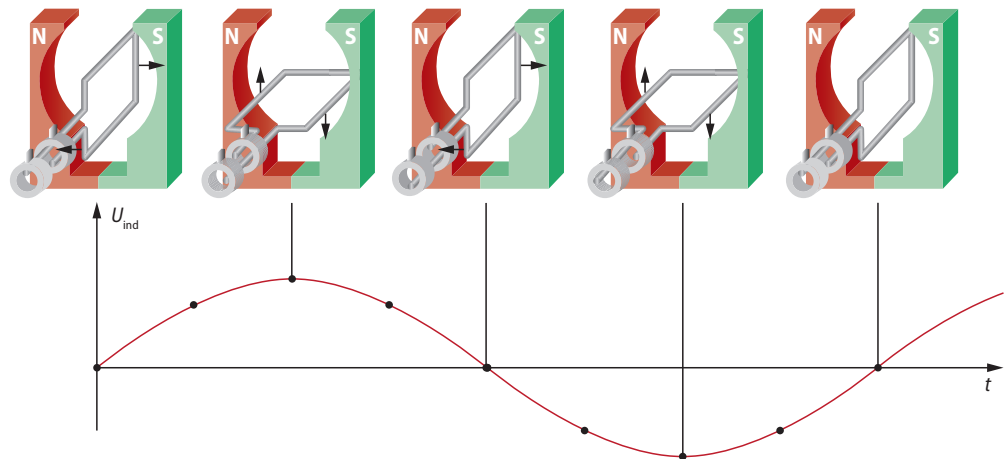
- A Das ist falsch. Bei der Induktion wird mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt.
- B Das ist falsch. In einem Leiter wird nur dann eine elektrische Spannung induziert, wenn der Leiter nicht parallel zu den Feldlinien des Magneten bewegt wird.
- C Das ist falsch. Ursache der Induktion in einem Leiter ist die zeitliche Änderung des Magnetfelds am Ort des Leiters.
- D Das ist richtig.

- E Das ist falsch. Man muss die UVW-Regel der linken Hand verwenden, da es sich um die Bewegung von Elektronen handelt. Der Daumen zeigt hierbei entlang der Bewegung des Leiters im Magnetfeld (Ursache) und der Zeigefinger entlang der Magnetfeldlinien von Nord nach Süd (Vermittlung). Daraus ergibt sich für den Mittelfinger die Richtung der Lorentzkraft (Wirkung). Aus der Bewegungsrichtung der Elektronen ergibt sich so die Polung der Induktionsspannung.

Einstieg

Aufgaben

- Das Gerät ist ein Generator, beim Fahrrad ist der Begriff Dynamo üblich.
- 1 a) Der Generator am Prinzip des Dynamos:
Durch die Bewegung des Rades beim Fahrradfahren wird das Reibrad des Dynamos und somit auch der Magnet (Rotor) in eine Drehbewegung versetzt. Dadurch wirkt auf die Drahtspule (Stator) ein sich ständig änderndes Magnetfeld, wodurch in dieser eine Spannung induziert wird, welche den Scheinwerfer zum Leuchten bringt.
 - b)
 - kleine Ausgangsleistung: Fahrraddynamo, Kurbeltaschenlampe oder -radio
 - mittlere Ausgangsleistung: Lichtmaschine eines Autos, Tachogenerator zur Drehzahlmessung, (Notstrom-)Aggregat
 - große Ausgangsleistung: Kraftwerke aller Art (Wasserkraftwerk, Windkraftwerk, Atomkraftwerk, ...)
 - c) Elektromotor
- 2 Je nach Position der Spule im Magnetfeld ist die Induktionsspannung unterschiedlich groß. Am größten ist sie, wenn die Bewegung des Leiters senkrecht zur Magnetfeldrichtung verläuft, und gleich null, wenn die Bewegung parallel verläuft. Für die Werte dazwischen ergeben sich Abstufungen und nach 180° findet jeweils ein Richtungswechsel statt. So erhält man am Ende eine sinusförmige Wechselspannung.



- 3 Die innere Energie des Wasserdampfs wird umgewandelt in Rotationsenergie der Dampfturbine und diese dann wiederum im Generator in elektrische Energie. Dabei treten im Laufe der Umwandlungskette Energieentwertungen auf, die Gesamtenergie bleibt aber gemäß dem Energieerhaltungssatz konstant.

Technik

- Lösungsmöglichkeit: Verwendung eines Trommelankers als Rotor und eines Elektromagneten als Stator
- Ein Fahrraddynamo ist ein Innenpolgenerator.

	Außenpolgenerator	Innenpolgenerator
Aufbau	Stator: Magnet (Permanent- oder Elektromagnet) Rotor: Induktionsspule	Stator: Induktionsspule Rotor: Magnet (Permanent- oder Elektromagnet)
Abnahme der induzierten Spannung	Über zwei Schleifringe	Direkt an den Spulenden
Einsatz in Alltag und Technik	Kaum im Einsatz, veraltet, evtl. Experimentiergenerator an Schulen, Hilfsgenerator	Vielfältiger Einsatz z. B. als Fahrraddynamo, Lichtmaschine im Auto, in jeglichen Kraftwerken

Einstieg

- Es werden sogenannte „Netzteile“ verwendet, die die Spannung entsprechend dem Bedarf anpassen.
- Im Inneren der Netzteile befinden sich Transformatoren, die Wechselspannungen mithilfe von Induktion hoch- oder heruntertransformieren können. So können die Spannungen an den Bedarf angepasst werden.

Aufgaben

- a) Auf dem Schild des Transformators sind Eingangs- und Ausgangsspannung aufgedruckt. So kann dieser Transformator bei einer Eingangsspannung von 230 V eine Ausgangsspannung von 12 V liefern.
Die Eingangsspannung wird an die Primärspule angelegt. Das hier entstehende, sich zeitlich ändernde Magnetfeld durchsetzt die Sekundärspule. Dies führt zu einer geringeren Wechselspannung an der Sekundärspule, die dort abgegriffen werden kann.
 - b) Andere Anwendungsgebiete sind weitere Niederspannungsgeräte, die an die Haushaltssteckdose angeschlossen werden sollen, z. B. Smartphone, Tablet oder Laptop. Zudem werden Transformatoren in Handwerksbetrieben verwendet, um z. B. einen Schweißbrenner nutzen zu können.
- 2 Für die Funktion eines Transformators wird ein sich ständig änderndes Magnetfeld benötigt, um eine Spannung in der Sekundärspule zu induzieren. Bei einer Gleichspannung bliebe das Magnetfeld, außer beim Ein- und Ausschalten, konstant. Damit könnte in der Sekundärspule ebenfalls nur beim Ein- und Ausschalten eine Spannung induziert werden, aber nicht mehr, nachdem das Magnetfeld einmal aufgebaut wurde. So käme es zu keiner Induktionsspannung in der Sekundärspule.
- 3 Die Primärspule erzeugt durch die angelegte Wechselspannung ein sich änderndes Magnetfeld. Dies legt somit den Begriff der „Feldspule“ nahe.
Da in der Sekundärspule durch Induktion die transformierte Spannung zustande kommt, wird diese auch als „Induktionsspule“ bezeichnet.
- 4 $n_p < n_s$ besagt, dass die Anzahl der Windungen in der Primärspule geringer ist als die in der Sekundärspule. Es ergibt sich dadurch $U_p < U_s$, d. h. die Spannung der Primärseite ist ebenfalls geringer als die Spannung der Sekundärseite.
Gilt $n_p > n_s$, so ist die Windungszahl an der Primärspule größer als die an der Sekundärspule. Die Spannung der Primärseite ist nun größer als die Spannung der Sekundärseite $U_p > U_s$.
Es lässt sich also durch die Anzahl der Windungen der Spulen regulieren, wie stark man die an die Primärspule angelegte Spannung in der Induktionsspule hoch- bzw. heruntertransformieren möchte.

Einstieg

- Der Metallrahmen dient dazu, das Magnetfeld der Spulen zu verstärken und zu bündeln, also die Streuung zu reduzieren.

Aufgaben

- 1 a) Bei einem Wirkungsgrad von 100 % würde die komplette zugeführte Energie in Nutzenergie umgewandelt werden.
Dies ist nicht der Fall, da sich zum einen das Magnetfeld nicht vollständig in der bzw. um die Sekundärspule befindet. Es kommt also zu einem Energieverlust durch die Streuung des Magnetfeldes.
Zum anderen erwärmen sich die Spulendrähte durch den Stromfluss und somit wird elektrische Energie in thermische Energie umgewandelt. Außerdem entstehen im Eisenkern Wirbelströme, die diesen erwärmen. Gleichzeitig führt das ständige Ändern der Magnetisierung (Umklappen der Elementarmagnete) ebenfalls zu einer Erwärmung des Eisenkerns.
- b) Die Energieverluste durch Streuung des Magnetfeldes können durch einen gemeinsamen Weicheisenkern minimiert werden. Zeitgleich verstärkt dieser das Magnetfeld. Gegen die Erwärmung der Spulendrähte hilft eine Kühlung des Transformators oder die Verwendung eines Drahtmaterials mit einem geringeren spezifischen Widerstand. Die Erwärmung durch die Wirbelströme kann reduziert werden, wenn der Eisenkern aus einzelnen, zueinander isolierten Schichten aufgebaut ist – man also einen sogenannten „geblätterten“ Eisenkern verwendet.
- 2 a) ① Ein Netzteil wird dazu verwendet, um die Spannung von einer gegebenen Eingangsspannung (z. B. von 230 V Netzspannung) auf eine Ausgangsspannung zu transformieren, im Alltag meist zu reduzieren.
- ② Die Eingangs- bzw. Primärspannung beträgt 230 V bei einer Frequenz von 50 Hz. Maximal darf dabei ein Strom von 0,32 A fließen.
Die Ausgangs- bzw. Sekundärspannung beträgt 12 V bei einer maximalen Stromstärke von 1,0 A.
- ③ geg.: $U_p = 230 \text{ V}; I_p = 70 \text{ mA}; U_s = 12 \text{ V}; I_s = 1,0 \text{ A}$
ges.: η
Ansatz: $\eta = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{zu}}}; P = U \cdot I$
$$\eta = \frac{U_s \cdot I_s}{U_p \cdot I_p}$$

Rechnung: $\eta = \frac{12 \text{ V} \cdot 1,0 \text{ A}}{230 \text{ V} \cdot 0,070 \text{ A}} = 0,75 = 75 \%$
- b) Heutzutage sind in fast allen Bereichen die früher oft verwendeten Trafo-Netzteile durch sogenannte Schaltnetzteile ersetzt worden. Hierbei wird die Spannung nicht durch einen Transformator verändert (im Alltag meist von 230 V verringert), sondern durch eine aufwändigere, elektronische Schaltung. Schaltnetzteile kommen mit verschiedenen Eingangsspannungen zurecht und liefern stets eine gewünschte, oft einstellbare Ausgangsspannung. Daneben haben sie noch weitere Vorteile:
- kleinere Bauweise für gleiche Energie
 - weniger Gewicht
 - weniger Rohstoffbedarf beim Bau
 - effektiv und damit sparsam im Energieverbrauch
 - günstiger für Umwelt und Kunden
- Bei den allermeisten Netzteilen wird im Übrigen auch nicht nur die Spannung verändert (was ein reiner Transformator leisten könnte), sondern gleichzeitig oft Gleichspannung ausgegeben, wozu weitere elektronische Schaltungen nötig sind.

- 3 Da für einen idealen Transformator $P_p = P_s$ gilt, sind die Produkte aus Spannung und Stromstärke der jeweiligen Seite ebenfalls gleich.
Vertausendfacht sich also die Sekundärspannung im Verhältnis zur Primärspannung, so beträgt die Sekundärstromstärke nur noch ein Tausendstel der Primärstromstärke.
Umgekehrt gilt also dann für die Primärstromstärke, dass sie tausendmal so hoch wie die Sekundärstromstärke sein muss. Damit gilt $I_p = 0,50 \text{ kA}$.
- 4 geg.: $\eta = 0,58; U_p = 230 \text{ V}; U_s = 100 \text{ V}; I_s = 2,34 \text{ A}$
ges.: $P_p; I_p$
Ansatz: $\eta = \frac{P_s}{P_p} \quad | \cdot P_p \quad | : \eta$
 $P_s = U_s \cdot I_s$
 $P_p = U_p \cdot I_p \quad | : U_p$
Rechnung: $P_p = \frac{P_s}{\eta} = \frac{U_s \cdot I_s}{\eta} = \frac{100 \text{ V} \cdot 2,34 \text{ A}}{0,58} = 0,40 \text{ kW}$
 $I_p = \frac{P_p}{U_p} = \frac{0,40 \text{ kW}}{230 \text{ V}} = 1,7 \text{ A}$
- 5 a) geg.: $U_s = 3,5 \text{ V}; I_s = 120 \text{ A}; U_p = 230 \text{ V}; \eta = 0,93$
ges.: P_p
Ansatz: $\eta = \frac{P_s}{P_p} \quad | \cdot P_p \quad | : \eta$
 $P_s = U_s \cdot I_s$
Rechnung: $P_p = \frac{P_s}{\eta} = \frac{U_s \cdot I_s}{\eta} = \frac{3,5 \text{ V} \cdot 120 \text{ A}}{0,93} = 0,45 \text{ kW}$
b) geg.: $P_p = 0,45 \text{ kW}; t = 60 \text{ s}$
ges.: E_{el}
Ansatz: $P_p = \frac{E_{\text{el}}}{t} \quad | \cdot t$
Rechnung: $E_{\text{el}} = P_p \cdot t = 0,45 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot 60 \text{ s} = 27 \text{ kJ}$
- 6 geg.: $U_s = 12 \text{ V}; P_s = 2 \cdot 50 \text{ W}; U_p = 230 \text{ V}; I_p = 490 \text{ mA}$
ges.: η
Ansatz: $\eta = \frac{P_s}{P_p}; P_p = U_p \cdot I_p$
Rechnung: $\eta = \frac{P_s}{U_p \cdot I_p} = \frac{2 \cdot 50 \text{ W}}{230 \text{ V} \cdot 0,490 \text{ A}} = 0,89 = 89 \%$
- 7 a) geg.: $P_p = 55 \text{ W}; \eta = 0,92; U_s = 16 \text{ V}$
ges.: I_s
Ansatz: $\eta = \frac{P_s}{P_p} \quad | \cdot P_p$
 $P_s = U_s \cdot I_s \quad | : U_s$
Rechnung: $P_s = \eta \cdot P_p = 0,92 \cdot 55 \text{ W} = 51 \text{ W}$
 $I_s = \frac{P_s}{U_s} = \frac{51 \text{ W}}{16 \text{ V}} = 3,2 \text{ A}$
b) Das Öffnen des Eisenkerns führt zu verstärkten magnetischen Streufeldern. Dadurch wird ein größerer Teil der übertragenen Energie entwertet. Der Wirkungsgrad nimmt ab. Dies hat auf die Primärstromstärke keine Auswirkungen, da diese ausschließlich von den Bauteilen im Primärkreis abhängt. Durch den geringeren Wirkungsgrad verringert sich jedoch die Sekundärleistung und bei gleichbleibender Spannung auch die Stromstärke im Sekundärkreis.

- 8 a) Das Wasser in der Metallrinne wird sich erwärmen, ggf. sogar verdampfen, da die Metallrinne als Induktionsspule mit einer Windung fungiert und deshalb ein Strom induziert wird, was wiederum die Metallrinne erhitzt und dadurch auch das Wasser.

b) geg.: $U_p = 230 \text{ V}; I_s = 52 \text{ A}; U_s = 460 \text{ mV}; \eta = 82 \%$

ges.:

Ansatz: $P = U \cdot I; \eta = \frac{P_s}{P_p} = \frac{U_s \cdot I_s}{U_p \cdot I_p} \quad | \cdot I_p \quad | : \eta$

Rechnung: $I_p = \frac{U_s \cdot I_s}{U_p \cdot \eta} = \frac{460 \cdot 10^{-3} \text{ V} \cdot 52 \text{ A}}{230 \text{ V} \cdot 0,82} = 0,13 \text{ A}$

c) geg.: $U_p = 230 \text{ V}; I_p = 0,13 \text{ A}; t = 2,0 \text{ min}$

ges.:

Ansatz: $E_{\text{el}} = W_{\text{el}} = U \cdot I \cdot t$

Rechnung: $E_{\text{el}} = 230 \text{ V} \cdot 0,13 \text{ A} \cdot 2,0 \text{ min}$
 $= 230 \text{ V} \cdot 0,13 \text{ A} \cdot 2,0 \cdot 60 \text{ s} = 3,6 \text{ kJ}$

oder:

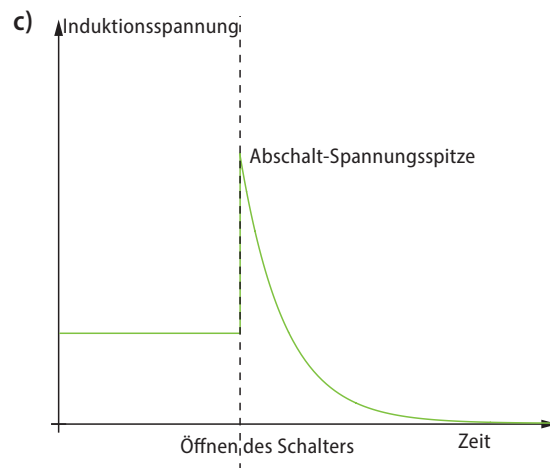
$$E_{\text{el}} = 230 \text{ V} \cdot 0,13 \text{ A} \cdot \frac{2,0}{60} \text{ h} = 1,0 \text{ Wh}$$

9 a) $R = \frac{U}{I}$

Durch die Verkleinerung des Widerstandes erhöht sich kontinuierlich die Stromstärke. Dies führt zu einem kontinuierlich wachsenden Magnetfeld. Durch die Änderung des Magnetfeldes wird in der Spule 2 eine Spannung induziert.

b) Beispiele:

- Schnelleres Verringern des Widerstandes
- Verringern der Windungszahl der Spule 1
- Erhöhen der Windungszahl der Spule 2



Hochstromtransformator

- Der Widerstand des Leiters muss deutlich kleiner als der des Nagels sein, weshalb ein großer Leiterquerschnitt gewählt werden muss. Dadurch erhält man am Ende einen sehr kleinen Gesamtwiderstand und somit sehr große Stromstärken ($R = \frac{U}{I}$).
- Die elektrische Spannung am Leiter wird stark reduziert.

Niederspannungstransformator

- Die Windungszahl der Primärseite bleibt gleich. Auf der Sekundärseite befinden sich weniger Windungen. Je nach gewünschter Spannung wird der Abgriffspunkt an der Sekundärspule so gewählt, dass man die gewünschte Anzahl an Windungen erhält. Werden weniger Windungen verwendet, so ist auch die Spannung niedriger.
- Der Modelleisenbahn-Trafo ist bzw. war ein Niederspannungstransformator, bei dem die Sekundärwindungszahl über einen Schleifkontakt, der entlang der Spule fahren kann, eingestellt wird. Heutzutage werden sogenannte Schaltnetzteile verwendet, bei der die Spannung mittels aufwändiger elektronischer Schaltungen verändert wird.

Hochspannungstransformator

- Da es bei hohen Spannungen zu Überschlügen des Stroms über die Luft kommen kann, besteht selbst bei Abstand die Gefahr eines elektrischen Überschlags auf den Menschen.
- Die Drahtgitterkugel ist ein Faradayscher Käfig.
Da es sich um einen elektrischen Leiter handelt, an dessen Oberfläche sich die Ladungen frei beweglich ansammeln, ist das Innere der Kugel feldfrei. Dies passiert dadurch, dass sich im Inneren durch die Verschiebung der Ladungen ein Feld aufbaut, entgegengesetzt zum äußeren Feld, was sich dann gegenseitig aufhebt. Der Strom fließt also über die Außenseite ab, ohne dass eine Gefahr für die Person innerhalb der Kugel besteht.
- Gemeinsamkeiten:
Alle Transformatoren bestehen aus zwei Spulen, die mit einem geschlossenen Weicheisenkern durchsetzt werden.
Beim Hochstromtransformator besitzt die Primärspule deutlich mehr Windungen als die Sekundärspule. Auch beim Niederspannungstransformator besitzt die Primärspule mehr Windungen als die Sekundärspule.
Unterschiede:
Der Hochspannungstransformator hingegen besitzt auf der Sekundärseite wesentlich mehr Windungen als auf der Primärseite.
Beim Niederspannungstransformator besteht die Möglichkeit, durch verschiedene Anschlusspunkte an der Sekundärspule die Windungszahl und somit auch die Spannung variabel zu wählen.
Außerdem muss der Leiter bei einem Hochstromtransformator anders als bei den anderen Trafos bei der Sekundärspule einen gewissen Durchmesser besitzen.

Einstieg

- Die hohen Spannungen können mithilfe eines Hochspannungstransformators erreicht werden.
- Lange elektrische Leitungen haben einen sehr hohen Widerstand und damit verbundene größere Wärmeverluste.

Aufgaben

- 1 Wie man an der Formel $P_{\text{therm}} = R \cdot I^2$ sehen kann, geht die Stromstärke quadratisch in die Verlustleistung ein. Bei doppelter Stromstärke ist der Verlust also viermal so hoch. Umgekehrt kann bei einer Halbierung der Stromstärke der Wärmeverlust auf ein Viertel reduziert werden.
Diese Reduzierung kann man erreichen, indem man die Spannung hochtransformiert. Bei gleicher Leistung reduziert sich dadurch die Stromstärke entsprechend ($P = U \cdot I$).

2 geg.: $P_{\text{zu}} = 34,0 \text{ MW}; U = 110 \text{ kV}; R = 42,0 \Omega$

ges.: η

Ansatz: $I = \frac{P}{U}; P_{\text{therm}} = R \cdot I^2; P_{\text{Nutz}} = P_{\text{zu}} - P_{\text{therm}}; \eta = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{zu}}}$

Rechnung: $I = \frac{34,0 \cdot 10^6 \text{ W}}{110 \cdot 10^3 \text{ V}} = 309 \text{ A}$

$$P_{\text{therm}} = 42,0 \Omega \cdot (309 \text{ A})^2 = 4,01 \text{ MW}$$

$$P_{\text{Nutz}} = 34,0 \text{ MW} - 4,01 \text{ MW} = 30,0 \text{ MW}$$

$$\eta = \frac{30,0 \text{ MW}}{34,0 \text{ MW}} = 0,882 = 88,2 \%$$

3 geg.: $P = 154 \text{ MW}; U_1 = 21 \text{ kV}; U_2 = 220 \text{ kV}; R = 1,2 \Omega$

ges.: Leistungsentwertungen $\frac{P_{\text{therm},1}}{P}; \frac{P_{\text{therm},2}}{P}$

Ansatz: $I = \frac{P}{U}; P_{\text{therm}} = R \cdot I^2$

Rechnung: $I_1 = \frac{154 \cdot 10^6 \text{ W}}{21 \cdot 10^3 \text{ V}} = 7,3 \cdot 10^3 \text{ A}$

$$P_{\text{therm},1} = 1,2 \Omega \cdot (7,3 \cdot 10^3 \text{ A})^2 = 64 \cdot 10^6 \text{ W}$$

$$\frac{P_{\text{therm},1}}{P} = \frac{64 \cdot 10^6 \text{ W}}{154 \cdot 10^6 \text{ W}} = 42 \%$$

$$I_2 = \frac{154 \cdot 10^6 \text{ W}}{220 \cdot 10^3 \text{ V}} = 700 \text{ A}$$

$$P_{\text{therm},2} = 1,2 \Omega \cdot (700 \text{ A})^2 = 0,59 \cdot 10^6 \text{ W}$$

$$\frac{P_{\text{therm},2}}{P} = \frac{0,59 \cdot 10^6 \text{ W}}{154 \cdot 10^6 \text{ W}} = 0,38 \%$$

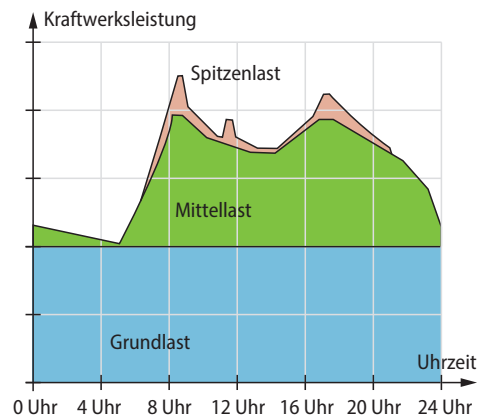
Antwort: Im Fall 1 werden 42 % der Leistung entwertet, im Fall 2 hingegen nur 0,38 %.

Spannungsebenen im Energieverteilungsnetz

- Das Höchstspannungsnetz kann mit Autobahnen verglichen werden. Mit ihm werden die größten Distanzen überbrückt.
Das Hochspannungsnetz kann man mit Bundesstraßen vergleichen, das Mittelspannungsnetz mit Landstraßen und das Niederspannungsnetz mit Ortsstraßen.
Im Unterschied zum Straßennetz, bei dem Autos ohne weitere Hilfsmittel zwischen den verschiedenen Straßenarten beliebig wechseln können, sind im Verteilungsnetz an den Übergabepunkten Transformatoren nötig, die die verwendeten Spannungen entsprechend anpassen.

Das europäische Energieverbundnetz

- Die Kurve zeigt den typischen Strombedarf im Verlauf eines Tages. Die Kraftwerksleistung wird hierbei individuell an den Bedarf angepasst.



Hier sind individuelle Lösungen möglich.

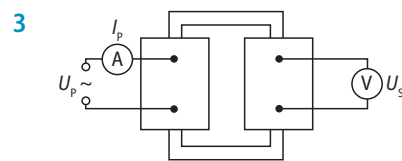
- Als Grundlast wird der Bedarf bezeichnet, der kontinuierlich zur Verfügung stehen muss. Die Mittellast ist hierbei der Bereich, der vor allem tagsüber zusätzlich zur Grundlast benötigt wird.
Unter Spitzenlast versteht man kurzzeitige hohe Leistungsnachfragen. Typischerweise treten diese um 8, um 12 und zwischen 16 und 20 Uhr auf.
Für die Grundlast wurden lange Zeit Atomkraftwerke in Deutschland genutzt. Derzeit werden hauptsächlich Braunkohlekraftwerke, Laufwasserkraftwerke und Windkraftanlagen genutzt.
Die Mittellast wird derzeit von Kohlekraftwerken und Gas- und Dampf-Kombikraftwerken (GuD) abgedeckt. Ebenfalls spielen Photovoltaikanlagen sowie andere regenerative Energieträger eine immer größere Rolle bei der Abdeckung der Mittellast.
Die Spitzenlast wird durch Pumpspeicher-, Druckluft- und Gasturbinenkraftwerke abgedeckt.
- Vorwiegend wird überschüssige Energie (noch) nicht großflächig in Batterien, sondern in Pumpspeichern oder mittels Druckluft gespeichert.

Zukunftsvision: Supergrid

- DESERTEC ist eine Initiative mit dem Ziel, „Klimaschutz, Energiesicherheit [zu] gewährleisten, indem die energiereichsten Standorte der Welt genutzt werden, um nachhaltigen Strom aus erneuerbaren Energien zu produzieren.“ (Zitat aus dem Konzept des DESERTEC-Projekts).
Der Aktionsraum ist Europa, der nahe Osten, Nordafrika und Ostasien.
- Als Vorteil erweist sich hierbei, dass riesige unbewohnbare Flächen zur Verfügung stehen, so könnten große Teile der benötigten elektrischen Energie aus regenerativen Quellen gewonnen werden.
Nachteile sind hierbei die unsichere politische Lage in einigen Ländern sowie der Transport der elektrischen Energie über sehr weite Strecken (HGÜ).
- Nachteil: Im Vergleich zur Übertragung mit Wechselstrom ist ein hoher technischer Aufwand nötig. Ab einer Entfernung von ca. 600 – 800 km ist HGÜ günstiger als die Übertragung mit Wechselstrom, bei einem Erd- bzw. Seekabel ist dies schon ab 40 – 70 km der Fall.

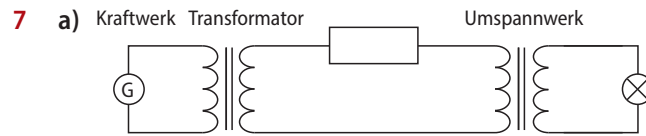
Aufgaben zur Einzelarbeit

- 1 a) $E_{\text{kin}} \rightarrow E_{\text{el}} + E_{\text{i}}$
 b) Durch die Bewegung (bzw. durch Reibung) des Laufrads wird das Antriebsrad des Dynamos in Rotation versetzt. Ein mit dem Antriebsrad verbundener Permanentmagnet dreht sich folglich auch. Dieser befindet sich zwischen einem U-förmigen Eisen, auf dem eine Spule sitzt. Der rotierende Magnet bewirkt ein magnetisches Wechselfeld, welches eine Wechselspannung in der Spule induziert.
- 2 a) In einem Wasserkraftwerk wird die im Wasser gespeicherte potenzielle Energie in kinetische Energie (Bewegung des Wassers) und anschließend in mechanische Energie (Rotation einer Turbine) umgewandelt. Um die Energie ins Verbundnetz einspeisen zu können, muss sie mit einem Generator in elektrische Energie umgewandelt werden.
 b) Das THW nutzt vor allem mobile Generatoren. Sie funktionieren in der Regel mithilfe von Verbrennungsmotoren. Entsprechend wandeln sie die chemische Energie der Brennstoffe (z. B. Diesel) in elektrische Energie um. Ein großer Vorteil dieser Generatoren ist, dass sie in Situationen herangezogen werden können, in denen sonst keine elektrische Energie zur Verfügung steht, zum Beispiel bei Hochwassern, Erdbeben oder anderen Katastrophen.



Die Primär- und die Sekundärspule des Transformators sind über einen geschlossenen Eisenkern rein induktiv gekoppelt, haben also keine elektrisch leitende Verbindung. Die Wechselspannung U_p führt zu einem magnetischen Wechselfeld, das – verstärkt durch den Eisenkern – auch die Sekundärspule durchdringt. Das Wechselfeld in der Sekundärspule führt dort per Induktion zu einer abgreifbaren Wechselspannung U_s .

- 4 a) Hochspannungstransformatoren werden eingesetzt, wenn man hohe Spannungen erzeugen will, also beispielsweise für den Transport elektrischer Energie über Fernleitungen.
 b) Transformatoren, die die Spannung heruntertransformieren, sind der Hochstromtransformator sowie der Niederspannungstransformator. Hochstromtransformatoren werden beispielsweise in Schmelzöfen oder beim Elektroschweißen eingesetzt, Niederspannungstransformatoren (früher) bei elektrischen Spielzeugen oder in Netzteilen.
- 5 Die Anordnung der Spulen mit den entsprechenden Windungszahlen führt dazu, dass die Spannung aus dem Primärkreis hochtransformiert wird. Die bereits lebensgefährliche Spannung von 230 V wird also noch größer und stellt eine noch größere Gefahr für die Gesundheit dar.
- 6 Ein idealer Transformator besitzt einen Wirkungsgrad von 100 %. Bei der Transformation des Stroms findet keine Energieentwertung statt. Beim realen Transformator werden die in der Realität stattfindenden Energieentwertungen, die beispielsweise durch magnetische Streufelder, Erwärmung oder durch Wirbelströme auftreten, berücksichtigt.



b) geg.: $U_p = 10 \text{ kV}; P_p = 6,0 \text{ MW}; U_s = 110 \text{ kV}; R = 85 \Omega$
 ges.: η
 Ansatz: $P_s = P_p$
 $P_s = I_s \cdot U_s \quad | : U_s$
 $P_{\text{therm}} = R \cdot I_s^2; \eta = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{zu}}} = \frac{P_s - P_{\text{therm}}}{P_s}$
 Rechnung: $I_s = \frac{P_s}{U_s} = \frac{6,0 \text{ MW}}{110 \text{ kV}} = 55 \text{ A}$
 $P_{\text{therm}} = 85 \Omega \cdot (55 \text{ A})^2 = 0,26 \text{ MW}$
 $\eta = \frac{6,0 \text{ MW} - 0,26 \text{ MW}}{6,0 \text{ MW}} = 0,96 = 96 \%$

8 a) geg.: $U_p = 21 \text{ kV}; P_p = 154 \text{ MW}; U_s = 220 \text{ kV}; R = 1,2 \Omega$
 ges.: P_{therm}
 ohne Transformator:

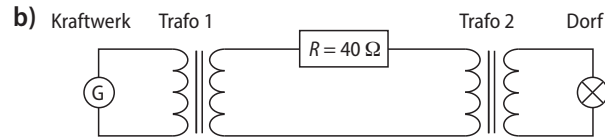
Ansatz: $P = P_p$ und $U = U_p$
 $P = I \cdot U \quad | : U$
 $P_{\text{therm}} = R \cdot I^2$
 Rechnung: $I = \frac{P}{U} = \frac{154 \text{ MW}}{21 \text{ kV}} = 7,3 \text{ kA}$
 $P_{\text{therm}} = 1,2 \Omega \cdot (7,3 \text{ kA})^2 = 64 \text{ MW}$

mit Transformator:

Ansatz: $P_s = P_p$
 $P_s = I_s \cdot U_s \quad | : U_s$
 $P_{\text{therm}} = R \cdot I_s^2$
 Rechnung: $I_s = \frac{P_s}{U_s} = \frac{154 \text{ MW}}{220 \text{ kV}} = 0,700 \text{ kA}$
 $P_{\text{therm}} = 1,2 \Omega \cdot (0,700 \text{ kA})^2 = 0,59 \text{ MW}$

- b) Die in einer Fernleitung entwertete Energie ist abhängig vom elektrischen Widerstand des Leiters sowie der Stromstärke, die den größeren Einfluss besitzt, weil sie sich quadratisch auswirkt. Entsprechend ist die thermische Leistung bei ungefähr einem Zehntel der Stromstärke nur ein Hundertstel so groß.
- c) Ein realer Transformator entwertet einen Teil der zugeführten Energie. Dies geschieht zusätzlich zur Entwertung der Energie in der Fernleitung. Somit verringert sich der Gesamtwirkungsgrad der Übertragungskette.
- d) Bis zum Endnutzer muss die Spannung durch einen weiteren Transformator wieder heruntertransformiert werden. Auch dieser entwertet einen Teil der Energie. Des Weiteren wird in allen zusätzlichen elektrischen Leitungen, die beispielsweise zu elektrischen Geräten im Haushalt führen, Energie entwertet, und natürlich auch in den Geräten selbst.

9 a) geg.: $\rho = 0,038 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}; l = 16 \text{ km}; A = 15,1 \text{ mm}^2$
 ges.: R
 Ansatz: $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$
 Rechnung: $R = \frac{0,038 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 16 \cdot 10^3 \text{ m}}{15,1 \text{ mm}^2} = 40 \Omega$



c) geg.: $U_p = 1500 \text{ V}; P_p = 1200 \text{ kW};$
 $U_s = 24\,000 \text{ V}; R = 40 \Omega; \eta_1 = 0,970$

ges.: η
 Ansatz: $\eta = \frac{P_s}{P_p} \quad | \cdot P_p$
 $P_s = I_s \cdot U_s \quad | : U_s$
 $P_{\text{therm}} = R \cdot I_s^2$
 $\eta = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{zu}}} = \frac{P_s - P_{\text{therm}}}{P_s}$

Rechnung: $P_s = \eta \cdot P_p = 0,970 \cdot 1200 \text{ kW} = 116 \cdot 10^1 \text{ kW}$

$$I_s = \frac{P_s}{U_s} = \frac{116 \cdot 10^1 \text{ kW}}{24 \text{ kV}} = 48 \text{ A}$$

$$P_{\text{therm}} = 40 \Omega \cdot (48 \text{ A})^2 = 92 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{116 \cdot 10^1 \text{ kW} - 92 \text{ kW}}{116 \cdot 10^1 \text{ kW}} = 0,92 = 92 \%$$

Antwort: Die Entwertung in der Fernleitung beträgt $1 - 0,92 = 0,08 = 8 \%$.

d) geg.: $\eta_1 = 0,970; \eta_2 = 0,960; \eta = 0,92; P_p = 1200 \text{ kW}$

ges.: $\eta_{\text{ges}}; P_{\text{ges, Entw.}}$
 Ansatz: $\eta_{\text{ges}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta$
 $\eta_{\text{ges}} = \frac{P_{\text{ges, Entw.}}}{P_p} \quad | \cdot P_p$

Rechnung: $\eta_{\text{ges}} = 0,970 \cdot 0,960 \cdot 0,92 = 0,86 = 86 \%$

$$P_{\text{ges, Entw.}} = (1 - 0,86) \cdot 1200 \text{ kW} = 17 \cdot 10^1 \text{ kW}$$

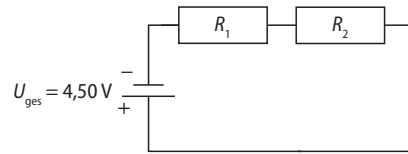
- 10 Mithilfe der Formel $P_{\text{therm}} = R \cdot I^2$ ist ersichtlich, dass sich die thermisch entwertete Leistung verringert, wenn sich entweder der elektrische Widerstand oder die Stromstärke im Leiter verringert. Ersteres lässt sich erreichen, indem der Leiterquerschnitt vergrößert wird.

Dies führt jedoch dazu, dass ebenfalls die Masse des Leiters zunimmt und entsprechend höhere Belastungen auf die tragenden Masten einwirken. Des Weiteren ist hierzu mehr Material notwendig, was den Preis für eine Hochspannungsleitung erhöht. Eine andere Möglichkeit, den elektrischen Widerstand zu verkleinern, besteht darin, ein anderes Material mit einem geringeren spezifischen Widerstand zu verwenden. Dies würde sich jedoch ebenfalls negativ auf die Kosten auswirken. Die Stromstärke lässt sich dadurch verringern, dass die Spannung vor dem Transport über eine Fernleitung hochtransformiert wird. Dies ist mit einem Transformator gut umsetzbar und hat einen weiteren Vorteil: Da die Stromstärke quadratisch in der Formel auftritt, hat eine Reduktion der Stromstärke einen viel stärkeren Effekt als eine Verringerung des Widerstands, der nur linear einfließt.

Aufgaben für Lernpartner

- A** Das ist richtig. Beide Anlagen bestehen im Wesentlichen aus den gleichen Bauteilen, der Unterschied ist: Während der Elektromotor elektrische in kinetische Energie umwandelt, wandelt der Generator kinetische in elektrische Energie um.
- B** Das ist richtig. Generatoren wandeln mechanische bzw. kinetische Energie in elektrische Energie um.
- C** Das ist falsch. Mehr Windungen auf der Primärspule bedeuten eine Reduktion der Spannung in der Sekundärspule.
- D** Das ist richtig. Die Primär- und die Sekundärspule des Transformators sind über einen gemeinsamen, geschlossenen Eisenkern rein induktiv gekoppelt, haben also keine elektrisch leitende Verbindung. Die Wechselspannung U_p führt zu einem magnetischen Wechselfeld, das – verstärkt durch den Eisenkern – auch die Sekundärspule durchdringt. Das Wechselfeld in der Sekundärspule führt dort per Induktion zu einer abgreifbaren Wechselspannung U_s .
- E** Das ist falsch. Der Wirkungsgrad eines Transformators kann beispielsweise durch einen geblättern Eisenkern verbessert werden. Dadurch entstehen kaum Wirbelströme und es wird weniger Energie entwertet. Der Eisenkern hält darüber hinaus die magnetischen Streufelder gering. Ebenfalls führt ein Kühlen der elektrischen Leiter zu einem besseren Wirkungsgrad.
- F** Das ist falsch. Die in einer Fernleitung entwertete Energie ist abhängig vom elektrischen Widerstand des Leiters und der Stromstärke. Die Größe des Widerstands hängt neben der Länge auch vom Material und Querschnittsflächeninhalt ab. Den größeren Einfluss besitzt jedoch die Stromstärke. Sie wirkt sich quadratisch auf den Wert der entwerteten Energie aus.

1 a)



b) geg.: $U_{\text{ges}} = 4,50 \text{ V}; R_1 = 100 \Omega; \textcircled{1} R_2 = 1,0 \Omega; \textcircled{2} R_2 = 10 \Omega; \textcircled{3} R_2 = 100 \Omega;$
 $\textcircled{4} R_2 = 1,0 \text{ k}\Omega; \textcircled{5} R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

ges.: $I_n; U_1; U_2$

Ansatz: $R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$

$$R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I_{\text{ges}}} \quad | \cdot I_{\text{ges}} \quad | : R_{\text{ges}}$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_{\text{ges}}} \quad | \cdot I_{\text{ges}}$$

$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 \quad | - U_2$$

Rechnung: $\textcircled{1} R_{\text{ges}} = 100 \Omega + 1,0 \Omega = 101 \Omega$

$$I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{4,50 \text{ V}}{101 \Omega} = 0,0446 \text{ A} = 44,6 \text{ mA}$$

$$U_2 = R_2 \cdot I_{\text{ges}} = 1,0 \Omega \cdot 0,0446 \text{ A} = 0,045 \text{ V}$$

$$U_1 = U_{\text{ges}} - U_2 = 4,50 \text{ V} - 0,045 \text{ V} = 4,46 \text{ V}$$

$\textcircled{2} R_{\text{ges}} = 100 \Omega + 10 \Omega = 110 \Omega$

$$I_{\text{ges}} = \frac{4,50 \text{ V}}{110 \Omega} = 0,0409 \text{ A} = 40,9 \text{ mA}$$

$$U_2 = 10 \Omega \cdot 0,0409 \text{ A} = 0,41 \text{ V}$$

$$U_1 = 4,50 \text{ V} - 0,41 \text{ V} = 4,09 \text{ V}$$

$\textcircled{3} R_{\text{ges}} = 100 \Omega + 100 \Omega = 200 \Omega$

$$I_{\text{ges}} = \frac{4,50 \text{ V}}{200 \Omega} = 0,0225 \text{ A} = 22,5 \text{ mA}$$

$$U_2 = 100 \Omega \cdot 0,0225 \text{ A} = 2,25 \text{ V}$$

$$U_1 = 4,50 \text{ V} - 2,25 \text{ V} = 2,25 \text{ V}$$

$\textcircled{4} R_{\text{ges}} = 100 \Omega + 1,0 \text{ k}\Omega = 1,1 \text{ k}\Omega$

$$I_{\text{ges}} = \frac{4,50 \text{ V}}{1,1 \text{ k}\Omega} = 0,0041 \text{ A} = 4,1 \text{ mA}$$

$$U_2 = 1,0 \text{ k}\Omega \cdot 0,0041 \text{ A} = 4,1 \text{ V}$$

$$U_1 = 4,50 \text{ V} - 4,1 \text{ V} = 0,4 \text{ V}$$

$\textcircled{5} R_{\text{ges}} = 100 \Omega + 10 \text{ k}\Omega = 10,1 \text{ k}\Omega$

$$I_{\text{ges}} = \frac{4,50 \text{ V}}{10,1 \text{ k}\Omega} = 0,000446 \text{ A} = 0,446 \text{ mA}$$

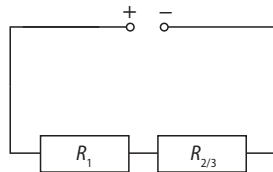
$$U_2 = 10,1 \text{ k}\Omega \cdot 0,000446 \text{ A} = 4,50 \text{ V}$$

$$U_1 = 4,50 \text{ V} - 4,50 \text{ V} = 0,00 \text{ V}$$

Hinweis: Mit gültigen Ziffern gerechnet ergibt sich hier eine Spannung von 0,00 V, was den Schluss nahe legt, dass keine Spannung am Widerstand R_1 abfällt. In Wirklichkeit dürfte natürlich trotzdem eine minimale Spannung anliegen.

Antwort: Je größer der Wert des Widerstands R_2 ist, desto größer ist auch die am Widerstand abfallende Spannung U_2 .

- 2 geg.: $R_1 = 40 \Omega; R_2 = 200 \Omega; R_3 = 300 \Omega; U_{\text{ges}} = 96 \text{ V}$
 ges.: $R_{\text{ges}}; I_{\text{ges}}; U_1; U_2; U_3; I_1; I_2; I_3$
 Ansatz: Ersatzschaltbild



$$\frac{1}{R_{2/3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_{2/3}$$

$$R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I_{\text{ges}}} \quad | \cdot I_{\text{ges}} \quad | : R_{\text{ges}}$$

$$I_{\text{ges}} = I_1 = I_{2/3}$$

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad | \cdot I_1$$

$$R_{2/3} = \frac{U_{2/3}}{I_{2/3}} \quad | \cdot I_{2/3}$$

$$U_{2/3} = U_2 = U_3$$

$$R = \frac{U}{I} \quad | \cdot I \quad | : R$$

Rechnung: $\frac{1}{R_{2/3}} = \frac{1}{200 \Omega} + \frac{1}{300 \Omega} \Rightarrow R_{2/3} = 120 \Omega$

$$R_{\text{ges}} = 40 \Omega + 120 \Omega = 160 \Omega$$

$$I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{96 \text{ V}}{160 \Omega} = 0,60 \text{ A}$$

$$I_{\text{ges}} = I_1 = I_{2/3} = 0,60 \text{ A}$$

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 40 \Omega \cdot 0,60 \text{ A} = 24 \text{ V}$$

$$U_{2/3} = R_{2/3} \cdot I_{2/3} = 120 \Omega \cdot 0,60 \text{ A} = 72 \text{ V}$$

$$U_{2/3} = U_2 = U_3 = 72 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{72 \text{ V}}{200 \Omega} = 0,36 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{72 \text{ V}}{300 \Omega} = 0,24 \text{ A}$$

- 3 a) geg.: $U_{\text{ges}} = 230 \text{ V}; P_1 = 820 \text{ W}; P_2 = 690 \text{ W}; P_3 = 1,80 \text{ kW}; P_4 = 120 \text{ W};$
 $P_5 = 150 \text{ W}; 4 \cdot P_6 = 4 \cdot 7,0 \text{ W}$

ges.: I_{ges}

Ansatz: $P_{\text{ges}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + 4 \cdot P_6$

$$P_{\text{ges}} = U_{\text{ges}} \cdot I_{\text{ges}} \quad | : U_{\text{ges}}$$

Rechnung: $P_{\text{ges}} = 820 \text{ W} + 690 \text{ W} + 1,80 \text{ kW} + 120 \text{ W} + 150 \text{ W} + 4 \cdot 7,0 \text{ W} = 3,60 \text{ kW}$

$$I_{\text{ges}} = \frac{P_{\text{ges}}}{U_{\text{ges}}} = \frac{3,60 \text{ kW}}{230 \text{ V}} = 15,7 \text{ A}$$

Antwort: Aktuell reicht die 16-A-Sicherung aus, da nur ein Strom von 15,7 A fließt.

Neue Leistung mit einem zusätzlichen 300-W-Gerät:

$$P_{\text{ges}} = 3,60 \text{ kW} + 300 \text{ W} = 3,90 \text{ kW}$$

$$I_{\text{ges}} = \frac{P_{\text{ges}}}{U_{\text{ges}}} = \frac{3,90 \text{ kW}}{230 \text{ V}} = 17,0 \text{ A}$$

Antwort: In diesem Fall löst die Sicherung aus, da der Strom 16 A deutlich übersteigt. Lisa kann das Gerät also nicht mehr anschließen.

b) geg.: $U_{\text{ges}} = 230 \text{ V}; P_1 = 820 \text{ W}; P_2 = 690 \text{ W}; P_3 = 1,80 \text{ kW}; P_4 = 120 \text{ W};$
 $P_5 = 150 \text{ W}; P_6 = 7,0 \text{ W}$

ges.: $R_1; R_2; R_3; R_4; R_5; R_6$

Ansatz: $P_n = U_{\text{ges}} \cdot I_n \quad | : U_{\text{ges}} \text{ (Parallelschaltung)}$

$$I_n = \frac{P_n}{U_{\text{ges}}}$$

$$R_n = \frac{U_{\text{ges}}}{I_n}$$

Rechnung: $I_1 = \frac{820 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 3,57 \text{ A} \quad R_1 = \frac{230 \text{ V}}{3,57 \text{ A}} = 64,4 \Omega$

$$I_2 = \frac{690 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 3,00 \text{ A} \quad R_2 = \frac{230 \text{ V}}{3,00 \text{ A}} = 76,7 \Omega$$

$$I_3 = \frac{1,80 \text{ kW}}{230 \text{ V}} = 7,83 \text{ A} \quad R_3 = \frac{230 \text{ V}}{7,83 \text{ A}} = 29,4 \Omega$$

$$I_4 = \frac{120 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,522 \text{ A} \quad R_4 = \frac{230 \text{ V}}{0,522 \text{ A}} = 441 \Omega$$

$$I_5 = \frac{150 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,652 \text{ A} \quad R_5 = \frac{230 \text{ V}}{0,652 \text{ A}} = 353 \Omega$$

$$I_6 = \frac{7,0 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,030 \text{ A} \quad R_6 = \frac{230 \text{ V}}{0,030 \text{ A}} = 7,7 \text{ k}\Omega$$

4 geg.: $U = 230 \text{ V}; P = 8,0 \text{ kW}$

ges.: I

Ansatz: $P = U \cdot I \quad | : U$

Rechnung: $I = \frac{P}{U} = \frac{8,0 \cdot 10^3 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 35 \text{ A}$

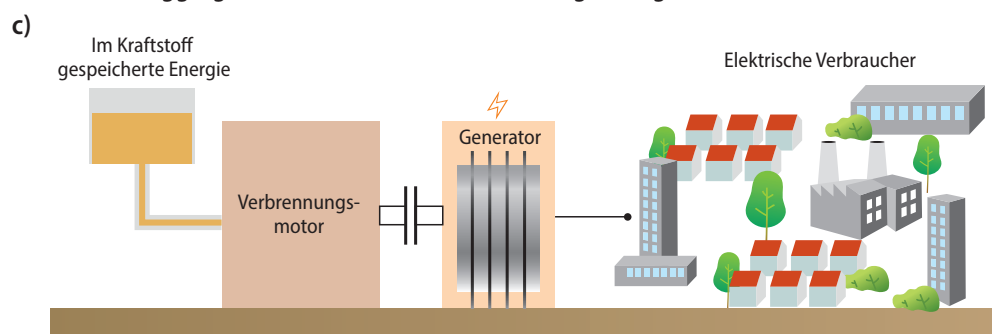
Antwort: Die elektrische Leistung des Herds ist im Vergleich zu den Leistungen anderer elektrischer Geräte im Haushalt sehr hoch. Daraus folgt, dass für den Betrieb eine hohe Stromstärke von Nöten ist. Diese ist jedoch nicht mit den anderen Geräten kompatibel und stellt darüber hinaus eine große Gefahr für die Nutzer dar. Des Weiteren stellt ein Herd auf Grund seiner Funktionen ein erhöhtes Sicherheitsrisiko dar, was eine separate Absicherung notwendig macht.

5 Schallwellen versetzen die an der Membran befestigte Spule in Schwingung. Durch die Bewegung der Spule relativ zum Magneten ändert sich das die Spule durchsetzende Magnetfeld. In der Spule wird folglich eine Spannung induziert. Im geschlossenen Stromkreis fließt ein Induktionsstrom. Dessen Stärke ist abhängig von der Schwingung der Membran. So können die Schallwellen in elektrische Signale umgewandelt werden.

6 a) Eine Spannung wird nur dann induziert, wenn sich das Magnetfeld, welches die Spule durchsetzt, ändert. Entsprechend müsste Rinor entweder die Spule oder den Magneten bewegen, um eine Spannung zu messen.

b) Der Messwert ist umso höher, je schneller sich das Magnetfeld ändert. Rinor müsste also den Magneten (oder auch die Spule) möglichst schnell bewegen.

- 7 a) Es fließt Wechselstrom durch die Spule, dessen magnetisches Wechselfeld die Spule, den Weichenkern und den elektrisch leitenden Pfannenboden durchsetzt. Somit entstehen durch Induktion Wirbelströme im Pfannenboden. Der massive Pfannenboden und damit auch das Spiegelei darin werden erhitzt. Auf der Glaskeramik des Kochfeldes können keine Wirbelströme auftreten, da das Material kein elektrischer Leiter ist. Das Ei außerhalb der Pfanne wird nicht gebraten.
- b) Lösungsmöglichkeiten:
- Die Energieumwandlung im Pfannenboden wird beim Abschalten sofort unterbrochen, sodass die Wärmezufuhr beim Kochen gut dosierbar ist.
 - Der Wirkungsgrad ist höher als bei einem herkömmlichen Elektroherd.
 - Die Herdfläche wird nur (aufgrund der Wärmeübertragung des Kochgeschirrs) unterhalb des Pfannenbodens heiß.
- 8 a) Bei der Bewegung der Aluminiumscheibe in das Magnetfeld hinein oder aus dem Magnetfeld heraus entstehen durch die Magnetfeldänderung und die daraus resultierende Induktion Wirbelströme in der Scheibe. Die Wirbelströme bewirken wiederum Magnetfelder, die nach der Lenz'schen Regel der Ursache der Induktion entgegenwirken. Somit entsteht eine bewegungshemmende Kraftwirkung auf den Teil der Scheibe, der sich in das Magnetfeld hinein- bzw. herausbewegt.
- b) Verstärkung der Bremswirkung z. B. durch:
- stärkere Magnete
 - schnelleres Treten
 - geringerer Abstand zwischen Platte und Magnet
- c) Beim Heimtrainer will man je nach Anspruch einen Widerstand beim Treten nutzen. Dies wird durch Wirbelströme ermöglicht und ist mit Energieentwertung verbunden. Der Transformator dagegen überträgt elektrische Energie von einem Stromkreis in einen anderen. Dabei soll so wenig Energie wie möglich entwertet werden.
- 9 a) $E_{\text{chem}} \rightarrow E_{\text{el}} + E_{\text{i}}$
- b) Stationäre Notstromaggregate werden in Institutionen eingesetzt, in welchen elektrische Geräte auf Grund von fehlendem Strom nicht ausfallen dürfen, beispielsweise in Krankenhäusern. Ihr Vorteil ist, dass sie im Moment eines Stromausfalls unmittelbar eingesetzt werden können. Da sie aber fest eingebaut sind, können sie nicht woanders eingesetzt werden.
- Mobile Notstromaggregate können überall eingesetzt werden, insbesondere da, wo normalerweise kein elektrischer Strom zur Verfügung steht oder wo der Strom ausgefallen ist, jedoch kein stationäres Notstromaggregat vorhanden ist. Eingesetzt werden sie beispielsweise von der Feuerwehr oder dem Technischen Hilfswerk. Ihr Nachteil ist, dass die Aggregate nur eine bestimmte Leistung ermöglichen.



d) Ein Verbrennungsmotor wandelt die im Treibstoff gespeicherte chemische Energie in mechanische Energie um. Diese wandelt wiederum ein Generator in elektrische Energie um, welche im Anschluss genutzt werden kann.

10 a) geg.: $U_p = 230 \text{ V}; I_p = 0,013 \text{ A}; U_s = 3,5 \text{ V}; I_s = 760 \text{ mA}$

ges.: η

Ansatz: $P_p = U_p \cdot I_p; P_s = U_s \cdot I_s; \eta = \frac{P_s}{P_p}$

Rechnung: $\eta = \frac{U_s \cdot I_s}{U_p \cdot I_p} = \frac{3,5 \text{ V} \cdot 0,760 \text{ A}}{230 \text{ V} \cdot 0,013 \text{ A}} = 0,89 = 89 \%$

b) Hierzu muss die Anzahl der Windungen der Primärspule mit der Anzahl der Windungen der Sekundärspule getauscht werden bzw. müssen Primär- und Sekundärspule vertauscht werden.

c) Beim Transport von elektrischer Energie wird ein Teil der Energie durch Wärme entwertet. Dies hängt vom elektrischen Widerstand des Leiters sowie von der Stromstärke ab. Es gilt $W_{\text{therm}} = R \cdot I^2$. Der Wert der entwerteten Energie steigt dabei quadratisch mit steigender Stromstärke. Um die Stromstärke möglichst gering und damit den Wirkungsgrad der Energieübertragung möglichst hoch zu halten, muss die Spannung hochtransformiert werden. Durch die sehr hohe Spannung erhält man dadurch bei gleicher Leistung $P = U \cdot I$ eine sehr geringe Stromstärke.

11 Schaltet man zur Zimmerbeleuchtung ein elektrisches Gerät mit großer Leistung hinzu, so fließt in den Zuleitungen ein größerer Strom als vor dem Zuschalten. Das ergibt sich aus der Formel $P = U \cdot I$. Der Spannungsabfall an den Zuleitungen ist deshalb größer ($U = R \cdot I$). An den Glühlampen der Zimmerbeleuchtung liegt dagegen eine geringere Spannung an, die eine verminderte Helligkeit zur Folge hat.

Der Widerstand des zugeschalteten Geräts steigt nach dem Einschalten sehr rasch auf seinen Höchstwert. Als Folge werden Stromstärke und Spannungsabfall in den Zuleitungen wieder geringer und die an den Lampen der Zimmerbeleuchtung anliegende Spannung wieder größer. Die Glühlampen leuchten jetzt wieder heller (jedoch nicht ganz so hell wie vor dem Zuschalten des Geräts).

12 a) geg.: $U_0 = 9,0 \text{ V}; R_a = 17 \Omega; I = 0,47 \text{ A}$

ges.: U_{KI}, R_i

Ansatz: $R_a = \frac{U_{\text{KI}}}{I} \quad | \cdot I$

$U_{\text{KI}} = U_0 - R_i \cdot I \quad | + R_i \cdot I - U_{\text{KI}} \quad | : I$

Rechnung: $U_{\text{KI}} = R_a \cdot I = 17 \Omega \cdot 0,47 \text{ A} = 8,0 \text{ V}$

$R_i = \frac{U_0 - U_{\text{KI}}}{I} = \frac{9,0 \text{ V} - 8,0 \text{ V}}{0,47 \text{ A}} = \frac{1,0 \text{ V}}{0,47 \text{ A}} = 2,1 \Omega$

b) geg.: $U_0 = 9,0 \text{ V}; R_i = 2,1 \Omega$

ges.: I_k

Ansatz: $R_i = \frac{U_0}{I_k} \quad | \cdot I_k \quad | : R_i$

Rechnung: $I_k = \frac{U_0}{R_i} = \frac{9,0 \text{ V}}{2,1 \Omega} = 4,3 \text{ A}$

c) geg.: $R_1 = 17 \Omega; R_2 = 36 \Omega; I = 0,47 \text{ A}$
 ges.: U_{Kl}
 Ansatz: $\frac{1}{R_a} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
 $R_a = \frac{U_{\text{Kl}}}{I} \quad | \cdot I$
 Rechnung: $\frac{1}{R_a} = \frac{1}{17 \Omega} + \frac{1}{36 \Omega} \Rightarrow R_a = 12 \Omega$
 $U_{\text{Kl}} = R_a \cdot I = 12 \Omega \cdot 0,47 \text{ A} = 5,6 \text{ V}$

- 13 a) Anmerkung: Energiewandler (Ew) und Messgerät sind in Reihe geschaltet. Da noch keine Messbereichserweiterung stattfindet, entspricht der Innenwiderstand dem Gesamtwiderstand des Messgeräts.

geg.: $R_{\text{Ew}} = 640 \Omega; U_{\text{ges}} = 1,0 \text{ V}; R_{\text{M}} = 60 \Omega$
 ges.: I_{ges}
 Ansatz: $R_{\text{ges}} = R_{\text{Ew}} + R_{\text{M}}$
 $R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I_{\text{ges}}} \quad | \cdot I_{\text{ges}} \quad | : R_{\text{ges}}$
 Rechnung: $R_{\text{ges}} = 640 \Omega + 60 \Omega = 700 \Omega$
 $I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{1,0 \text{ V}}{700 \Omega} = 1,4 \text{ mA}$

- b) Anmerkung: Durch die Messbereichserweiterung wird parallel zum Innenwiderstand R_i des Messgeräts ein Nebenwiderstand R_N geschaltet. Der Gesamtwiderstand des Messgeräts wird nun als R_{neu} bezeichnet.

geg.: $R_{\text{M}} = 60 \Omega; U_{\text{ges}} = 10 \text{ V}; I_{\text{M}} = 2,00 \text{ mA}; I_{\text{neu}} = 20,0 \text{ mA}; R_{\text{Ew}} = 640 \Omega$
 ges.: $R_N; I_{\text{ges}}$
 Ansatz: $I_{\text{neu}} = I_{\text{M}} + I_{\text{N}} \quad | - I_{\text{M}}$
 $U_{\text{N}} = U_{\text{M}} \text{ bzw. mit } U = R \cdot I$
 $R_{\text{N}} \cdot I_{\text{N}} = R_{\text{M}} \cdot I_{\text{M}} \quad | \cdot I_{\text{N}}$
 $\frac{1}{R_{\text{neu}}} = \frac{1}{R_{\text{M}}} + \frac{1}{R_{\text{N}}}$
 $R_{\text{ges}} = R_{\text{Ew}} + R_{\text{neu}}$
 $R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I_{\text{ges}}} \quad | \cdot I_{\text{ges}} \quad | : R_{\text{ges}}$

Rechnung: $I_{\text{N}} = I_{\text{neu}} - I_{\text{M}} = 18,0 \text{ mA}$
 $R_{\text{N}} = \frac{R_{\text{M}} \cdot I_{\text{M}}}{I_{\text{N}}} = \frac{60 \Omega \cdot 2,00 \text{ mA}}{18,0 \text{ mA}} = 6,7 \Omega$
 $\frac{1}{R_{\text{neu}}} = \frac{1}{60 \Omega} + \frac{1}{6,7 \Omega} \Rightarrow R_{\text{neu}} = 6,0 \Omega$
 $R_{\text{ges}} = 640 \Omega + 6,0 \Omega = 646 \Omega$
 $I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{10,0 \text{ V}}{646 \Omega} = 15,5 \text{ mA}$

- 14 Lösungsmöglichkeiten:

- a) Der Stromkreis der Spule wird geschlossen und mit einem Spannungsmessgerät verbunden. Anschließend nähert man einen Stabmagneten an die Spule an. Das Messgerät zeigt einen Ausschlag an.
- b) Ein Ring aus Aluminium wird an einem Stativ aufgehängt. Nun nähert man sich mit einem Stabmagneten an die Öffnung des Rings an. Der Ring wird abgestoßen.
- c) Eine Spule auf einem geschlossenen Eisenkern wird über eine Sicherheitssteckdose an die Netzspannung angeschlossen. Zunächst wird ein massiver Eisenkern verwendet, im Anschluss ein geblätterter Eisenkern. Beim massiven Eisenkern ist eine deutliche Erwärmung zu spüren.

- 15 a) geg.: $U = 525 \text{ kV}; P = 1,40 \text{ GW}; R = 9,95 \Omega$
 ges.: Energieentwertung $1 - \eta$ in %
 Ansatz: $P = U \cdot I \quad | : U$

$$P_{\text{therm}} = R \cdot I^2$$

$$1 - \eta = \frac{P_{\text{therm}}}{P}$$
 Rechnung: $I = \frac{P}{U} = \frac{1,40 \cdot 10^9 \text{ W}}{525 \cdot 10^3 \text{ V}} = 2,67 \text{ kA}$

$$P_{\text{therm}} = 9,95 \Omega \cdot (2,67 \cdot 10^3 \text{ A})^2 = 70,9 \text{ MW}$$

$$1 - \eta = \frac{70,9 \text{ MW}}{1,40 \text{ GW}} = \frac{70,9 \cdot 10^6 \text{ W}}{1,40 \cdot 10^9 \text{ W}} = 5,06 \%$$
- b) geg.: $\eta_{K1} = \eta_{K2} = 0,99; \eta_{\text{Leitung}} = 100,00 \% - 5,06 \%$
 ges.: η_{ges}
 Ansatz: $\eta_{\text{ges}} = \eta_{K1} \cdot \eta_{K2} \cdot \eta_{\text{Leitung}}$
 Rechnung: $\eta_{\text{ges}} = 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,9494 = 0,93$
- c) Lösungsmöglichkeiten:
- Entstehung von Wirbelströmen in den Weicheisenkernen
 - Erwärmung der Leiter
 - magnetische Streufelder

Einstieg

- Der Radioaktivität kann man nie ganz entkommen, da sie überall um uns auftritt. Die Strahlungsquellen, denen der Mensch ausgesetzt ist, teilt man in natürliche und künstliche Strahlungsquellen ein (vgl. Abb. 9 im Schulbuch).
- Die Lösung entspricht der Lösung von Aufgabe 1.

Aufgaben

- 1 Radioaktive Strahlung ...
 - kann Filmmaterialien schwärzen, beispielsweise in einer Autoradiografie.
 - besitzt eine ionisierende Wirkung in Gasen und verbessert somit deren Leitfähigkeit (z. B. Entladung eines Kondensators, Ionisationskammer, Geiger-Müller-Zählrohr).
 - erzeugt Szintillationen in geeigneten Materialien (z. B. Spintariskop, Szintillationszähler).

Die Fluoreszenzwirkung in Urangläsern ist nicht typisch nur für radioaktive Elemente, denn Fluoreszenz tritt auch bei nicht radioaktiven Mineralien auf. Sie ist deshalb zum Nachweis nicht geeignet.
- 2 Die kosmische Höhenstrahlung kommt primär aus dem Weltall, zum Teil von der Sonne, zum Teil von anderen Sternsystemen oder Galaxien. Als tatsächliche Ursache der Primärstrahlung wird angenommen, dass sie unter anderem von Supernovaexplosionen (Tod eines Sterns) stammt. Sie führt in der Atmosphäre zu Kernreaktionen, welche die sekundäre Höhenstrahlung hervorrufen. Primäre und sekundäre Höhenstrahlung sind von vielfältiger Zusammensetzung und teilweise von sehr hoher Strahlungsintensität. Die Höhenstrahlung wird von der Sonnenaktivität beeinflusst und ist abhängig von der Höhenlage über dem Meeresspiegel und der geografischen Breite auf der Erde, da sie vom Erdmagnetfeld teilweise abgeschirmt wird. Die kosmische Primärstrahlung besteht zum überwiegenden Teil aus Protonen (ca. 93 %) und aus Alphateilchen, also Heliumkernen (ca. 6,3 %). Aber auch noch schwerere Kerne und vor allem die γ -Strahlung dringen in die Erdatmosphäre ein, wodurch letztlich Protonen, Neutronen, Elektronen und Strahlung aus weiteren Elementarteilchen entstehen. So werden in der Atmosphäre die beiden wichtigen Radionuklide Kohlenstoff C-14 und Tritium H-3 erzeugt. Beide sind Betastrahler.
- 3 Die Fluoreszenz durch UV-Strahlung soll als Sicherheitsmerkmal dienen und das Fälschen der Geldnoten erschweren. In den Geldscheinen sind Pigmente verarbeitet, die durch die UV-Bestrahlung mittels einer UV-Lampe angeregt werden. Die Energie geben die angeregten Moleküle wieder ab, wenn deren Elektronen wieder in den Grundzustand zurückfallen. Dabei wird Licht emittiert. Sobald die UV-Lampe ausgeschaltet wird, erlischt die Fluoreszenz.
- 4 a) Uranvorkommen oder erhöhte Urangehalte in Bayern: Spessart, Frankenwald, Münchberger Masse, Fichtelgebirge und Steinwald, Oberpfälzer Wald, Regensburger Wald und Bayerischer Wald.
 b) Uranmaterialien, die aufgrund ihres Urananteils von großer Bedeutung sind, sind u. a.:
 - Brannerit und Uraninit (Oxide)
 - Torbernit, Heinrichit und Carnotit (Phosphate, Arsenate und Vanadate)
 - Coffinit und Uranophan (Silikate)

Zudem: Granite, Gneise und Glimmerschiefer kommen im kristallinen Grundgebirge vor. Sandsteine, Pechkohle, Braunkohle und Schwarzschiefererze dagegen im Deckgebirge.

- 5 Über ein dünnes Fenster (Glimmer oder Folie) tritt radioaktive Strahlung in ein elektrisch negativ geladenes Rohrstück mit einem positiv geladenen Draht und einem Edelgasgemisch bei Unterdruck ein. Die angelegte Spannung von ca. 500 V erzeugt ein starkes zylindersymmetrisches elektrisches Feld, das am positiv geladenen Draht am größten ist. Die radioaktive Strahlung ionisiert Gasmoleküle. Diese werden zum positiv geladenen Draht hin beschleunigt, dabei bilden sich erneut Elektronen-Ionen-Paare. Es entsteht eine Elektronenlawine. Die entstandenen Ladungen werden also vom Draht „abgesaugt“. Kurzzeitig fließt ein Strom, der Widerstand des Zählrohrs wird klein und die hohe Spannung liegt zum größten Teil am Widerstand R und nicht am Zählrohr an. Der Spannungsaufbau an R durch Stoßionisation wird kurzzeitig unterbrochen, da am Draht durch die Entladung keine Spannung mehr anliegt, der Strom kommt zum Erliegen. Nach einer Totzeit von $10^{-5} - 10^{-4}$ s, die vom Gasgemisch abhängt, liegt die Spannung wieder am Zählrohr an und der Vorgang beginnt von Neuem. Die Stromstöße werden am Widerstand R gemessen und durch ein Knacken im Lautsprecher hörbar gemacht.

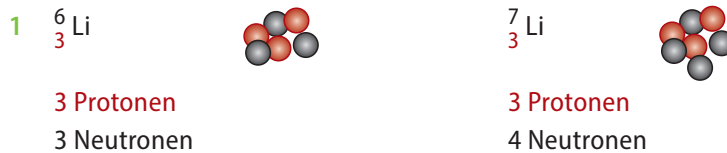
Geschichte

- Für ihre Entdeckung der natürlichen Radioaktivität erhielten Becquerel und das Ehepaar Curie 1903 den Physik-Nobelpreis. Für die Entdeckung von Radium und Polonium erhielt Marie Curie 1911 außerdem den Chemie-Nobelpreis. Sie war nicht nur der erste Mensch, der zwei Nobelpreise erhielt, sie war auch die erste Frau. Des Weiteren erhielt der erwähnte Physiker Wilhelm Conrad Röntgen den ersten Nobelpreis der Physik für seine Entdeckung der Röntgenstrahlen.

Einstieg

- Lösungsmöglichkeit:
Kern-Hülle-Modell: Atome bestehen aus einem positiv geladenen Atomkern und einer negativ geladenen Atomhülle. Der Atomkern enthält fast die gesamte Masse des Atoms, während die Atomhülle nahezu masselos ist. Der Atomkern enthält positiv geladene Protonen und ungeladene Neutronen. Zusammen nennt man sie Nukleonen. Die Atomhülle enthält negativ geladene Elektronen.

Aufgaben



Isotope: Atome desselben Elementes haben stets dieselbe Anzahl von Protonen. Sie können aber verschieden viele Neutronen besitzen. Ihre Nukleonenzahlen sind dann unterschiedlich.

- 2 Es befinden sich ca. acht Atome auf $2\text{ nm} = 2 \cdot 10^{-9}\text{ m}$. Das bedeutet, dass der Atomdurchmesser maximal $2,5 \cdot 10^{-10}\text{ m}$ sein kann. Er liegt wegen der Abstände zwischen den Atomen unter diesem Wert.
- 3 Kaliumisotop mit 20 Neutronen: ${}^{39}_{19}\text{K}$
Kaliumisotop mit 21 Neutronen: ${}^{40}_{19}\text{K}$
- 4 Diese Zahlenwerte werden auch relative Massenzahlen genannt. Sie ergeben sich aus dem Mittelwert aller Isotope des Elements. Bei der Berechnung des Mittelwerts wird die prozentuale Häufigkeit eines Isotops relativ zu der Anzahl aller Isotope des Elements mitberücksichtigt. Aus diesem Grund sind die relativen Massenzahlen häufig keine ganzen Zahlen (siehe beispielsweise Aufgabe 5).
- 5 Lösungsmöglichkeit:
Es gibt zwei stabile Isotope von Lithium:
 ${}^6_3\text{Li}$ mit einer prozentualen Häufigkeit von 7,5 % und
 ${}^7_3\text{Li}$ mit einer prozentualen Häufigkeit von 92,5 %
Damit ergibt sich eine Massenzahl für die mittlere Atommasse von
 $0,075 \cdot 6,0 + 0,925 \cdot 7,0 = 6,9$
- 6 a) Für die mittlere Atommasse der drei Uranisotope ergibt sich eine Massenzahl A von:
 $A = 0,006\% \cdot 234 + 0,720\% \cdot 235 + 99,274\% \cdot 238$
 $A = 0,00006 \cdot 234 + 0,00720 \cdot 235 + 0,99274\% \cdot 238 = 237,98$
Der Literaturwert liegt bei 238,03.
- b) In einem Kernkraftwerk wird das Uranisotop U-235 benötigt, da es durch Beschuss mit Neutronen besonders leicht spaltbar ist. Da natürlich vorkommendes Uran hauptsächlich aus U-238 besteht, muss der relative Gehalt von U-235 (natürlich 0,720 %, siehe a) auf mindestens 3 %, in der Praxis eher 5 %, erhöht werden. Bei diesem Prozess spricht man von Urananreicherung.

- 7 Ein Proton besteht aus zwei Up-Quarks ($+\frac{2}{3}e$) und einem Down-Quark ($-\frac{1}{3}e$).
 Das ergibt für die Gesamtladung eines Protons: $Q_{\text{Proton}} = 2 \cdot (+\frac{2}{3}e) + 1 \cdot (-\frac{1}{3}e) = +1e$.
 Ein Neutron besteht aus einem Up-Quark ($+\frac{2}{3}e$) und zwei Down-Quarks ($-\frac{1}{3}e$).
 Das ergibt für die Gesamtladung eines Neutrons: $Q_{\text{Neutron}} = 1 \cdot (+\frac{2}{3}e) + 2 \cdot (-\frac{1}{3}e) = 0e = 0$.

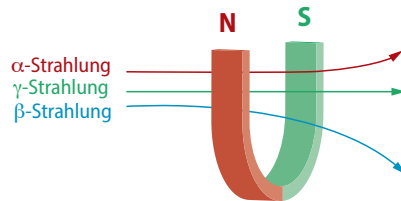
Forschung

- Lösungsmöglichkeiten:
1983: Entdeckung der W- und Z-Bosonen: Diese beiden Teilchen sind die Vermittler der elektroschwachen Wechselwirkung. Diese elektroschwache Wechselwirkung ist verantwortlich für Kernfusionsprozesse (zum Beispiel die Fusion von Wasserstoff zu Helium im Inneren unserer Sonne) und auch für den natürlichen radioaktiven Zerfall.
1999: Entstehung eines Quark-Gluon-Plasmas bei extrem hohen Temperaturen: Gluonen (Gluon bedeutet so viel wie Kleber) sind verantwortlich für die stärkste Kraft, welche die Bindung der Quarks innerhalb des Protons oder des Neutrons und damit die Stabilität der Atome bewirkt. Die Reichweite ist auf den Atomkern beschränkt.
2012: Entdeckung des Higgs-Teilchens mit einer Masse von 125 GeV: Die Entdeckung und Messung des Higgs-Teilchens als fundamentaler Baustein der Materie trägt zum Verständnis des Ursprungs der Masse bei.
- geg.: $m = 1,24776 \cdot 10^{-23} \text{ kg}; E_{\text{kin}} = 3,499 \text{ TeV}; 1 \text{ eV} = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 ges.: v
 Ansatz: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}m \cdot v^2 \quad | \cdot 2 \quad | : m \quad | \sqrt{\quad}$
 Rechnung: $v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{kin}}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,499 \text{ TeV}}{1,24776 \cdot 10^{-23} \text{ kg}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,499 \cdot 10^{12} \text{ eV}}{1,24776 \cdot 10^{-23} \text{ kg}}}$
 $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,499 \cdot 10^{12} \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1,24776 \cdot 10^{-23} \text{ kg}}} = 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx c$
 Die Geschwindigkeit der Teilchen ist im Rahmen der Messgenauigkeit so groß wie die Lichtgeschwindigkeit. In der Realität wird sie also sehr knapp unter der Lichtgeschwindigkeit liegen.

Einstieg

Aufgaben

- Die Medaille zeigt die drei verschiedenen Strahlungsarten: α -, β - und γ -Strahlung.
- 1 Die Stärke der Ablenkung von α - und β -Strahlung ist falsch dargestellt. In einem Magnetfeld wird normalerweise die α -Strahlung weniger stark abgelenkt als die β -Strahlung.
 - 2 Es gibt α -Strahlung, β -Strahlung und γ -Strahlung.
 - Nachweis durch Abschirmung durch unterschiedliche Materialien (Abb. 3 a):
 - α -Strahlung wird durch normales Papier vollständig abgeschirmt (Hinweis: Dünnes Seidenpapier lässt einen Teil der α -Strahlung durch).
 - β -Strahlung wird durch ca. 2 mm dickes Aluminium vollständig abgeschirmt.
 - γ -Strahlung wird auch durch Bleiplatten nur geschwächt.
 - Nachweis durch Ablenkung bzw. Nicht-Ablenkung im Magnetfeld (Abb. 3 b):
 - γ -Strahlung wird nicht abgelenkt.
 - α -Strahlung wird weniger stark und entgegengesetzt wie β -Strahlung abgelenkt.
 - Zuordnung der Strahlungsarten zu den farbigen Pfeilen:



- 3 Lösungsmöglichkeit:
Die Reichweite der verschiedenen Strahlungsarten kann getrennt voneinander untersucht werden, indem sie zu Beginn mithilfe eines starken Magnetfeldes getrennt werden. Im Anschluss wird die Strahlung durch verschiedene zu untersuchende Stoffe geleitet und anschließend die Strahlungsintensität mit einem Geiger-Müller-Zählrohr in unterschiedlichen Abständen gemessen. Sobald die Intensität annähernd verschwindet, ist die maximale Reichweite in diesem bestimmten Stoff erreicht.
Die Ergebnisse sollten denen in Tab. 1 entsprechen.

Einstieg

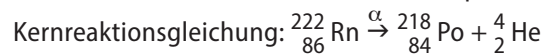
- Die Atomkerne im radioaktiven Müll senden so lange gefährliche Strahlung aus, bis stabile Atomkerne entstanden sind. Dieser Vorgang kann allerdings je nach Halbwertszeit der enthaltenen Nuklide sehr lange dauern.

Aufgaben

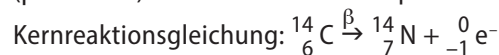
- 1 α -Zerfall: Ein Element X wandelt sich in ein Element Y um. Dabei wird ein α -Teilchen (Heliumatomkern ${}^4_2\text{He}$) ausgesandt. Die Ordnungszahl erniedrigt sich um zwei (zwei Protonen weniger). Die Nukleonenzahl erniedrigt sich um vier (zwei Protonen und zwei Neutronen weniger).

β -Zerfall: Ein Element X wandelt sich in ein Element Y um. Dazu zerfällt im Kern ein Neutron in ein Proton und ein Elektron. Das Proton bleibt im Atomkern, während das Elektron aus dem Kern ausgesendet wird. Die Ordnungszahl erhöht sich um eins (ein Proton mehr). Die Nukleonenzahl bleibt gleich (ein Neutron hat sich in ein Proton umgewandelt).

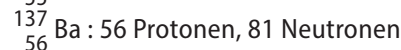
- 2 a) Beim α -Zerfall von Radon Rn-222 zerfällt das Radonisotop Rn-222 in das Heliumisotop He-4 (α -Teilchen) und ein Poloniumisotop Po-218.



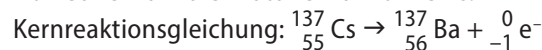
- b) Beim β -Zerfall von Kohlenstoff C-14 zerfällt das Kohlenstoffisotop C-14 in ein Elektron (β -Teilchen) und ein Stickstoffisotop N-14.



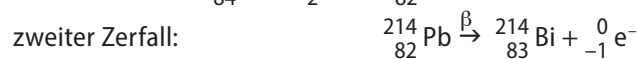
- 3 Cäsium Cs-137 wandelt sich durch einen β -Zerfall in Barium Ba-137 um und sendet ein Elektron aus.



Ein Neutron ist in ein Proton und ein Elektron zerfallen. Dadurch erhöht sich bei gleicher Nukleonenzahl die Protonenzahl um eins.



- 4 erster Zerfall: ${}^{218}_{84}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^4_2\text{He} + {}^{214}_{82}\text{Pb}$



- 5 a) Ausgangsisotop: Radium Ra-226, ${}^{226}_{88}\text{Ra}$: 88 Protonen, 138 Neutronen

Zerfallsprodukt: Radon Rn-222, ${}^{222}_{86}\text{Rn}$: 86 Protonen, 136 Neutronen

- b) Ausgangsisotop: Kohlenstoff C-14, ${}^{14}_6\text{C}$: 6 Protonen, 8 Neutronen

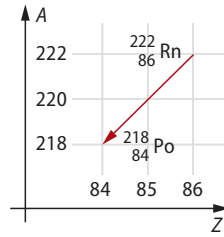
Zerfallsprodukt: Stickstoff N-14, ${}^{14}_7\text{N}$: 7 Protonen, 7 Neutronen

Erklärung:

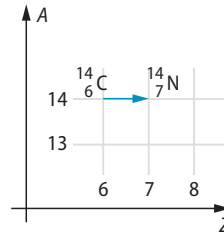
Im Z-A-Diagramm wird nach rechts (Z-Achse) die Protonen- bzw. Kernladungszahl aufgetragen, nach oben (A-Achse) die Nukleonenzahl. Der nach links unten gerichtete Pfeil bei a) veranschaulicht einen α -Zerfall, bei dem die Nukleonenzahl um vier und die Protonenzahl um zwei abnehmen. Der waagrechte, nach rechts gerichtete Pfeil bei b) veranschaulicht einen β -Zerfall, bei dem die Nukleonenzahl gleich bleibt und die Protonenzahl um eins zunimmt.

3.4 Radioaktiver Zerfall

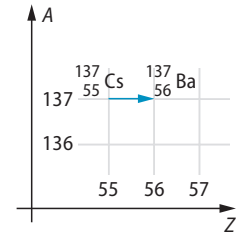
6 α -Zerfall von Radon Rn-222 (Aufgabe 2 a)



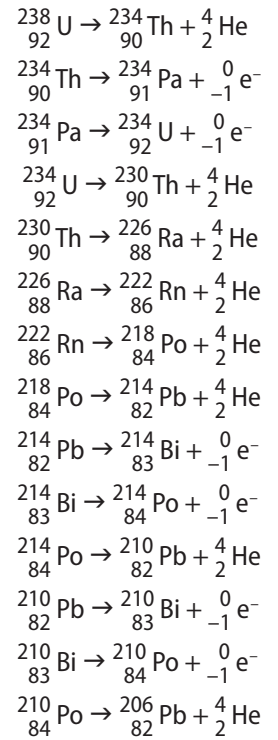
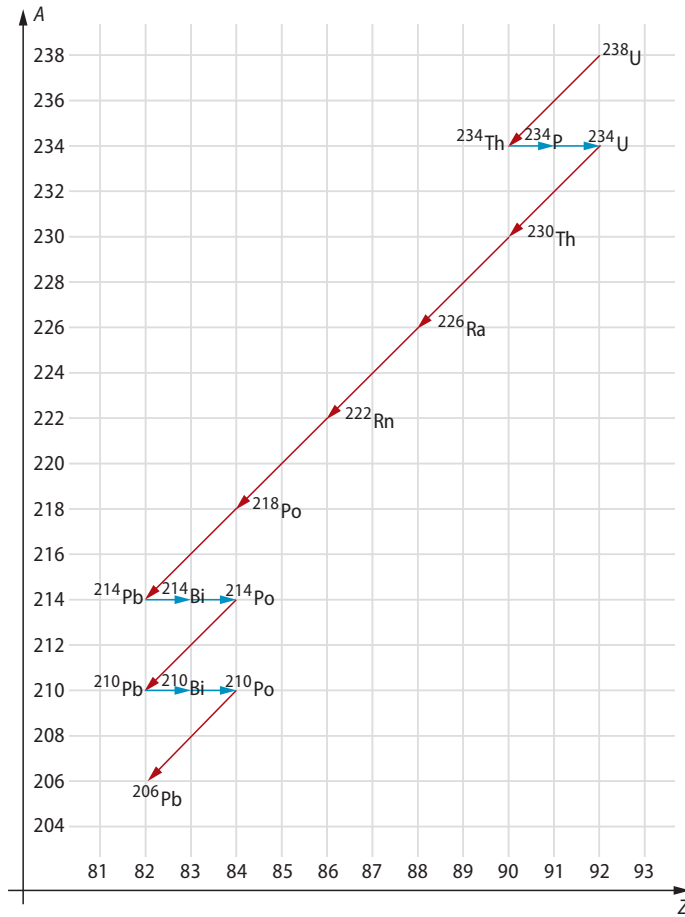
β -Zerfall von Kohlenstoff C-14 (Aufgabe 2 b)



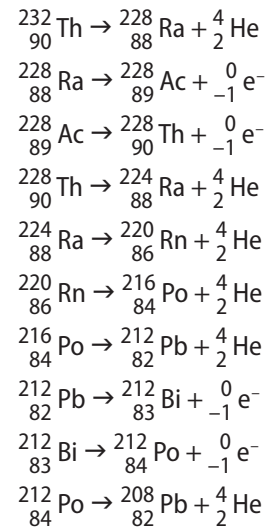
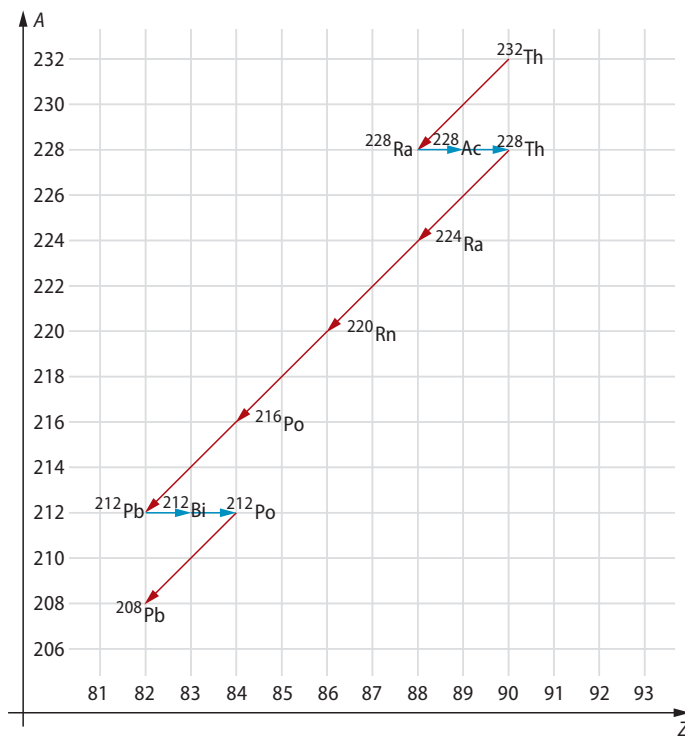
β -Zerfall von Cäsium Cs-137 (Aufgabe 3)



7 a) Uran-238-Reihe



b) Thorium-232-Reihe



- 8 a) Das Löschpapier zeigt eine erhöhte Radioaktivität. Über Nacht wurden aus der Raumluft die Zerfallsprodukte von Radon gesammelt (siehe U-238-Reihe).
- b) Lösungsmöglichkeit:
- Die Ladung der Philion-Platte ist höher (Spannung ca. $-20\,000\text{ V}$).
 - Die Ladung des Drahtes ist geringer (Spannung ca. -5000 V).
 - Die Fläche der Philion-Platte zum Sammeln der Zerfallsprodukte ist größer als die Fläche des Drahtes.
 - Es wird direkt an der Philion-Platte gemessen und nicht an einem Löschpapier.
- Es können also insgesamt die Zerfallsprodukte bei der Philion-Platte effizienter eingesammelt werden, was die Zeit, die man für die Versuchsdurchführung benötigt, deutlich verkürzt.

Einstieg

- Es wurde die (Radio-)Aktivität der Lebensmittel untersucht. In Bezug auf Lebensmittel handelt es sich dabei um die spezifische Aktivität mit der Einheit $\frac{\text{Bq}}{\text{kg}}$.
- Die Aktivität gibt an, wie viele radioaktive Zerfälle in einer bestimmten Zeit in den Lebensmitteln stattfinden. Werden Grenzwerte in bestimmten Lebensmitteln überschritten, so dürfen diese nicht verzehrt werden. Mögliche gesundheitliche Folgen, die sich aus dem Verzehr kontaminierter Lebensmittel ergeben, sollen dadurch verhindert werden.

Aufgaben

- 1 geg.: $n = 20; t = 0,1 \text{ s}$
ges.: A
Ansatz: $A = \frac{n}{t}$
Rechnung: $A = \frac{20}{0,1 \text{ s}} = 2 \cdot 10^2 \text{ s}^{-1} = 2 \cdot 10^2 \text{ Bq}$
- 2 Lösungsmöglichkeit:
Der Süden Deutschlands, vor allem Südbayern und der Bayerische Wald, ist auch heute noch betroffen. Dort müssen Nahrungsmittel, die aus den heimischen Wäldern stammen, untersucht und freigegeben werden. Bestimmte Pilz- und Wildarten sind noch immer stark mit Cäsium-137 belastet.

Einstieg

- Mithilfe der Halbwertszeiten und des Zerfallsgesetzes kann man ungefähre Vorhersagen über die Strahlenbelastung durch radioaktive Nuklide in den Sperrgebieten treffen.

Aufgaben

- 1 a) geg.: $T = 3,825 \text{ d}; N(t) = 0,25 \cdot N_0$
 ges.: t
 Ansatz: $N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad | : N_0 \quad | \cdot \log_{0,5} ()$
 $\log_{0,5} \left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = \frac{t}{T} \quad | \cdot T$
 Rechnung: $t = T \cdot \log_{0,5} \left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = T \cdot \log_{0,5} \left(\frac{0,25 \cdot N_0}{N_0}\right) = 3,825 \text{ d} \cdot \log_{0,5} 0,25 = 7,650 \text{ d}$
 Anmerkung: Diese Aufgabe kann man auch im Kopf lösen, denn ein Bestand von einem Viertel der Ausgangsmasse entspricht zwei Halbwertszeiten, also $2 \cdot 3,825 \text{ d} = 7,650 \text{ d}$.
- b) geg.: $T = 3,825 \text{ d}; N(t) = 0,75 \cdot N_0$
 ges.: t
 Ansatz: $N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad | : N_0 \quad | \cdot \log_{0,5} ()$
 $\log_{0,5} \left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = \frac{t}{T} \quad | \cdot T$
 Rechnung: $t = T \cdot \log_{0,5} \left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = T \cdot \log_{0,5} \left(\frac{0,75 \cdot N_0}{N_0}\right) = 3,825 \text{ d} \cdot \log_{0,5} 0,75 = 1,588 \text{ d}$
- 2 geg.: $T = 2,46 \cdot 10^5 \text{ a}; t = 4,4 \cdot 10^4 \text{ a}$
 ges.: Prozentuale Abnahme p
 Ansatz: $N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad | : N_0$
 $\frac{N(t)}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$
 $p = 1 - \frac{N(t)}{N_0} = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$
 Rechnung: $p = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{4,4 \cdot 10^4 \text{ a}}{2,46 \cdot 10^5 \text{ a}}} = 0,12 = 12 \%$
- 3 a) Die Halbwertszeit ist das Zeitintervall, in dem sich die Impulsrate halbiert. Von der Impulsrate 200 zur Impulsrate 100 dauert es ca. 8 Tage, von 100 zu 50 ebenfalls, usw.
 b) Eine Reduktion um 90 % bedeutet eine Reduktion auf 10 % des Ausgangswertes, also eine Impulsrate von $10 \% \cdot 200 = 20$.
 Der Zeichnung kann man bei einer Impulsrate von 20 einen Zeitraum von 27,5 Tagen entnehmen.
- 4 geg.: $T = 30,08 \text{ a}; m_0 = 0,50 \text{ kg};$ Anfangsjahr 1986; Endjahr 2023
 ges.: $t; m(t); m_0 - m(t)$
 Ansatz: $t = \text{Anfangsjahr} - \text{Endjahr}$
 $m(t) = m_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$
 Rechnung: $t = 2023 - 1986 = 37 \text{ a}$
 $m(t) = 0,50 \text{ kg} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{37 \text{ a}}{30,08 \text{ a}}} = 0,21 \text{ kg}$
 $m_0 - m(t) = 0,50 \text{ kg} - 0,21 \text{ kg} = 0,29 \text{ kg}$

- 5 a) Natürliches Uran kommt in den drei Isotopen U-238 (zu 99,274 %), U-235 (zu 0,720 %) und U-234 (zu 0,006 %) vor. Wir betrachten hier nur die Uranvorkommen der ersten beiden Isotope, also U-235 und U-238.

geg.: $T_{\text{U-235}} = 7,038 \cdot 10^8 \text{ a}; T_{\text{U-238}} = 4,468 \cdot 10^9 \text{ a}; t = 4,5 \cdot 10^9 \text{ a}$

ges.: $\frac{N(t)}{N_0}; \frac{N_0}{N(t)}$

Ansatz: $N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad | : N_0$

Abschätzung für U-235: Das Alter der Erde ist gut sechsmal größer als die Halbwertszeit von U-235. Pro Halbwertszeit halbiert sich der Anteil noch vorhandener Kerne. Rückblickend liegen also zu einem Zeitpunkt, der um die Halbwertszeit in der Vergangenheit liegt, doppelt so viele Kerne vor. Vor sechs Halbwertszeiten war bei der Entstehung der Erde folglich ca. $2^6 = 64$ -mal so viel Uran U-235 vorhanden.

Rechnung: $\frac{N(t)}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{4,5 \cdot 10^9 \text{ a}}{7,038 \cdot 10^8 \text{ a}}} = 0,012$

$$\frac{N_0}{N(t)} = \frac{1}{0,012} = 83$$

Antwort: Die Rechnung weicht mit einem U-235-Gehalt von 83 im Vergleich zum heutigen Wert verhältnismäßig stark von der Schätzung ab.

Abschätzung für U-238: Die Halbwertszeit von U-238 entspricht ungefähr dem Alter der Erde. Folglich war bei der Entstehung der Erde ungefähr doppelt so viel U-238 vorhanden.

Rechnung: $\frac{N(t)}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{4,5 \cdot 10^9 \text{ a}}{4,468 \cdot 10^9 \text{ a}}} = 0,50$

$$\frac{N_0}{N(t)} = \frac{1}{0,50} = 2,0$$

Antwort: Erwartungsgemäß liefert hier auch die Rechnung den Wert der Schätzung, also einen doppelt so hohen Bestand an Uran U-238 bei der Erdentstehung im Vergleich zu heute.

- b) geg.: $T = 1,248 \cdot 10^9 \text{ a}; t = 1000 \text{ a}$

ges.: $\frac{A(t)}{A_0}; 1 - \frac{A(t)}{A_0}$

Ansatz: $A(t) = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad | : A_0$

Rechnung: $\frac{A(t)}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1000 \text{ a}}{1,248 \cdot 10^9 \text{ a}}} = 1,000 = 100,0 \%$

$$1 - \frac{A(t)}{A_0} = 0,000 = 0,00 \%$$

Antwort: Aufgrund der hohen Halbwertszeit von K-40 bleibt dessen Aktivität innerhalb von 1000 Jahren im Rahmen der Mess- bzw. Rechengenauigkeit unverändert.

- 6 geg.: $T = 374 \text{ d}; N(t) = 0,60 \cdot N_0$

ges.: t

Ansatz: $N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad | : N_0 \quad | \cdot \log_{0,5} ()$

$$\log_{0,5} \left(\frac{N(t)}{N_0} \right) = \frac{t}{T} \quad | \cdot T$$

Rechnung: $t = T \cdot \log_{0,5} \left(\frac{N(t)}{N_0} \right) = T \cdot \log_{0,5} \left(\frac{0,60 \cdot N_0}{N_0} \right) = 374 \text{ d} \cdot \log_{0,5} 0,60 = 276 \text{ d}$

- 7 geg.: $A_0 = 224 \text{ MBq}; A(t) = 77 \text{ MBq}; t = 4 \text{ d} + 3 \text{ h}$
 ges.: T
 Ansatz: $A(t) = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad | : A_0 \quad | \cdot \log_{0,5}()$
 $\log_{0,5}\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = \frac{t}{T} \quad | \cdot T \quad | : \log_{0,5}\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$
 Rechnung: $T = \frac{t}{\log_{0,5}\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)} = \frac{4 \text{ d } 3 \text{ h}}{\log_{0,5}\left(\frac{77 \text{ MBq}}{224 \text{ MBq}}\right)} = \frac{(4 \cdot 24 + 3) \text{ h}}{\log_{0,5}\left(\frac{77}{224}\right)} = \frac{99 \text{ h}}{\log_{0,5}\left(\frac{11}{32}\right)} = 64 \text{ h}$
- 8 geg.: $T = 5730 \text{ a}; 1 - \frac{A(t)}{A_0} = 97,3 \% \text{ bzw. } \frac{A(t)}{A_0} = 0,027$
 ges.: t
 Ansatz: $A(t) = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad | : A_0 \quad | \cdot \log_{0,5}()$
 $\log_{0,5}\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = \frac{t}{T} \quad | \cdot T$
 Rechnung: $t = T \cdot \log_{0,5}\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = 5730 \text{ a} \cdot \log_{0,5} 0,027 = 30 \cdot 10^3 \text{ a}$

Aufgaben zur Einzelarbeit

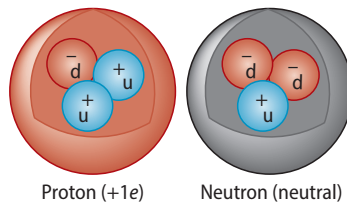
- 1 a) ① Nebelkammer ② Geiger-Müller-Zählrohr
 - b) ① In einer Nebelkammer befindet sich ein übersättigter Wasser- oder Alkoholdampf. Wenn der Dampf durch schnelles Vergrößern des Volumens der Nebelkammer abgekühlt wird, kondensiert der Dampf an den durch die α - bzw. β -Strahlung erzeugten Ionen, die sich in der Nebelkammer bilden. Die dadurch entstehenden Kondensstreifen können ausgewertet werden, um die Richtung, Art, Energie und Intensität der Strahlung zu ermitteln. α -Teilchen erzeugen dicke, kurze Kondensationsstreifen und β -Teilchen dünne, lange Spuren.
 - ② Ein Geiger-Müller-Zählrohr nutzt die ionisierende Eigenschaft radioaktiver Strahlung, deshalb können besonders gut α - und β -Teilchen registriert werden. γ -Teilchen haben aufgrund ihrer geringen Ionisierungsstärke eine sehr geringe Nachweiswahrscheinlichkeit. Die in einem abgeschlossenen Edelgas erzeugten Ionen bewegen sich in einem elektrischen Feld, der dadurch erzeugte elektrische Strom wird gemessen. Das Geiger-Müller-Zählrohr kann deshalb nicht direkt die Art der radioaktiven Strahlung nachweisen. Nur durch die unterschiedliche Reichweite in Luft oder durch Abschirmung radioaktiver Strahlung kann die Intensität einer bestimmten Art der Strahlung bestimmt werden.
- 2 Als natürliche Strahlenquelle spielt neben der kosmischen und terrestrischen Strahlung sowie der Aufnahme radioaktiver Substanzen durch die Nahrung vor allem die Inhalation von Radon in der Umgebungsluft eine Rolle. Die Hauptursache zivilisatorisch bedingter Strahlenbelastung sind medizinische Anwendungen in der Diagnose und Therapie.
- 3 a) Das mit einem für α -, β - und γ -Strahlung durchlässigen Fenster verschlossene Zählrohr dient als Kathode, im Inneren befindet sich ein Draht als Anode. Wenn das im Zählrohr enthaltene Gas (häufig ein Edelgas) durch radioaktive Strahlung ionisiert wird, bewegt sich das Ion zur Kathode. Das durch Ionisation frei gewordene Elektron bewegt sich zur Anode und löst auf dem Weg durch Stoßionisation mit weiteren Gaspartikeln eine sogenannte Elektronenlawine aus. Der dadurch entstehende Stromimpuls wird gezählt. Durch den Widerstand wird der Stromfluss begrenzt, damit es nicht zu einer selbstständigen Gasentladung in der Röhre kommt.
 - b) Da Kupfer die Ordnungszahl 29 hat, befinden sich im Kern 29 Protonen, deren Ladung muss entsprechend durch 29 Elektronen ausgeglichen werden, um ein neutrales $_{29}\text{Cu}$ -Atom zu erhalten.
- 4 Bei beiden Kernen handelt es sich um Uranisotope, die sich nur in der Nukleonenzahl A , aber nicht in der Protonenzahl Z unterscheiden. Da die Nukleonenzahl A die Anzahl der Protonen Z und Neutronen N darstellt, besitzt der Kern $^{235}_{92}\text{U}$ eine Neutronenzahl von $N = A - Z = 235 - 92 = 143$. Im Kern $^{238}_{92}\text{U}$ befinden sich 3 Neutronen mehr, also $N = 238 - 92 = 146$.

- 5 geg.: Cu-Atom: Protonenzahl $Z = 29$; Neutronenzahl $N = 34$
 ges.: Nukleonenzahl A , Ladung Q des Kerns
 Ansatz: $A = Z + N$
 $Q = Z \cdot e$
 Rechnung: $A = 29 + 34 = 63$
 $Q = 29 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 46,46 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Anmerkung: Bei der Ladungsberechnung bleibt die Anzahl der sinnvollen Ziffern bei vier, da es sich bei der Protonenzahl um einen exakten Wert (nicht um einen Messwert) handelt.

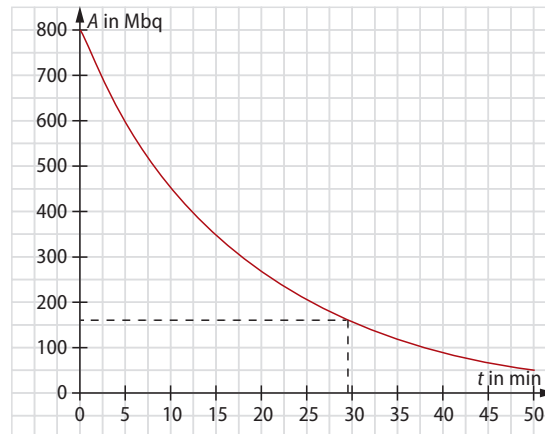
- 6 Bei α -Strahlung (linke Abbildung) handelt es sich um einen Heliumkern (${}^4_2\text{He}^{2+}$), der durch ein Blatt Papier abgeschirmt werden kann.
 β -Strahlung (mittlere Abbildung) besteht aus extrem schnellen Elektronen, die bereits von einem wenige Millimeter dicken Aluminiumblech abgeschirmt werden.
 γ -Strahlung (rechte Abbildung) besteht nicht aus Teilchen und wird auch durch sehr dicke Blei- oder Betonschichten nur geschwächt, aber nicht vollständig abgeschirmt.

- 7 a) Ein Proton besteht aus zwei Up-Quarks und einem Down-Quark. Für die Ladung eines Protons ergibt sich somit:
 $+2 \cdot \frac{2}{3} e - \frac{1}{3} e = +\frac{4}{3} e - \frac{1}{3} e = +\frac{3}{3} e = +e$. Dieser Aufbau ergibt genau die Ladung eines Protons, also einmal die positive Elementarladung.
 Ein Neutron besteht aus zwei Down-Quarks und einem Up-Quark. Für die Ladung eines Neutrons ergibt sich somit: $-2 \cdot \frac{1}{3} e + \frac{2}{3} e = -\frac{2}{3} e + \frac{2}{3} e = 0$. Dieser Aufbau ergibt genau die Neutralität eines Neutrons, da die Ladung null ist.



- b) Beim β -Zerfall zerfällt ein Neutron im Atomkern in ein Proton und ein Elektron. Es muss sich also ein Down-Quark in ein Up-Quark umwandeln, was einer Änderung der Ladung von $-\frac{1}{3} e$ auf $+\frac{2}{3} e$ entspricht. Dieser Ladungsunterschied (Ladung vorher minus Ladung nachher, also $+\frac{2}{3} e - (-\frac{1}{3} e) = \frac{2}{3} e + \frac{1}{3} e = e$), entspricht genau der Ladung des zusätzlich entstandenen Elektrons. Somit ist die Ladung beim β -Zerfall insgesamt also erhalten.
- 8 ${}^{45}_{20}\text{Ca} \rightarrow {}^{45}_{21}\text{Sc} + {}^0_{-1}\text{e}^-$
 Der Ca-45-Kern (Calcium) zerfällt durch einen β -Zerfall in einen Sc-45-Kern (Scandium) und ein Elektron.
- 9 ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{133}_{52}\text{Te} + 2 \cdot {}^1_0\text{n} + {}^{101}_{40}\text{Zr}$
 Die Nukleonenzahl A sowie die Ordnungszahl Z müssen während dieser Spaltung erhalten sein. Dies ist hier der Fall:
 $A_{\text{links}} = 235 + 1 = 236$; $A_{\text{rechts}} = 133 + 2 + 101 = 236$
 $Z_{\text{links}} = 92$; $Z_{\text{rechts}} = 52 + 40 = 92$
 Beim letzten Spaltprodukt handelt es sich also um ${}^{101}_{40}\text{Zr}$, Zirkon.

- 10 a) Das Diagramm soll für vier Halbwertszeiten, also $4 \cdot 12,5 \text{ min} = 50 \text{ min}$, gezeichnet werden.



- b) $20\% \cdot 800 \text{ MBq} = 160 \text{ MBq}$
 Nach ca. 29 min ist die Aktivität auf 20 % gesunken, was sich an der gestrichelten Linie im Diagramm ablesen lässt.
- c) geg.: $A(t_1) = 30 \frac{1}{\text{min}} = 0,5 \frac{1}{\text{s}} = 0,5 \text{ Bq}; T = 12,5 \text{ min}; A_0 = 800 \text{ MBq}$
 ges.: t_1
 Ansatz: $A(t_1) = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t_1}{T}} \quad | : A_0 \quad | \lg ()$
 $\lg\left(\frac{A(t_1)}{A_0}\right) = \frac{t_1}{T} \cdot \lg \frac{1}{2} \quad | : \lg \frac{1}{2} \quad | \cdot T$
 Rechnung: $t_1 = \frac{\lg\left(\frac{A(t_1)}{A_0}\right)}{\lg \frac{1}{2}} \cdot T = \frac{\lg\left(\frac{0,5 \text{ Bq}}{800 \cdot 10^6 \text{ Bq}}\right)}{\lg \frac{1}{2}} \cdot 12,5 \text{ min}$
 $t_1 = 382 \text{ min} = 6 \text{ h } 22 \text{ min}$
 Antwort: Nach sieben Stunden hat die Aktivität auf jeden Fall eine Nullrate von 30 Impulsen pro Minute unterschritten.

- 11 geg.: $m_0 = 3 \cdot 4,50 \text{ kg} = 13,5 \text{ kg}; T = 87,7 \text{ a}; m(t_1) = 3,40 \text{ kg}$
 ges.: t_1
 Ansatz: $m(t_1) = m_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t_1}{T}} \quad | : m_0 \quad | \lg ()$
 $\lg\left(\frac{m(t_1)}{m_0}\right) = \frac{t_1}{T} \cdot \lg \frac{1}{2} \quad | : \lg \frac{1}{2} \quad | \cdot T$
 Rechnung: $t_1 = \frac{\lg\left(\frac{m(t_1)}{m_0}\right)}{\lg \frac{1}{2}} \cdot T = \frac{\lg\left(\frac{3,40 \text{ kg}}{13,5 \text{ kg}}\right)}{\lg \frac{1}{2}} \cdot 87,7 \text{ a} = 174 \text{ a}$
 $1977 + 174 = 2151$
 Antwort: Im Jahr 2151 wird sich die Gesamtmasse des Pu-238 auf 3,40 kg verringert haben.

Aufgaben für Lernpartner

- A Das ist falsch. α -Strahlung erzeugt durch ihre hohe Ionisierungsfähigkeit eine geringere Reichweite und kürzere und dickere Spuren als β -Strahlung. Wenn sich in der Nebelkammer ein magnetisches oder elektrisches Feld befindet, werden die zweifach positiv geladenen Heliumkerne der α -Strahlung anders abgelenkt als die (negativ geladenen) Elektronen der β -Strahlung.

- B** Das ist falsch. Das Geiger-Müller-Zählrohr misst nur die Intensität der ionisierenden radioaktiven Strahlung. Eine direkte Unterscheidung zwischen den Arten der radioaktiven Strahlung ist deshalb nicht möglich.
- C** Das ist richtig. Die Masse eines β -Teilchens, also eines Elektrons, beträgt ca. $\frac{1}{1800} u$ (u ist die atomare Masseneinheit). Die Nukleonen- bzw. Massenzahl eines Heliumkerns, also des α -Teilchens, ist 4, daher beträgt seine Masse $4u$.
- D** Das ist richtig. α -Strahlung ist zweifach positiv geladen, β -Strahlung einfach negativ geladen und γ -Strahlung elektrisch ungeladen. Dies führt bei α - und β -Strahlung zu jeweils unterschiedlicher Ablenkung in Magnetfeldern bzw. elektrischen Feldern. γ -Strahlung wird in keinem dieser Felder abgelenkt.
- E** Das ist richtig. Selbst dicke Blei- oder Stahlbetonschichten können γ -Strahlung nicht vollständig abschirmen.
- F** Das ist falsch. α -Teilchen haben zwar die höchste Ionisierungsenergie im Vergleich zu β - (und γ -) Teilchen und sind deshalb bei Aufnahme in den Körper (durch Atmung oder Nahrung) am gefährlichsten. Sie können aber auch am einfachsten z. B. durch Papier abgeschirmt werden, sodass die Gefahr der Ionisierung von Körperzellen einfach vermieden werden kann. Zudem ist β -Strahlung (und γ -Strahlung), ebenso wie z. B. Sonnenlicht, unterschiedlich energiereich. Je nach β -Zerfall ist auch eine starke β -Strahlung möglich, welche die gleiche (oder sogar höhere) Energie haben kann wie α -Strahlung.
- G** Das ist falsch. Beim β -Zerfall zerfällt im Kern ein Neutron in ein Proton und ein Elektron:

$${}_0^1\text{n} \rightarrow {}_1^1\text{p} + {}_{-1}^0\text{e}^-$$
- H** Das ist richtig. Nach der Halbwertszeit ist die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Atomkerne eines radioaktiven Stoffes zerfallen.

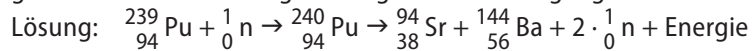
Einstieg

- Der Zeitpunkt des radioaktiven Zerfalls eines Atomkerns ist nicht vorhersehbar, vergleichbar mit der Vorhersage von Würfelergebnissen. Der natürliche Zerfall von Atomkernen kann durch äußere Einflüsse (wie zum Beispiel Druck, Temperatur, magnetische oder elektrische Felder, Schwerkraft, chemische Reaktionen, ...) weder gefördert noch verzögert werden. Erst wenn man sehr viele gleiche Kerne beobachtet, lassen sich statistische Aussagen wie die Halbwertszeit darüber treffen – für einzeln betrachtete Kerne ist das nicht möglich.

Aufgaben

- 1 geg.: Plutonium-239 als Ausgangskern; ein (zusätzliches Neutron) als „Auslöser“; Strontium-94, ein weiterer Kern und zwei Neutronen als Spaltprodukt

ges.: Kernreaktionsgleichung für diesen Vorgang



Die Masse und die Kernladung bleiben während der Reaktion erhalten.

- 2 geg.: $E = 0,034 \text{ nJ} = 0,034 \cdot 10^{-9} \text{ J}$; $1 \text{ mol} = 6,022 \cdot 10^{23}$ (Teilchen) = n

ges.: Gesamtenergie E_{ges} ; Massendefekt m

Ansatz: $E_{\text{ges}} = n \cdot E$

$$E_{\text{ges}} = m \cdot c^2 \quad | : c^2$$

Rechnung: $E_{\text{ges}} = 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 0,034 \cdot 10^{-9} \text{ J} = 2,0 \cdot 10^{13} \text{ J} = 20 \text{ TJ}$

$$m = \frac{E_{\text{ges}}}{c^2} = \frac{2,0 \cdot 10^{13} \text{ J}}{(2,998 \cdot 10^8 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ kg} = 0,22 \text{ g}$$

Geschichte

- Lösungsmöglichkeit:
 „Die Kernspaltung wurde im Dezember 1938 am KWI (Kaiser-Wilhelm-Institut Berlin) für Chemie entdeckt. Otto Hahn und sein Mitarbeiter Fritz Straßmann bestrahlten Uran mit Neutronen und stellten dabei fest, dass offenbar auch Spaltprodukte wie Barium entstanden waren. Die kernphysikalische Erklärung lieferten Lise Meitner und ihr Neffe Otto Frisch Anfang Januar 1939. Meitner war als österreichische Jüdin aus Deutschland im Sommer 1938 emigriert, stand aber mit Hahn aus dem schwedischen Exil in enger schriftlicher Verbindung.
 Den Ausgangspunkt der Entdeckung bildeten Versuche von Enrico Fermi, der u. a. 1934 Uran mit Neutronen bestrahlt hatte. In jahrelanger Arbeit versuchten Hahn, Meitner und Straßmann, die dabei beobachteten Vorgänge aufzuklären. Sie nahmen an, dass bei der Bestrahlung schwerere Elemente als Uran – die sogenannten Transurane – entstehen. Am 19. Dezember 1938 kam es zu einem unerwarteten Ergebnis: Hahn und Straßmann wiesen mithilfe spezieller chemischer Trenn- und Analysenverfahren nach, dass es sich bei den beobachteten Reaktionsprodukten um radioaktive Bariumisotope handelte; es kam bei den Versuchen offenbar zu einem – wie es Hahn formulierte – ‚Zerplatzen‘ des Atomkerns, das sich die Chemiker theoretisch nicht erklären konnten, zumal dieses ‚Zerplatzen‘ im Widerspruch zu allen bisherigen physikalischen Erfahrungen stand.
 Meitner und Frisch erkannten, dass sich nach dem bereits bekannten Tröpfchenmodell der Urankern als elektrisch geladener Flüssigkeitstropfen beschreiben ließ. Er wurde durch das Einfangen des Neutrons so in Schwingungen versetzt, dass er sich in zwei annähernd gleich große Fragmente teilte, wobei eine hohe Energie freigesetzt wurde. Frisch gab der bisher unbekannt Kernreaktion den Namen „nuclear fission“ (Kernspaltung), der sich schnell international durchsetzte.“
 Quelle: <https://www.mpic.de/3549655/die-entdeckung-der-kernspaltung>
- Lösungsmöglichkeit:
 Das Atomkern-Tröpfchenmodell vergleicht einen Atomkern mit einem (Wasser-)Tröpfchen. Durch die anziehenden Kräfte zwischen unmittelbar benachbarten Teilchen hält der Tropfen zusammen. Da sich in einem Atomkern die Protonen aufgrund ihrer gleichnamigen Ladung abstoßen, kann der „Zusammenhalt“ des Kerns durch Zugabe weiterer Nukleonen gestört werden, wodurch der Kern instabil wird und dann sofort zerfällt. Der Beschuss eines schweren Kerns mit Neutronen, die wegen ihrer fehlenden Ladung nicht von den Protonen abgestoßen werden und in den Kern eindringen können, macht den Kern instabil und führt unmittelbar zum „Zerbrechen“ des Kerns.
 Es handelt sich aber um einen anderen Vorgang wie bei der natürlichen Radioaktivität mit Alpha-, Beta- und Gammazerfall.

Einstieg

- Mit Kohlekraftwerken können zentral große Mengen an elektrischer Energie bereitgestellt werden, dabei tritt aber eine erhebliche Umweltbelastung durch die entstehenden Abgase auf. Wasserkraftwerke, Windenergieanlagen und Solarparks erzeugen keine Abgase, stellen aber oft einen großen Eingriff in die Natur dar. Zudem ist die Energiebereitstellung durch diese Anlagen stark abhängig von Jahres- und Tageszeiten sowie Witterungsbedingungen.

Aufgaben

- 1 a) Lösungsmöglichkeit:
Am 31.12.2022 sollen die letzten drei Reaktoren in Deutschland außer Betrieb gehen. Dabei handelt es sich um die Druckwasserreaktoren Isar/Ohu 2 in der Nähe von Landslut, Emsland in Niedersachsen und Neckarwestheim in Baden-Württemberg. In Bayern befanden sich noch acht weitere Kernkraftwerke, von denen drei bereits vollständig rückgebaut sind, drei weitere befinden sich derzeit im Rückbau. Der Siedewasserreaktor Gundremmingen C ist seit Ende 2021 außer Betrieb, Gundremmingen A (ebenfalls ein Siedewasserreaktor) wurde 2006 zum Technologiezentrum umgebaut. Anmerkung: Im Herbst 2022 wurde bundesweit diskutiert, die Laufzeiten einzelner deutscher Kernkraftwerke zu verlängern, um in der damaligen Energiekrise (bedingt durch den von Russland verursachten Ukraine-Krieg) Versorgungssicherheit zu erlangen.
 - b) Lösungsmöglichkeit:
Generell sind Siedewasserreaktoren kostengünstiger, besitzen aber einen geringeren Wirkungsgrad. Druckwasserreaktoren sind als die vorherrschende Bauweise besser erforscht und entwickelt, der sehr hohe Betriebsdruck stellt jedoch enorm hohe Anforderungen an das verwendete Material.
- 2 Lösungsmöglichkeit:
Es existieren mehrere Barrieren, die den Austritt radioaktiven Materials in die Umwelt verhindern sollen. So befinden sich beispielsweise die Brennstäbe in gasdicht verschweißten Hüllen, die sich im Reaktordruckbehälter befinden. Zusätzlich dazu wird der Druckbehälter von einem Sicherheitsbehälter umschlossen, der sich in einer ca. 2 m dicken Stahlbetonhülle befindet.
Bei der Bedienung sind die Systeme auf mehrstufige fehlerverzeihende Sicherheit ausgelegt, welche durch Fehlbedienungen und Ausfälle verursachte Störfälle eindämmen oder verhindern. Die Steuerung des Reaktors kann von mehreren unabhängig voneinander funktionierenden Stellen aus erfolgen, um bei Einwirkungen von außen (z. B. durch Erdbeben oder Flugzeugabstürze) handlungsfähig zu bleiben.

Einstieg

- Durch die Helligkeit und Wärme, die wir von der Sonne erhalten, ist der Eindruck nahelegend, dass es sich bei der Sonne um einen „brennenden“ Himmelskörper handelt. Die Umgangssprache verfestigt diesen Eindruck durch Ausdrücke wie „brennendes Sonnenlicht“ oder „Sonnenbrand auf der Haut“.
- Für eine Verbrennung benötigt man neben einem brennbaren Stoff und der Aktivierungsenergie vor allem Sauerstoff. Dieser fehlt jedoch auf der Sonne, daher kann dort keine Verbrennung stattfinden.

Aufgaben

- 1 Lösungsmöglichkeit:
Die Nutzung der Kernfusion wäre lohnend, da der für die Fusion benötigte Wasserstoff in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Durch die enormen Energiemengen, die bei der Fusion freigesetzt werden, wäre die Energiebilanz und damit der Wirkungsgrad sehr vorteilhaft.
- 2 Lösungsmöglichkeit:
Da bei der Kernfusion keine radioaktiven Stoffe benötigt oder erzeugt werden, ist die „Entsorgung“ der Fusionsprodukte unproblematisch. Die technischen Schwierigkeiten, die derzeit noch bestehen, gewährleisten gleichzeitig die Sicherheit des Prozesses, da die Fusionsreaktion nur unter optimalen Bedingungen überhaupt ablaufen kann und sofort zum Stillstand kommt, wenn auch nur eine der Bedingungen in irgendeine Richtung vom Idealzustand abweicht.

Einstieg

- Die Auswirkungen ionisierender und insbesondere radioaktiver Strahlung sind in den meisten Fällen nicht unmittelbar erkennbar. Es tritt auch kein „Gewöhnungseffekt“ auf. Um Langzeitfolgen vorzubeugen, wird daher die aktuell auftretende Strahlenbelastung erfasst und dokumentiert, wenn Personen einem erhöhten Strahlungsrisiko ausgesetzt sind. Solche Risiken treten z. B. durch kosmische Strahlung beim Aufenthalt in großen Höhen, beim Umgang mit radioaktivem Material oder der Bedienung von Geräten auf, die ionisierende Strahlung (wie Röntgenstrahlung) abgeben.

Aufgaben

- Sowohl teratogene als auch genetische Schäden betreffen die Nachkommen des Strahlungsopfers.
Bei teratogenen Schäden handelt es sich um Schäden wie z. B. Fehlbildungen, die ein ungeborenes Kind im Mutterleib erleidet. Die schädigende Strahleneinwirkung fand also während der Schwangerschaft statt und beeinträchtigt nur die Entwicklung des Embryos, aber nicht die Mutter.
Genetische Schäden sind Veränderungen des Erbguts der Mutter, die vom Organismus nicht repariert werden können und sich erst bei der (späteren) Reproduktion bzw. Fortpflanzung auswirken. Diese genetischen Schäden können einzelne Zellen betreffen und dort zu Funktionsstörungen, Mutationen (Änderungen des Erbguts, die spontan auftreten und dauerhaft sind) oder zum Absterben von Zellen führen. Die Schädigung des Erbguts kann bei der Fortpflanzung an die folgenden Generationen weitergegeben werden und diese beeinträchtigen.
 - Unfruchtbarkeit ① und Übelkeit ② sind somatische Schäden, da diese den von der Strahlung betroffenen Organismus selbst betreffen.
Wenn die Krebserkrankung ③ bei der bestrahlten Person auftritt, handelt es sich um einen somatischen Schaden. Tritt der Krebs beim Embryo während der Schwangerschaft auf, spricht man von einem teratogenen Schaden. Falls die Ursache der Erkrankung zweifelsfrei auf eine vererbte DNA-Veränderung zurückzuführen wäre, würde ein genetischer Schaden vorliegen.
Stoffwechselstörungen ④ bei Nachfahren sind teratogen, wenn die verursachende Bestrahlung während der Schwangerschaft auf den Embryo einwirkte. Bei einer Erbkrankheit handelt es sich um einen genetischen Schaden.
- Für die Patientin oder den Patienten stellt die **Aktivität** des verabreichten radioaktiven Präparats den wesentlichen Einfluss dar. Dieser ist bei einem PET-Scan in der Regel schwach radioaktiv. Die Aufnahme in den Körper lässt sich bei dieser Art der Untersuchung nicht vermeiden, dadurch fallen auch Abstand, Abschirmung und Verringerung der Aufenthaltsdauer als Schutzmaßnahmen weg. Eine Abwägung von Risiko und Nutzen muss hierbei äußerst sorgfältig vorgenommen werden.
 - Das medizinische Fachpersonal muss darauf achten, dass ein möglichst großer **Abstand** zur Strahlenquelle eingehalten wird. Zusätzlich muss die **Abschirmung** durch Bleischürzen und geeignete bauliche Vorkehrungen (Betonmauern, spezielle Fenster, ...) gewährleistet sein. Die **Aufenthaltsdauer** im strahlenbelasteten Bereich muss so gering wie möglich gehalten werden und die **Aufnahme** in den Körper muss durch geeignete Maßnahmen (Mundschutz, Handschuhe, ...) verhindert werden. Auf die Aktivität hat das medizinische Personal keinen Einfluss, da diese durch die behandelnden Ärzte auf die jeweilige notwendige Untersuchung angepasst wird.

Geschichte

- Am 6. und am 9. August 1945 wurden von den USA Atombomben auf Hiroshima und Nagasaki abgeworfen. Dies führte einen knappen Monat später zur Beendigung des zweiten Weltkriegs durch die Kapitulation Japans. Dies waren die bislang einzigen Einsätze von Atomwaffen in einem Krieg mit verheerenden Folgen. 100 000 Menschen wurden sofort getötet, 130 000 Menschen starben an den Folgeschäden bis Ende 1945 und auch in den Folgejahren gab es noch viele Tote.
- **Tschernobyl:** Am 26. April 1986 um 01:23 Uhr kam es zu einer Explosion eines Reaktors des Kernkraftwerks Tschernobyl nahe der ukrainischen Stadt Prypjat. Grund dafür war ein unkontrollierbarer Leistungsanstieg nach schwerwiegenden Sicherheitsverstößen bei einer Simulation eines vollständigen Stromausfalls in Zusammenspiel mit bauartbedingten Eigenschaften des Kernreakortyps. Die Folge waren das Freisetzen mehrerer Trillionen Becquerel an Radioaktivität in den ersten 10 Tagen.
Bis heute wird das Sammeln von Pilzen immer noch als kritisch eingestuft und bei erlegtem Wild muss weiterhin die Strahlenbelastung geprüft werden, bevor es als Nahrung dienen kann.
Fukushima: Ausgelöst wurde die Katastrophe am 11. März 2011 um 14:46 Uhr durch ein Erdbeben und nachfolgende Flutwellen. Vier von sechs Reaktorblöcken wurden beschädigt. Ca. 10 – 20 % der Menge radioaktiver Emissionen der Katastrophe in Tschernobyl wurden dabei freigesetzt. Fukushima hatte langfristig gesehen besonders politische Folgen. Es führte dazu, dass die Zahlen der Befürworter von Kernenergie zurück ging und mehr nukleare Sicherheit gefordert wurde.

Einstieg

- Lösungsmöglichkeit: Wie bei jeder Technologie bestimmt wesentlich der Umgang damit und wie sie eingesetzt wird, ob dadurch Schaden oder Nutzen entsteht bzw. eine potentielle Gefährdung davon ausgeht.

Aufgaben

- 1 In der Medizin werden radioaktive Isotope sowohl zur Diagnose als auch zur Therapie von bestimmten Erkrankungen eingesetzt, beispielsweise bei einem PET-Scan zur Diagnose oder bei einer Tumorerkrankung mit γ -Strahlung zur Therapie.
Technische Anwendungen sind die Materialprüfung (ähnlich wie mit Röntgenstrahlung) und die Altersbestimmung organischen Materials mit der C-14-Methode.
In der Radio-Astronomie erforscht man das Weltall durch Beobachtung und Messung ionisierender Strahlung, die aus dem All auf die Erde gelangt.
- 2 Die Schilddrüse benötigt für ihre Funktion Jod, das über die Nahrung aufgenommen wird und über den Stoffwechsel in die Schilddrüse gelangt.
Jod-131 besitzt mit 8,0228 Tagen eine geeignete Halbwertszeit, die es ermöglicht, dass vor dem Abklingen ausreichend Jod von der Schilddrüse aufgenommen werden kann, der radioaktive Stoff aber auch nicht übermäßig lang im Körper eine Strahlenbelastung darstellt.
Der Vorteil von Jod ist, dass nur die Schilddrüsenzellen das Jod aufnehmen, andere Organe jedoch nicht. Dadurch sind die anderen Organe weitestgehend geschützt durch eine deutlich geringere Strahlenbelastung. Außerdem wird das Jod relativ schnell über die Nieren, die Schweißdrüsen oder den Darm wieder ausgeschieden.
- 3
 - a) Nach der ersten Halbwertszeit, die bei Kohlenstoff C-14 5730 Jahre beträgt, ist die Aktivität auf 50 % gesunken, nach einer weiteren Halbwertszeit beträgt die Aktivität die genannten 25 % des Anfangswertes. Es sind also zwei Halbwertszeiten und somit etwa 11 Jahrtausende vergangen.
 - b) Die Radiokarbonmethode kann nur bei organischem Material angewendet werden, welches während seiner Lebenszeit über den Stoffwechsel ständig Kohlenstoff verarbeitet und somit überhaupt erst das Isotop C-14 aufnimmt. Bei Salzen findet diese C-14-Aufnahme nicht statt und deshalb kann die Methode auch nicht angewandt werden.

Einstieg

- Die Messung der Strahlenbelastung erfolgt indirekt über die Messung der ionisierenden Wirkung. Man kann z. B. Ionen in Gasen nachweisen, indem man mithilfe eines elektrischen Feldes die Ionen in Bewegung versetzt und den daraus resultierenden elektrischen Strom misst.
- Da es neben radioaktiver Strahlung noch andere Strahlungsarten mit ionisierender Wirkung gibt, können bereits existierende Grenzwerte übernommen und gegebenenfalls angepasst werden. Wenn noch keine Grenzwerte existieren, diese aber nötig zu sein scheinen, sollten diese vernünftigerweise eher bewusst zu niedrig angesetzt werden. Dadurch werden die mit der Strahlung verbundenen Risiken unwahrscheinlicher als mit zu lockeren, also hohen, Grenzwerten.

Aufgaben

- 1 Gemäß dem Bundesamt für Strahlenschutz (z. B. <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/grenzwerte/grenzwerte.html>) beträgt der Grenzwert der jährlichen Strahlenexposition für Personen der allgemeinen Bevölkerung 1 mSv pro Jahr. Medizinische Strahlenanwendungen sind von diesen Begrenzungen ausgenommen. Die Grenzwerte für die Organ-Äquivalentdosis („Organdosis“) betragen im Kalenderjahr 15 mSv für die Augenlinse und 50 mSv für die Haut (Stand: 04.01.2021).
Der Grenzwert für die effektive Dosis zum Schutz von beruflich strahlenexponierten Personen beträgt 20 mSv im Kalenderjahr. Im Einzelfall kann die zuständige Behörde für ein einzelnes Jahr 50 mSv zulassen, für fünf aufeinanderfolgende Jahre dürfen jedoch 100 mSv nicht überschritten werden. Die Berufslebensdosis darf 400 mSv nicht übersteigen (§ 77 Strahlenschutzgesetz).
Diese Dosisgrenzwerte gelten für Frauen und Männer gleichermaßen. Allerdings darf bei Frauen im gebärfähigen Alter die Organ-Äquivalentdosis (Organdosis) des Uterus nur maximal 2 mSv pro Monat betragen. Bei schwangeren Frauen beträgt der Grenzwert für das ungeborene Kind 1 mSv vom Zeitpunkt der Bekanntgabe bis zum Ende der Schwangerschaft.
Für Personen unter 18 Jahren in Ausbildung gilt der Grenzwert 1 mSv pro Kalenderjahr. Für Ausbildungszwecke kann bei 16- bis 18-Jährigen die zuständige Behörde einen Grenzwert von 6 mSv festlegen, falls dies nötig ist.
- 2 a) geg.: $m = 75 \text{ kg}; E = 500 \text{ mJ}; q_{\gamma\text{-Strahlung}} = 1$
ges.: Äquivalentdosis H
Ansatz: $H = q \cdot D; D = \frac{E}{m}$
Rechnung: $H = q \cdot \frac{E}{m} = 1 \cdot \frac{500 \cdot 10^{-3} \text{ J}}{75 \text{ kg}} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ Sv} = 6,7 \text{ mSv}$
b) Die Äquivalentdosis ist bei Alphastrahlung der gleichen Energie 20-mal so hoch, da der Qualitätsfaktor q bei Alphastrahlung den Wert 20 hat (im Gegensatz zu Gammastrahlung mit $q = 1$).

Vertiefung

- Lösungsmöglichkeit:
Die Äquivalentdosisleistung (also die biologisch gewichtete Strahlendosis pro Zeiteinheit) auf dem Mond beträgt etwa $60 \mu\text{Sv}$ pro Stunde. Zum Vergleich: Auf einem Langstreckenflug von Frankfurt nach New York ist die Dosisleistung etwa fünf- bis zehnmal geringer, am Erdboden etwa 200-mal.
Auf der Internationalen Raumstation ISS wurde im Mai 2016 eine tägliche Äquivalentdosisleistung von $0,647 \text{ mSv}$ gemessen. Bei einem sechsmonatigen Aufenthalt summiert sich diese Äquivalentdosis auf ca. 120 mSv .
Sowohl auf der ISS als auch auf dem Mars beträgt die Strahlenbelastung nur etwa ein Drittel der Äquivalentdosis, die im interplanetaren Weltraum zu erwarten ist. Bei einer Missionsdauer von drei Jahren, von denen die Flugzeit insgesamt etwa ein Jahr beträgt, kann man also eine Strahlenbelastung von ungefähr 960 mSv erwarten. Damit würde die Berufslebensdosis von beruflich strahlenexponierten Personen auf der Erde, die bei 400 mSv liegt, schon innerhalb kurzer Zeit überschritten!

Natürliche Strahlenbelastung

- Gebiete mit besonders hoher natürlicher Strahlung findet man vorwiegend in Mittelgebirgen wie dem Thüringer Wald, Erzgebirge, Fichtelgebirge, Bayerischem Wald oder Schwarzwald.
- Diese Mittelgebirge bestehen geologisch häufig aus sogenannten Tiefengesteinen, die einen höheren Anteil an langlebigen Radionukliden aufweisen als andere Gesteinsarten.
- Die Skala weist bei Werten über 0,25 mSv pro Jahr keine weitere Differenzierung auf, da diese Äquivalentdosis nur an wenigen Orten auftritt. Diese Werte werden im Verlauf eines Jahres bei einem Aufenthalt im Freien von täglich 5 Stunden erreicht, was 1825 Stunden entspricht.

Bei der genannten Flugreise ist man innerhalb von nur 8 Stunden zwischen einem Sechstel und einem Drittel dieser Strahlenbelastung ausgesetzt, was eine erheblich höhere Äquivalentdosisleistung (also Strahlenbelastung im Verhältnis zur Zeit) bedeutet.

Künstliche Strahlenbelastung

- Lösungsmöglichkeit:
Durch die (sichere) Übermittlung von Röntgenaufnahmen zwischen den behandelnden Ärzten können Mehrfachaufnahmen vermieden werden. Im Einzelfall könnten auch andere bildgebende Verfahren wie z. B. Ultraschall eingesetzt werden.
Als Patient könnte man ein „Röntgenbuch“ führen, in dem ähnlich wie in einem Impfpass die Untersuchungen und die dabei gemachten Bilder gespeichert würden.
- Lösungsmöglichkeit:
Die häufigste Maßnahme ist neben der Abschirmung durch Bleischürzen die Kontrolle der Belichtungszeit, um die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten. Durch die Verabreichung sogenannter Kontrastmittel kann die Bildqualität verbessert und die Bestrahlungsdauer weiter verringert werden.

Strahlenbelastung durch Kernenergie

- Lösungsmöglichkeit:
Unter der Adresse <https://www.lfu.bayern.de/strahlung/umrei/reiprobe> (Stand: August 2022) finden sich alle ermittelten Daten, die nach Anlage, Nuklid/Parameter, Programmpunkt oder Zeitraum gefiltert werden und in unterschiedlichen Darstellungsarten angezeigt sowie exportiert werden können.
- Lösungsmöglichkeit:
Rund um Tschernobyl ist eine Sperrzone mit einem Radius von 30 km eingerichtet worden. Im Stadtgebiet von Tschernobyl leben noch rund 700 der einstmalig etwa 14 000 Bewohner, die es ablehnten, die Region zu verlassen, oder zurückgekehrt sind. Der verunglückte Reaktorblock, der von einem provisorisch errichteten „Sarkophag“ umschlossen ist, ist seit 2019 von einer zweiten Schutzhülle („New Safe Confinement“) umgeben.
Beim russischen Überfall auf die Ukraine 2022 wurde das Sperrgebiet um Tschernobyl und das stillgelegte Kraftwerk von russischen Truppen eingenommen. Die zur Kühlung benötigte Stromversorgung des Kraftwerks wurde ebenso wie die Überwachung der Strahlenwerte vorübergehend unterbrochen.

Strahlenbelastung durch Kernwaffen

- Eine Kilotonne TNT entspricht einer Energie von $4,184 \cdot 10^{12}$ J bzw. 1,162 GWh. Das TNT-Äquivalent von frei erhältlichen Feuerwerkskörpern liegt unter einem Gramm.
- Lösungsmöglichkeit:
Aller Wahrscheinlichkeit nach löst der Einsatz von Atomwaffen einer Kriegspartei den Atomwaffeneinsatz des Gegners oder eines mit diesem Verbündeten aus, sodass von einer Spirale von Atomwaffeneinsätzen auszugehen ist. Diese Perspektive bzw. Drohkulisse hat bislang dazu geführt, dass seit dem 2. Weltkrieg keine Atomwaffen mehr eingesetzt, wohl aber getestet wurden. Sollte es zu der skizzierten Spirale der Eskalation mit Atomwaffen kommen, dürfte die Erde in großen Teilen und auf lange Zeit unbewohnbar bleiben. Selbst Gebiete, die vermeintlich „am anderen Ende der Welt“ nicht direkt betroffen sind, wären durch die Globalisierung und den Handel mit Nahrungsmitteln und Wirtschaftsgütern sofort involviert.

Aufgaben zur Einzelarbeit

- 1 geg.: $\Delta E = 2360 \text{ kJ}$
 ges.: Δm
 Ansatz: $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$
 Rechnung: $\Delta m = \frac{2360 \text{ kJ}}{(2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = \frac{2360 \cdot 10^3 \text{ J}}{(2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$
 $\Delta m = 2,626 \cdot 10^{-11} \text{ kg} = 2,626 \cdot 10^{-5} \text{ mg}$
- 2 ${}_{94}^{239}\text{Pu} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{51}^{130}\text{Sb} + 3 \cdot {}_0^1\text{n} + {}_{43}^{107}\text{Tc}$
 Die Nukleonenzahl A sowie die Ordnungszahl Z müssen während dieser Spaltung erhalten sein. Dies ist hier der Fall:
 $A_{\text{links}} = 239 + 1 = 240; A_{\text{rechts}} = 130 + 3 + 107 = 240$
 $Z_{\text{links}} = 94; Z_{\text{rechts}} = 51 + 43 = 94$
 Bei dem letzten Spaltprodukt handelt es sich also um Technetium-107: ${}_{43}^{107}\text{Tc}$.
- 3 a) ${}_1^1\text{H} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + \gamma$
 b) ${}_2^3\text{He} + {}_2^3\text{He} \rightarrow {}_2^4\text{He} + 2 \cdot {}_1^1\text{H} + \text{Energie}$
- 4 a) In einem Kernkraftwerk wird thermische Energie mithilfe von Kernspaltung erzeugt. Die Kerne, die gespalten werden, sowie die Spaltprodukte befinden sich hierbei in den **Brennstäben**. Es wird hauptsächlich Uran-235 bzw. Plutonium-239 zur Spaltung verwendet.
 b) Die kinetische Energie der Atome steigt durch die hohen Geschwindigkeiten der Spaltprodukte und das Zusammenstoßen der Tochterkerne stark an. Dies hat eine starke Erhöhung der Temperatur zur Folge. Die Brennstäbe befinden sich deshalb im **Kühlwasser**, um eine Überhitzung zu verhindern.
 c) Um die Kettenreaktion unter Kontrolle zu halten, muss die Anzahl der Neutronen, die bei der Spaltung frei werden, konstant gehalten werden. Dies erreicht man durch die **Steuerstäbe**, die je nach Bedarf herausgehoben und abgesenkt werden können und die freien Neutronen aufnehmen. Diese Steuerstäbe sind aus Cadmium oder Hafnium.
 d) In einem Druckwasserreaktor befindet sich das radioaktive Kühlwasser in einem abgeschlossenen Kreislauf unter hohem Druck. Dieser gibt seine thermische Energie über den **Wärmetauscher** an einen zweiten, nicht radioaktiven Sekundärkreislauf weiter, aus dem der Wasserdampf gewonnen wird, welcher letztendlich die Turbine für den Generator antreibt.
- 5 Bei der ersten Energieform handelt es sich um chemische Energie, welche in kinetische Energie der Kerne, also thermische Energie, umgewandelt wird. Dies geschieht durch die Kernspaltung in den Brennstäben. Anschließend wird diese thermische Energie über das Wasser weitergegeben und Dampf erzeugt. Die thermische Energie des Dampfes wird nun mithilfe einer Turbine in kinetische Energie umgewandelt. Diese wird schlussendlich mithilfe eines Generators in elektrische Energie umgewandelt.

- 6 α - bzw. β -Strahlung ist zur Kontrolle der Füllhöhe von großen Behältern ungeeignet, da sie eine vergleichsweise geringe Reichweite besitzt. Bei α -Strahlung liegt diese in der Luft bei nur einigen Zentimetern, bei β -Strahlung bis zu einigen Dezimetern. Auch würden schon allein die Behälterwände beide Strahlungsarten (zumindest fast) komplett abschirmen. Stattdessen wird γ -Strahlung verwendet, welche in Luft eine Reichweite von mehreren hundert Metern besitzt und nur durch dickeres Blei teilweise abgeschirmt werden kann.

- 7 a) Die Radiokarbon- bzw. C-14-Methode wird verwendet, um das Alter von organischen Substanzen zu bestimmen. Organische Substanzen wie Lebewesen betreiben Stoffwechsel, weshalb sich ein gewisser Anteil an C-14 in den Zellen der Lebewesen befindet. Sterben diese Zellen ab, so zerfällt dieser bekannte Anteil an C-14 mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren. Mithilfe des Zerfallsgesetzes und dem momentan vorliegenden Anteil an C-14 kann nun das Alter der organischen Substanz bestimmt werden.

b) geg.: $\frac{A(t_1)}{A_0} = 24,7\% ; T = 5730 \text{ a}$
 ges.: t_1
 Ansatz: $A(t_1) = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t_1}{T}} \quad | : A_0 \quad | \lg ()$
 $\lg \left(\frac{A(t_1)}{A_0}\right) = \frac{t_1}{T} \cdot \lg \frac{1}{2} \quad | : \lg \frac{1}{2} \quad | \cdot T$

Rechnung: $t_1 = \frac{\lg \left(\frac{A(t_1)}{A_0}\right)}{\lg \frac{1}{2}} \cdot T = \frac{\lg 0,247}{\lg \frac{1}{2}} \cdot 5730 \text{ a}$
 $t_1 = 11,56 \cdot 10^3 \text{ a}$

Antwort: Der archäologische Fund ist ca. 11,56 Jahrtausende alt.

c) geg.: $\frac{A(t_2)}{A_0} = 24,6\% ; \frac{A(t_3)}{A_0} = 24,8\% ; T = 5730 \text{ a}$
 ges.: $t_2 ; t_3$

Ansatz: $t_{2/3} = \frac{\lg \left(\frac{A(t_{2/3})}{A_0}\right)}{\lg \frac{1}{2}} \cdot T$

Rechnung: $t_2 = \frac{\lg 0,246}{\lg \frac{1}{2}} \cdot 5730 \text{ a} = 11,59 \cdot 10^3 \text{ a}$

$t_3 = \frac{\lg 0,248}{\lg \frac{1}{2}} \cdot 5730 \text{ a} = 11,53 \cdot 10^3 \text{ a}$

Antwort: Das Alter des Fundstücks läge zwischen 11,53 und 11,59 Jahrtausenden.

- 8 a) Ein Filmdosimeter wird verwendet, um die ionisierende Strahlung zu messen, der Personen bestimmter Berufsgruppen ausgesetzt sind. Das Grundprinzip besteht darin, dass sich Filme unterschiedlicher Empfindlichkeiten in einer kleinen Kassette befinden, die man am Körper trägt. Die ionisierende Strahlung, die auf den Film trifft, schwärzt das fotografische Material je nach Stärke der Strahlung. Ein unempfindlicher Film wird dabei für hohe, ein empfindlicher Film für niedrigere Dosen verwendet.
- b) Ein Filmdosimeter ist zur akuten Warnung vor ionisierender Strahlung schlecht geeignet, da sich bei plötzlich auftretender, sehr starker ionisierender Strahlung der Film auf einen Schlag schwärzen würde, wobei die Dosis nur bis zu einem bestimmten Wert gemessen werden kann. Ist der Film dann einmal komplett geschwärzt, können keine weiteren Dosen mehr gemessen werden.

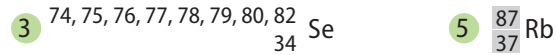
- 9 Die „fünf A des Strahlenschutzes“ lauten: Abstand halten, Abschirmung optimieren, Aufenthaltsgedauer minimieren, Aktivität verringern und Aufnahme in den Körper vermeiden.
- 10 geg.: $0,08 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ mittlere natürliche Orstdosisleistung
 ges.: Äquivalentdosis in einem Jahr
 Ansatz: Ortsdosis pro Stunde \cdot Anzahl der Stunden in einem Jahr
 Rechnung: $0,08 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} \cdot 24 \cdot 365 \text{ h} = 0,08 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} \cdot 24 \cdot 365$
 $= 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ Sv} = 0,7 \text{ mSv}$
- 11 a) Bei Zeugungsunfähigkeit handelt es sich um einen somatischen Schaden, da der Organismus selbst betroffen ist.
 b) Teratogene Schädigungen beeinträchtigen den Embryo bzw. dessen Entwicklung während der Schwangerschaft. Genetische Schäden betreffen die nach der Bestrahlung gezeugten Kinder, da deren Erbgut verändert wurde.

Aufgaben für Lernpartner

- A Das ist falsch. Ein Atomkern spaltet sich nach dem Beschuss von Neutronen in kleinere Tochterkerne und weitere Neutronen auf. Bei einer genügend großen Anzahl spaltbarer Kerne kann es zu einer unkontrollierbaren Kettenreaktion durch weitere Kernspaltungen kommen. Dies ist bei Reaktorunfällen oder Kernwaffen der Fall.
- B Das ist falsch. Bei einer Kernspaltung entstehen mehrere freie Neutronen. Eine Kettenreaktion wird dann als kontrolliert bezeichnet, wenn bei jedem Zerfall nur ein Neutron wieder von einem anderen Kern eingefangen wird.
- C Das ist falsch. Obwohl einige somatische Schäden wie Übelkeit, Erbrechen oder Verbrennungen bei genügend hoher Äquivalentdosis direkt bei der Strahlungseinwirkung oder unmittelbar danach auftreten können, gehören auch Spätfolgen wie z. B. Krebs, der erst nach einer gewissen Zeit auftreten kann, zu den somatischen Schäden.
- D Das ist richtig. Für die Energiedosis spielt nur die Strahlungsenergie und die Masse eine Rolle. Bei der Äquivalentdosis dagegen wird die Energiedosis noch mit einem Qualitätsfaktor multipliziert, der die Strahlungsart berücksichtigt.
- E Das ist richtig. Bei einem Druckwasserreaktor wird die thermische Energie des ersten Wasserkreislaufs, in dem sich die Brennstäbe befinden, über einen Wärmetauscher an einen nicht radioaktiven Sekundärkreislauf abgegeben. Bei einem Siedewasserreaktor dagegen wird der Dampf direkt aus dem Wasserkreislauf mit den Brennstäben erzeugt.
- F Das ist falsch. Röntgenstrahlung ist zwar ebenfalls ionisierende Strahlung, hat ihre Ursache aber nicht in der Radioaktivität von Atomkernen und entsteht nicht durch das Zerfallen von Kernen. Deshalb kann man sie nicht als Kernstrahlung bezeichnen.



Bei 3 und 5 sind aufgrund der fehlenden Nukleonenzahl unterschiedliche Lösungen im Sinne unterschiedlicher Isotope möglich. Neben dem oben angegebenen häufigsten Isotop, das auch im Periodensystem der Elemente zu finden ist, gibt es beispielsweise noch folgende Lösungsmöglichkeiten:



- b) Bei der Tabelle sind nur die im Periodensystem angegebenen Isotope aus a) berücksichtigt.

	Au (Gold)	Np (Neptunium)	Se (Selen)	O (Sauerstoff)	Rb (Rubidium)
Protonenzahl Z	79	93	34	8	37
Nukleonenzahl A	197	137	80	16	85
Neutronenzahl	118	44	46	8	48

- 2 a) Die Impulsrate des Gesteinsbrockens muss um die natürliche „Untergrund“-Strahlung von 45 ipm korrigiert werden, sodass sich für den Gesteinsbrocken eine Impulsrate von $3956 \text{ ipm} - 45 \text{ ipm} = 3911 \text{ ipm}$ ergibt.

Durch das Papier wird die α -Strahlung absorbiert, sodass nur noch eine um den „Untergrund“ korrigierte Impulsrate von $3268 \text{ ipm} - 45 \text{ ipm} = 3223 \text{ ipm}$ für die verbleibende Strahlung gemessen wird. Dies liefert für die absorbierte Impulsrate der α -Strahlung $3911 \text{ ipm} - 3223 \text{ ipm} = 688 \text{ ipm}$.

Das 2-mm-Aluminiumblech absorbiert β -Strahlung, sodass die um den „Untergrund“ korrigierte Impulsrate der nicht absorbierten γ -Strahlung $2590 \text{ ipm} - 45 \text{ ipm} = 2545 \text{ ipm}$ beträgt.

Die Impulsrate der β -Strahlung beträgt damit $3223 \text{ ipm} - 2545 \text{ ipm} = 678 \text{ ipm}$.

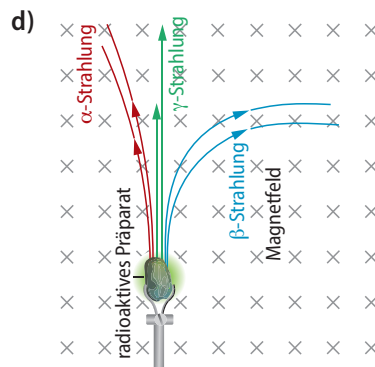
- b) Der prozentuale Anteil der α -Strahlung an der Gesamtstrahlung ist $\frac{688 \text{ ipm}}{3911 \text{ ipm}} = 17,6 \%$.

Der prozentuale Anteil der β -Strahlung an der Gesamtstrahlung ist $\frac{678 \text{ ipm}}{3911 \text{ ipm}} = 17,3 \%$.

Der prozentuale Anteil der γ -Strahlung an der Gesamtstrahlung ist $\frac{2545 \text{ ipm}}{3911 \text{ ipm}} = 65,1 \%$.

- 3 a) Bei γ -Strahlung handelt es sich um elektrisch neutrale, elektromagnetische Strahlung. Auf diese wirkt in einem Magnetfeld keine Kraft.
 b) β -Strahlung besteht aus Elektronen, die elektrisch negativ geladen sind. α -Teilchen dagegen sind elektrisch positiv geladene Heliumkerne. Entgegengesetzt elektrisch geladene Teilchen werden in einem Magnetfeld in entgegengesetzte Richtungen abgelenkt.
 c) Beim β -Zerfall entsteht aus einem Neutron ein Proton und ein Elektron. Ein Elektron hat folglich eine viel geringere Masse als ein Proton. Heliumkerne, die Bestandteile der α -Strahlung, bestehen aus 2 Protonen und 2 Neutronen. Sie sind deshalb viel schwerer und viel träger als ein Elektron. Aufgrund der größeren Trägheit werden Heliumkerne deshalb deutlich schwächer in einem Magnetfeld abgelenkt als die Elektronen.

Skizze der Korrektur des Fehlers:



Das Magnetfeld zeigt in die Heftebene hinein.

e) geg.: $T = 30,08 \text{ a}; \frac{A(t)}{A_0} = 1 - 70 \% = 30 \% = 0,30$; Anfangsjahr 1986

ges.: $t_{0,30}$; Endjahr
 Ansatz: $A(t) = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad | : A_0 \quad | \cdot \log_{0,5}()$

Rechnung: $\log_{0,5} \frac{A(t)}{A_0} = \frac{t}{T} \quad | \cdot T$
 $t_{0,30} = T \cdot \log_{0,5} \left(\frac{A(t_{0,30})}{A_0} \right) = 30,08 \text{ a} \cdot \log_{0,5} 0,30 = 52 \text{ a}$

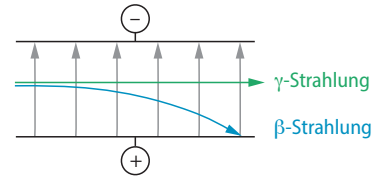
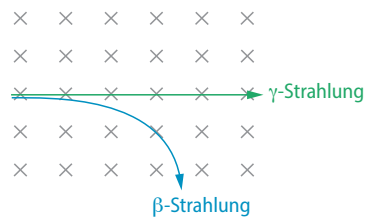
Antwort: Im Jahr 1986 + 52 = 2038 hat die Aktivität von Cs-137 um 70 % abgenommen.

f) geg.: Aktivität pro Fläche: $A_{\text{Fläche}} = 21 \frac{\text{kBq}}{\text{m}^2}$
 Aktivität pro Masse: $A_{\text{Masse}} = 3,2 \cdot 10^{12} \frac{\text{Bq}}{\text{g}}$
 Gesamtfläche: $A_{\text{Österreich}} = 83,9 \cdot 10^3 \text{ km}^2$

ges.: m
 Ansatz: $A_{\text{ges}} = A_{\text{Fläche}} \cdot A_{\text{Österreich}}$
 $m = \frac{A_{\text{ges}}}{A_{\text{Masse}}}$

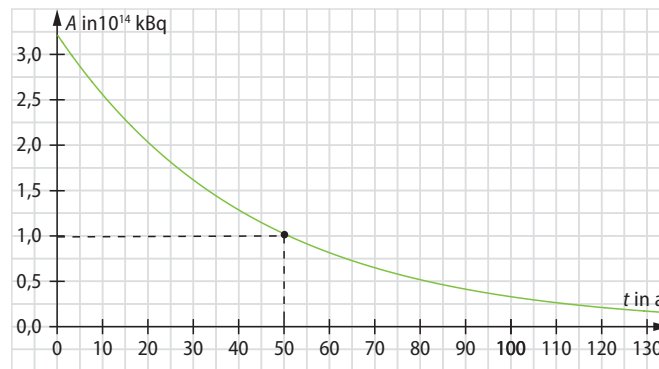
Rechnung: $A_{\text{ges}} = 21 \frac{\text{kBq}}{\text{m}^2} \cdot 83,9 \cdot 10^3 \text{ km}^2 = 21 \frac{\text{kBq}}{\text{m}^2} \cdot 83,9 \cdot 10^9 \text{ m}^2 = 1,8 \cdot 10^{12} \text{ kBq}$
 $m = \frac{1,8 \cdot 10^{12} \text{ kBq}}{3,2 \cdot 10^{12} \frac{\text{Bq}}{\text{g}}} = \frac{1,8 \cdot 10^{12} \text{ kBq}}{3,2 \cdot 10^{12} \frac{\text{kBq}}{\text{kg}}} = 0,56 \text{ kg}$

- 4 a) Im Atomkern wandelt sich ein Neutron in ein Proton und in ein Elektron um. Das Proton verbleibt im Atomkern. Das Elektron verlässt den Kern mit hoher kinetischer Energie. (Ein Teil der frei gewordenen Kernenergie wird als γ -Strahlung abgegeben.)
 b) Verwendung eines Magnetfeldes oder Verwendung eines elektrischen Feldes



γ -Strahlen werden im magnetischen und elektrischen Feld nicht abgelenkt, β -Strahlen dagegen werden sowohl im magnetischen als auch im elektrischen Querfeld abgelenkt, da sie aus negativ geladenen Elektronen bestehen.

- c) und d)



Antwort: Nach 50 Jahren hat die Aktivität auf $1,0 \cdot 10^{14}$ Bq abgenommen.

- e) geg.: $T = 30,08 \text{ a}; \frac{A(t)}{A_0} = 1 - 80\% = 20\% = 0,20$
 ges.: $t_{0,20}$
 Ansatz: $A(t) = A_0 \cdot \frac{1}{2}^{\left(\frac{t}{T}\right)} \quad | : A_0 \quad | \cdot \log_{0,5}()$
 $\log_{0,5} \left(\frac{A(t)}{A_0} \right) = \frac{t}{T} \quad | \cdot T$
 Rechnung: $t_{0,20} = T \cdot \log_{0,5} \left(\frac{A(t_{0,20})}{A_0} \right) = 30,08 \text{ a} \cdot \log_{0,5} 0,20 = 70 \text{ a}$

- 5 a) Durch Inhalation gelangt die radioaktive Substanz direkt in die menschliche Lunge. Ein α -Strahler besitzt ein großes Ionisationsvermögen, das sich im menschlichen Körper besonders stark auswirkt. (Da die Lungenbläschen aufgrund des Gasaustauschs besonders empfindlich sind, richtet ein inkorporierter α -Strahler in der Lunge einen besonders hohen Schaden an.) Außerdem bleibt es mit einer Halbwertszeit von 138 Tagen ziemlich lange in der Lunge: Nach 138 Tagen ist immer noch die Hälfte des Stoffes vorhanden.
 b) Natürliche Strahlungsquellen, denen der Mensch zwangsläufig ausgesetzt ist, sind:
- kosmische Strahlung: Das ist eine hochenergetische Strahlung, die von der Sonne, der Milchstraße und anderen fernen Galaxien ausgeht.
 - terrestrische Strahlung: Sie besteht hauptsächlich aus γ -Strahlung und geht vom Boden, vom Wasser und der Vegetation der Erde aus.

c) geg.: $E_{\text{Raucher}} = 0,10 \text{ J}; m = 70 \text{ kg}; q_{\text{Po-210}} = 20; H_{\text{Röntgen}} = 0,20 \text{ mSv}$
 ges.: n (Anzahl der Röntgenaufnahmen)

Ansatz: $D = \frac{E}{m}; H = q \cdot D; n = \frac{H_{\text{Raucher}}}{H_{\text{Röntgen}}}$

Rechnung: $D_{\text{Raucher}} = \frac{0,10 \text{ J}}{70 \text{ kg}} = 1,4 \text{ mGy}$

$$H_{\text{Raucher}} = q \cdot D = 20 \cdot 1,4 \text{ mGy} = 28 \text{ mSv}$$

$$n = \frac{28 \text{ mSv}}{0,20 \text{ mSv}} = 14 \cdot 10^1$$

Antwort: Es sind ca. 140 Röntgenaufnahmen der Lunge im Jahr notwendig, um die gleiche Strahlenbelastung wie beim Rauchen zu erhalten.

d) Lösungsmöglichkeiten:

- somatische Schäden: Lungenkrebs, Leukämie, Leber- und Blasenkrebs, Darmkrebs, Sterilität
- teratogene Schäden: Missbildungen von Embryonen, Schwangerschaftsabbrüche
- genetische Schäden: Erbkrankheiten bei Nachkommen

6 a) Der Deuterium-Atomkern H-2 enthält ein Neutron weniger als der Tritium-Atomkern H-3.



c) Damit die Kernfusion stattfindet, müssen die beiden Kerne so nah zusammenkommen, dass die zur Verschmelzung notwendigen, kurzreichweitigen anziehenden Kernkräfte der sogenannten „starken Wechselwirkung“ wirken können. Da die Atomkerne positiv geladen sind, wirken zwischen den Kernen abstoßende elektrische Kräfte, deren Reichweite größer ist als die der Kernkräfte. Erst bei extrem hohen Temperaturen besitzen die Kerne ausreichend kinetische Energie, um einen hinreichend kleinen Abstand zu erlangen, damit die anziehenden Kernkräfte die elektrisch abstoßenden Kräfte überwinden.

d) α -Strahlung besteht aus (positiv geladenen) Heliumkernen, die jeweils aus zwei Protonen und zwei Neutronen zusammengesetzt sind. Da ein Tritiumkern (H-3) aus nur einem Proton und zwei Neutronen besteht, kann er kein α -Teilchen (He-4) durch Zerfall aussenden.

7 a) Der Atomkern Ca-45 besteht aus 20 positiv geladenen Protonen und 25 elektrisch neutralen Neutronen. In der Atomhülle des neutralen Atoms befinden sich 20 negativ geladene Elektronen.

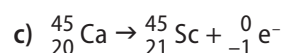
b) Lösungsmöglichkeiten:

Medizin

- Strahlentherapie
- Diagnostik (z. B. Szintigrafie)
- Sterilisierung von medizinischen Geräten

Technik

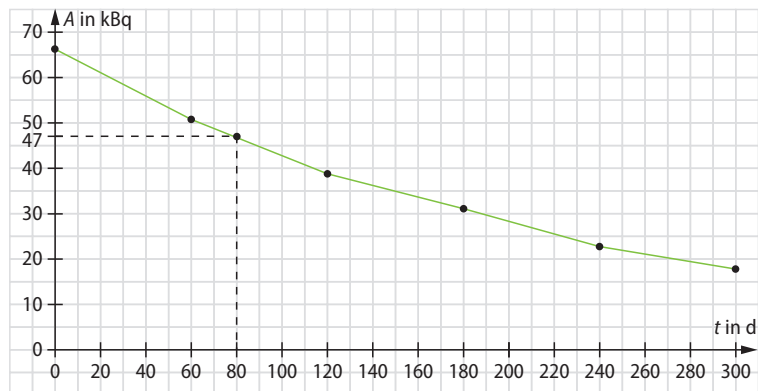
- Schichtdickenmessung
- Überprüfung von Schweißnähten
- Sterilisierung von Produkten (z. B. Gewürze, Joghurt, Kinderspielzeug)



d) Isotope desselben Elements liegen im Z-A-Diagramm senkrecht übereinander, da sie dieselbe Kernladungs- oder Protonenzahl Z , aber unterschiedliche Nukleonenzahlen A besitzen.

e) Die Abstände zwischen den einzelnen Nukleonen im Kern sind sehr gering. Deshalb sind die anziehenden, kurzreichweitigen Kernkräfte („starke Wechselwirkung“) zwischen den Nukleonen größer als die abstoßenden, langreichweitigen elektrostatischen Kräfte und bewirken somit die Stabilität von Atomkernen.

8 a) und b)



Antwort: Nach 80 Tagen ist eine Aktivität von ca. 47 kBq zu erwarten.

c) Hinweis: Man kann die folgende Rechnung mit allen Wertepaaren der Tabelle durchführen, in den allermeisten Fällen ergibt sich die identische Halbwertszeit von rund 162 Tagen.

geg.: $A_0 = 66,0 \text{ kBq}$; $A(t) = 18,3 \text{ kBq}$; $t = 300 \text{ d}$

ges.: T

$$\text{Ansatz: } A(t) = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad | : A_0 \quad | \cdot \log_{0,5} ()$$

$$\log_{0,5} \left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = \frac{t}{T} \quad | \cdot T \quad | : \log_{0,5} \left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$$

$$\text{Rechnung: } T = \frac{t}{\log_{0,5} \left(\frac{A(t)}{A_0}\right)} = \frac{300 \text{ d}}{\log_{0,5} \left(\frac{18,3 \text{ kBq}}{66,0 \text{ kBq}}\right)} = 162 \text{ d}$$

9 a) ${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow {}_{28}^{60}\text{Ni} + {}_{-1}^0\text{e}^- + \gamma$
 b) geg.: $T = 5,3 \text{ a}$; $\frac{A(t)}{A_0} = 1 - 40\% = 60\% = 0,60$; Anfangsjahr aktuelles Kalenderjahr

ges.: $t_{0,60}$; Endjahr

$$\text{Ansatz: } A(t) = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad | : A_0 \quad | \cdot \log_{0,5} ()$$

$$\log_{0,5} \left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = \frac{t}{T} \quad | \cdot T$$

$$\text{Rechnung: } t_{0,60} = T \cdot \log_{0,5} \left(\frac{A(t_{0,60})}{A_0}\right) = 5,3 \text{ a} \cdot \log_{0,5} 0,60 = 3,9 \text{ a}$$

Antwort: Die Strahlungsquelle muss nach etwa 3,9 Jahren ausgetauscht werden.

c) Die fünf „A“ des Strahlenschutzes lauten:

- Abstand erhöhen
- Abschirmung verstärken
- Aufenthaltsdauer verkürzen (evtl. Strahlendosis messen/dokumentieren)
- Aktivität vermindern
- Aufnahme in den Körper vermeiden

d) geg.: $D = 10 \text{ kGy}$; $m = 8,0 \text{ t}$

ges.: E

$$\text{Ansatz: } D = \frac{E}{m} \quad | \cdot m$$

$$\text{Rechnung: } E = D \cdot m = 10 \cdot 10^3 \text{ Gy} \cdot 8,0 \cdot 10^3 \text{ kg} = 8,0 \cdot 10^7 \text{ J} = 80 \text{ MJ}$$