SMART

Sammlung mathematischer Aufgaben als Hypertext mit TEX

Gymnasium Jahrgangsstufe 8: Energieerhaltung – ein fundamentales Naturprinzip (Physik)

herausgegeben vom

Zentrum zur Förderung des
mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts
der Universität Bayreuth*

30. Juli 2010

Nutzung bedarf der vorherigen Genehmigung.

Inhaltsverzeichnis

1 Energie als Erhaltungsgröße

1.1 Energieumwandlung

1. Bungeespringer

   Untersucht das Verhalten eines Bungeespringers unter dem Gesichtspunkt der Energieumwandlung!

   - Welche Formen mechanischer Energie treten auf?
   - An welcher Stelle hat der Bungeespringer die größte Geschwindigkeit?
   - Baut dazu ein Modell eines Bungeespringers mit einfachen Mitteln aus der Physiksammlung!

   Präsentiert eure Ergebnisse auf einem Poster mit Zeichnungen und Illustrationen und findet mit Hilfe des Internets etwas über die Ursprünge und die Gefahren des Bungeespringens heraus!

   Quelle: Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung

Lösung:

1.2 Goldene Regel der Mechanik, Kraftwandler

1. **Flaschenzug**

   Ein Körper der Masse m wird mit einem Flaschenzug mit n losen Rollen um den Weg h hochgehoben.

   (a) Gib eine Formel an, mit der man aus G die dazu benötigte Zugkraft und aus h den Zugweg berechnen kann.

   (b) Wie kann man experimentell den Zusammenhang zwischen Anzahl der losen Rollen und Zugkraft beim Flaschenzug untersuchen. (Aufbau, Durchführung)

   (c) Wie und warum unterscheidet sich die in (a) berechnete Kraft von den experimentellen Werten?

Lösung: (a) $F = \frac{1}{2^n} \cdot G$; $s = 2^n \cdot h$

(b)

(c) experimentell bestimmte Zugkraft ist größer, wegen Reibung und Gewicht der Rollen

2. **Hebel**
   (a) Auf einer Wippe kommt Clara nicht nach unten, wenn ihr großer Bruder Bernd am anderen Ende sitzt. Clara will wippen und sagt ihrem Bruder, wie er sich verhalten soll, damit das gelingt. Was soll Bernd tun? Begründen deine Antwort.
   (b) Zerbrich ein Streichholz in zwei gleich große Stücke. Danach soll jedes der beiden Stücke nochmals in zwei kleinere Stücke zerbrochen werden. Was spürt man beim Zerbrechen? Beschreibe die Beobachtungen und erklären diese mit physikalischen Begriffen.

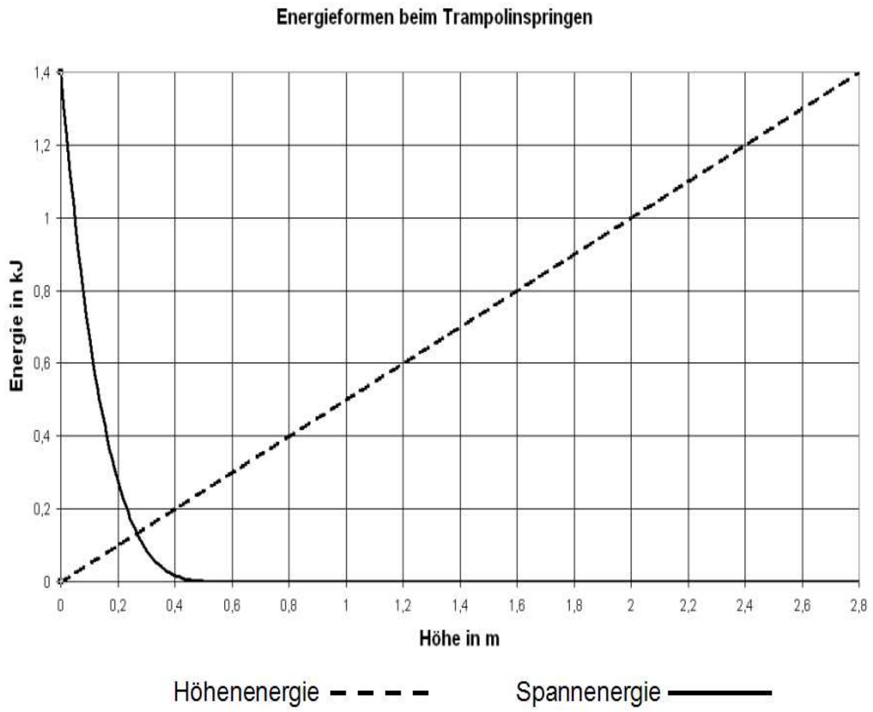
   Quelle: Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss, Beschluss vom 16.12.2004

Lösung: (a) Bernd soll näher zum Mittelpunkt der Wippe rutschen, dann kann er mit Clara wippen. Bernd ist schwerer als Clara. Bei geeigneten Abständen der Kinder zum Drehpunkt ist die Wippe dennoch im Gleichgewicht. Durch Störung des Gleichgewichtes können die Kinder wippen. Das ist möglich durch Abstoßen (zusätzliche Kraft) oder durch Verlagerung der Schwerpunkte (Änderung der Abstände zum Drehpunkt).

(b) Beim ersten Mal ist das Zerbrechen ohne großen Kraftaufwand durchzuführen. Die zwei entstandenen kürzeren Stücke sind nur mit einem deutlich höheren Kraftaufwand zu zerbrechen. Das Streichholz kann in diesem Fall als ein zweiseitiger Hebel angesehen werden. Beim ersten Bruch sind die beiden Hebelarme noch länger (geringerer Kraftaufwand). Beim Zerbrechen der kurzen Stücke sind die Hebelarme kürzer (größerer Kraftaufwand).

1.3 Höhenenergie, kinetischen Energie, Spannenergie, Energieerhaltung

1. Trampolinspringer
   Im Diagramm unten siehst du in Abhängigkeit von der Höhe die Energieformen eines Trampolinspringers, der sich in unterschiedlichen Höhen bewegt. Dabei werden Höhenenergie, Spannenergie und kinetische Energie annähernd vollständig und verlustfrei ineinander umgewandelt, so dass die Gesamtenergie als konstant angenommen werden kann. Der tiefste Punkt des Springers wird dabei als Punkt mit der Höhenenergie 0 definiert.



(a) Beschreibe mit Hilfe des Diagramms, welche Energieformen beim Trampolinspringen in welcher Sprungphase vorliegen. Beschreibe auch mit Worten den Verlauf der kinetischen Energie.

(b) Zeichne in das Diagramm den Verlauf der kinetischen Energie ein, wobei in der Höhe 2,8 m ausschließlich Höhenenergie vorliegen soll.

(c) Entnimm deinem Diagramm, in welcher Höhe in etwa die kinetische Energie maximal ist! Wie groß ist diese ungefähr, wie groß ist ihr Anteil an der Gesamtenergie?

Quelle: Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung

Lösung: In ca. 35 cm Höhe ist E_{kin} maximal, sie beträgt etwa $1,2kJ$. Das sind ca. 84% der Gesamtenergie.

2. Der Dachdecker und die Tonne I
Über ein Rolle sind der Dackdecker (75kg) mit einer Tonne (25kg) mit Ziegel (250kg) verbunden. Zu Beginn befindet sich die Tonne im 6. Stock (3m pro Stockwerk) und der Dachdecker am Boden.

   (a) Fertige eine Skizze mit den wirkenden Kräften an. Welche Beschleunigung erfährt der Dachdecker?

   (b) Welche Höhenenergie hat die Tonne mit den Ziegeln zu Beginn?

   (c) Welche Energieumwandlungen findet statt, wenn der Dachdecker bis zum 6. Stock nach oben gezogen wird?

(d) Welche Höhenenergie hat der Dachdecker im 6. Stock?

(e) Mit welcher Geschwindigkeit kommt der Dachdecker im 6. Stock an?

Lösung: (a) $F_{ges} = 2,0kN$; $a = 5,7\frac{m}{s^2}$

(b) $E_{pot1} = 48kJ$

(c) $E_{pot,Tonne} \downarrow$, $E_{pot,Dachdecker} \uparrow$,$E_{kin,Tonne} \uparrow$, $E_{kin,Dachdecker} \uparrow$,

(d) $E_{pot2} = 13kJ$

(e) $v = 14\frac{m}{s}$

3. Der Dachdecker und die Tonne II
Über ein Rolle sind der Dackdecker (75kg) mit einer Tonne (25kg) mit Ziegel (250kg) verbunden. Der Dachdecker wird von der Tonne nach oben gezogen; die Tonne bewegt sich nach unten. Beim Aufprall der Tonne auf dem Boden fällt der Boden aus der Tonne und die Ziegel fallen heraus. Nun bewegt sich der Dachdecker wieder nach unten.

   (a) Fertige eine Skizze mit den wirkenden Kräften an. Welche Kraft und Beschleunigung erfährt der Dachdecker?

   (b) Welche Höhenenergie hat die Tonne bzw. der Dachecker im 6. Stock (3m pro Stockwerk)?

   (c) Mit welcher Geschwindigkeit trifft der Dachdecker am Boden auf?

   (d) Nun reißt das Seil. Mit welcher Geschwindigkeit trifft die Tonne am Boden auf?

Lösung: (a) $F_{ges} = 0,49kN$; $a = 4,9\frac{m}{s^2}$

(b) $E_{pot,Tonne} = 4,4kJ$, $E_{pot,Dachdecker} = 13kJ$

(c) $E_{kin1} = 13kJ - 4,4kJ = 8,6kJ$; $v = 13\frac{m}{s}$

(d) $E_{kin2} = 19\frac{m}{s}$

4. Inlineskater

   Die Bildsequenz einen Inlineskater auf einer Halfpipe. Die Bilder haben einen zeitlichen Abstand von 0,50 s.

1)	2)	3)
		
4)	5)	6)
		

(a) Treffe zu jedem der sechs Bilder eine Aussage über die jeweils vorhandenen Energieformen. Gib an wie sich die jeweiligen Energieformen gegenüber dem vorangegangenen Bild verändert haben und wann Maximalwerte erreicht sind.

(b) Bestimme an Hand der Bilder 3 und 4, wie schnell der Inlineskater in der Ebene in etwa ist. Die Halfpipe ist etwa 3 m hoch.

(c) Berechne die Gesamtenergie des Inlineskater. Er hat eine Masse von 35 kg.

Quelle: Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung

Lösung: Die Geschwindigkeit beträgt in etwa $8\frac{m}{s}$. Die kinetische Energie beträgt in etwa $1,1kJ$

5. Hans und Eva spielen mit Würfeln der Kantenlänge $a = 12\,\mathrm{cm}$ und der Masse $m = 400\,\mathrm{g}$. Hans stapelt acht der Würfel, die alle auf dem Boden liegen, der Reihe nach aufeinander zu einem Turm. Eva schiebt ebenfalls acht Würfel auf dem Boden zu einem Turm zusammen und stellt dann den ganzen Turm auf einmal senkrecht.

   (a) Welche Gesamtarbeit W_H verrichtet Hans an den Würfeln?

   (b) Welche Arbeit W_E verrichtet Eva beim Aufstellen des Turms?

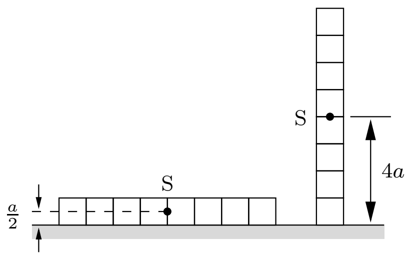
   Tipp: Du darfst dir die ganze Masse des Turms in seinem Mittelpunkt (Schwerpunkt) vereint denken.

Lösung: (a) Der erste Würfel bleibt liegen, also $h_1 = 0$, der zweite Würfel wird um $h_2 = a$ gehoben, der dritte um $h_3 = 2a$ usw.:

$$W = mgh_1 + mgh_2 + \,...\, + mgh_8 = mg(a + 2a + \,...\, + 7a) =$$
$$= mga(1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7) = 28mga = 13{,}2\,\mathrm{J}$$

(b) Wenn der Turm am Boden liegt, ist der Schwerpunkt in der Höhe $h_1 = \frac{a}{2}$, beim senkrecht stehenden Turm in der Höhe $h_2 = 4a$. Der Schwerpunkt wird um $h_2 - h_1$ gehoben:

$$W = 8mg\left(4a - \frac{a}{2}\right) = 8mg \cdot \frac{7a}{2} = 28mga$$

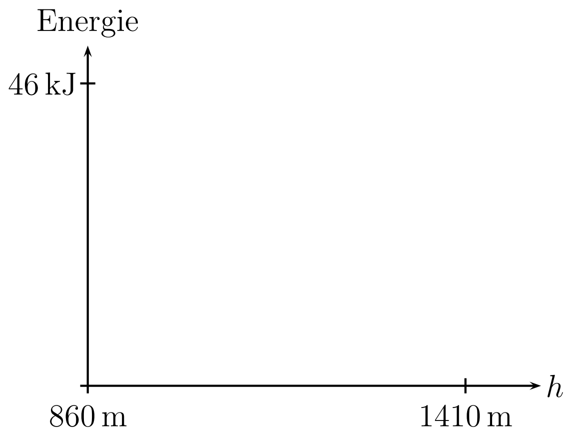


6. (a) Ein Mtb–Fahrer benötigt für die 6,2 km lange Strecke von vom Finzbach zur Krüner Alm 27 min. Sein Startpunkt beim Finzbach liegt auf 860 müNN und sein Ziel bei 1410 müNN. Die Masse seines Körpers und seines Fahrrades beträgt 85 kg ($g = 9{,}81\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}^2}$). Berechne die durchschnittliche Leistung, die der Mtb–Fahrer erbringt.

(b) Nachdem der Mtb–Fahrer an der Krüner Alm angekommen ist, fährt er wieder zurück zum Ausgangspunkt am Finzbach. In nebenstehendem Diagramm ist in der Horizontalen die Höhe über NN eingetragen. In der Vertikalen werden Energien eingetragen. Die Höhenergie soll für $h = 860\,\mathrm{m}$ Null sein. Trage den Verlauf der

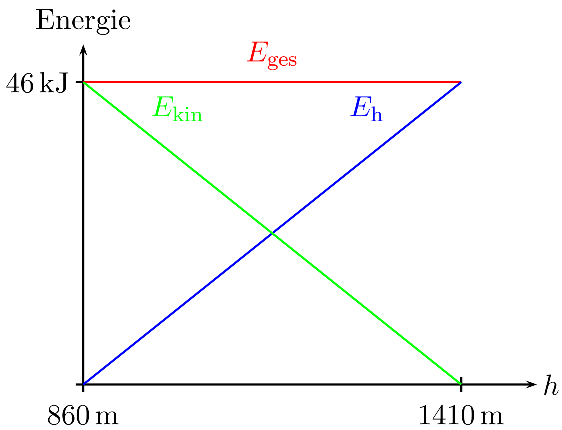
i. Höhenenergie,
ii. kinetischen Energie und
iii. Gesamtenergie

ein und kennzeichne die Kurven.



Lösung: (a) $P = \frac{m\,g\,h}{t} = \frac{85\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 550\,\mathrm{m}}{1620\,\mathrm{s}} = 0{,}28\,\mathrm{kW}$

(b)



7. (a) Welche Hubarbeit verrichtet ein Bauarbeiter der Masse $m = 75\,\mathrm{kg}$, der einen Zementsack der Masse $m_1 = 40\,\mathrm{kg}$ vom Garten in den zweiten Stock trägt ($h = 7{,}2\,\mathrm{m}$)?
   (b) Welche Reibungsarbeit wird von Käptn Hook verrichtet, der eine Schatzkiste mit der konstanten Kraft $F = 120\,\mathrm{N}$ 80 m über den Boden schleift?
   (c) Welche Beschleunigungsarbeit wird an einer Gewehrkugel der Masse $m = 25\,\mathrm{g}$ verrichtet, die von null auf $v = 410\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ beschleunigt wird?
   (d) Welche Spannarbeit wird an einer Feder der Härte $D = 4500\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$ verrichtet, die vom entspannten Zustand aus um 6,4 cm zusammengedrückt wird?

Lösung: (a) $W_\mathrm{h} = (m + m_1)gh = 115\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot 7{,}2\,\mathrm{m} = 8{,}1\,\mathrm{kJ}$

(b) $W = 120\,\mathrm{N} \cdot 80\,\mathrm{m} = 9600\,\mathrm{J} = 9{,}6\,\mathrm{kJ}$

(c) $W = \frac{m}{2}v^2 = \frac{0{,}025\,\mathrm{kg}}{2} \cdot 410^2\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} = 2{,}1 \cdot 10^3\,\mathrm{J} = 2{,}1\,\mathrm{kJ}$

(d) $W = \frac{D}{2}\Delta x^2 = \frac{4500\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}}{2} \cdot 0{,}064^2\,\mathrm{m}^2 = 9{,}2\,\mathrm{J}$

8. **Bungee-Springen mit der Feder**

   An einer Feder mit der Federhärte $D = 1\frac{N}{m}$ hängt ein Massestück mit 20g. Die Feder hat dann eine Länge von $l_1 = 30cm$.

   (a) Wie lange wäre die Feder, wenn man das Massestück wegnehmen würde?
   (b) Wie kann man die Federhärte D experimentell bestimmen?

   Nun wird die Feder auf eine Länge von $l_2 = 100cm$ gedehnt und anschließend losgelassen. Das Massestück bewegt sich nach oben und springt über den Aufgängepunkt der Feder hoch.

   (c) Beschreibe die Energieumwandlungen die auftreten vom Loslassen des Massestücks bis zum Erreichen des Höchsten Punkts.
   (d) Berechne die Spannenergie der Feder im gedehnten Zustand.
   (e) Berechne die Sprunghöhe des Massestücks.
   (f) Nach Erreichen des höchsten Punkts fällt das Massestück auch den Boden. Mit welcher Geschwindigkeit trifft es dort auf?

Lösung: (a) $G = 0,2N$, $\Delta s = \frac{G}{D} = \frac{0,2N}{1\frac{N}{m}} = 0,2m$, $l_0 = l_1 - \Delta s = 10cm$

(b) Z. B.: verschiedene Massestücke (Masse m_i) an die Feder hängen und die zugehörige Dehnung Δs_i messen; jeweils Federhärte $D = \frac{m_i \cdot g}{\Delta s_i}$ berechnen und Mittelwert bilden

ODER s-F-Diagramm zeichnen und Steigung der Ausgleichsgerade bestimmen

(c)

(d) $E_{sp} = \frac{1}{2}Ds^2 = \frac{1}{2} \cdot 1\frac{N}{m} \cdot 1,9m^2 = 1,8J$

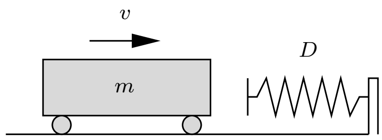
(e) $E_{pot} = E_{sp} = mgh \Rightarrow h = \frac{1,8J}{0,02kg \cdot 9,81\frac{m}{s^2}} = 9,2m$

(f) Auftreffgeschwindigkeit hängt davon ab, wie weit über dem Boden das Massestück zu Beginn ist; Annahme: Massestück ist zu Beginn $1m$ über dem Boden $\Rightarrow$

$E_{kin} = E_{sp} + E_{pot,1m} = 1,8J + 0,02kg \cdot 9,81\frac{m}{s^2} \cdot 1m = 2,0J$,

$v^2 = \frac{2E_{kin}}{m} \Rightarrow v = 14\frac{m}{s}$

9. Ein Eisenbahnwaggon der Masse $m = 1{,}50 \cdot 10^4$ kg prallt mit der Geschwindigkeit $v = 0{,}52\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ auf eine starke Feder mit der Federkonstanten D. Der Waggon kommt zum Stillstand, wenn die Feder um $\Delta x = 65$ cm zusammengedrückt ist.



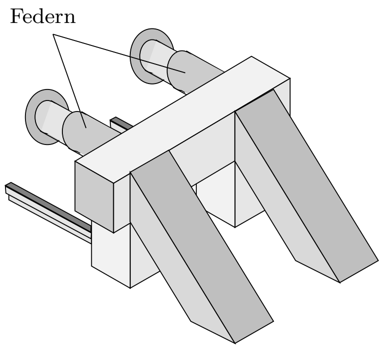
(a) Welche Energieumwandlung tritt während des Bremsvorgangs auf?

(b) Berechne D.

Lösung: (a) Die kinetische Energie des Waggons wandelt sich in die Spannenergie der Feder um.

(b) $\frac{m}{2}\,v^2 = \frac{D}{2}\,\Delta x^2 \quad \Longrightarrow \quad D = \frac{mv^2}{\Delta x^2} = \frac{1{,}5 \cdot 10^4\,\text{kg} \cdot 0{,}52^2\,\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{0{,}65^2\,\text{m}^2} = 9{,}6 \cdot 10^3\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$

10. Der Prellbock am Ende eines Gleises enthält zwei starke Federn der Härte $D = 2{,}5 \cdot 10^6\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$ (je Feder). Ein Waggon der Masse $m = 18$ t prallt mit der Geschwindigkeit $v = 18\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf den Prellbock. Berechne die kinetische Energie des Waggons vor dem Aufprall und die Strecke x, um die die Federn zusammengedrückt werden.



Lösung: $W_\text{k} = \frac{m}{2}\,v^2 = 9000\,\text{kg} \cdot \left(5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 225000\,\text{J} = 2 \cdot \frac{D}{2}\,x^2 = Dx^2$

$x^2 = \frac{W_\text{k}}{D} = 0{,}09\,\text{m}, \qquad x = 0{,}3\,\text{m}$

11. (a) Mit welcher Geschwindigkeit prallt ein Stein auf den Boden, der von einem 24,0 m hohen Turm fällt? Ergebnis in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ und $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

(b) Ein Eisenbahnwaggon der Masse m prallt mit der Geschwindigkeit $v = 0{,}52\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ auf eine starke Feder mit der Federkonstanten $D = 9{,}6 \cdot 10^3\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$. Der Waggon kommt zum Stillstand, wenn die Feder um $\Delta x = 65\,\mathrm{cm}$ zusammengedrückt ist. Berechne m.

Lösung: (a) $\frac{m}{2}\,v^2 = mgh \quad\Longrightarrow\quad v^2 = 2gh = 470{,}88\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} \quad\Longrightarrow\quad v = 21{,}7\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 78{,}1\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$

(b) $\frac{m}{2}\,v^2 = \frac{D}{2}\,\Delta x^2 \quad\Longrightarrow\quad m = \frac{D\Delta x^2}{v^2} = \frac{9{,}6 \cdot 10^3\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}^2} \cdot 0{,}65^2\,\mathrm{m}^2}{0{,}52^2\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}} = 1{,}50 \cdot 10^4\,\mathrm{kg}$

1.4 Arbeit

1. Arbeit und Leistung
   Führe die folgenden Aufgaben zusammen mit anderen Schülern aus.

   (a) Leistung beim Treppensteigen

   - Bestimme im Treppenhaus die senkrechte Höhe der Treppe vom Erdgeschoss bin in den zweiten Stock.
   - Ein Schüler läuft schnell die Treppe hinauf, die anderen stoppen die dafür benötigte Zeit.
   - Bestimme für jeden Schüler die Masse.
   - Stelle für die verschiedenen Schüler die Masse, die Gewichtskraft, die verrichtete Arbeit, die benötigte Zeit und die Leistung in einer Tabelle da.
   - Wer hat am meisten geleistet?

   (b) Leistung beim Gewichtheben

   - Ein Schüler stemmt eine Handel n-mal, die anderen stoppen die dafür benötigte Zeit.
   - Bestimme die Masse und die Hubhöhe der Hantel.
   - Stelle für die verschiedenen Schüler die Masse, die Gewichtskraft, die verrichtete Arbeit, die benötigte Zeit und die Leistung in einer Tabelle da.
   - Wer hat am meisten geleistet?

   (c) Leistung bei Liegestützen

   - Bestimme mit einer Personenwaage die Kraft, mit der sich ein Schüler bei der Liegestütze abstützt.
   - Bestimmt an der Schulter die Hubhöhe bei der Liegestütze.
   - Ein Schüler macht n Liegestützen, die anderen stoppen die dafür benötigte Zeit.
   - Stelle für die verschiedenen Schüler die Kraft, die Hubhöhe, die verrichtete Arbeit, die benötigte Zeit und die Leistung in einer Tabelle da.

- Wer hat am meisten geleistet?

Lösung:

2. Reißen beim Gewichtheben
   Beim Gewichtheben muss man eine Langhantel vom Boden aus zur Lage über dem Kopf bei ausgestreckten Armen (sogenannte Hochstrecke!) bringen. Bei der Disziplin „Reißen“ wird die Hantel in einem Zug zur Hochstrecke gebracht. Dabei greift der Gewichtheber die Hantel so nahe an den Gewichtsscheiben, dass sie in der Hochstrecke nur wenig über dem Kopf liegt. Der amtierende iranische Weltrekordler im Reißen Hossein Rezazadeh brachte es am 14.09.2003 auf 213 kg.

   Berechne unter der Annahme eines Höhenunterschiedes von 1,80 m zwischen Boden und Hochstrecke

   (a) die vom Gewichtheber an der Hantel verrichtete Arbeit.

   (b) den Zuwachs an Höhenenergie, den die Hantel dabei erhält.

   Quelle: Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung

Lösung: (a) Die verrichtete Arbeit ist $3,8kJ$.

(b) Der Zuwachs an Höhenenergie ist ebenfalls $3,8kJ$.

1.5 Leistung, Wirkungsgrad

1. Schreibe in die Kästchen entweder **w** für *wahr* oder **f** für *falsch*:

   Energie ...

... ist gespeicherte Arbeit	☐	... ist Leistung pro Zeit	☐
... hat die Einheit $\frac{\mathrm{J}^2}{\mathrm{Nm}}$	☐	... ist Zeit mal Leistung	☐
... hat die Einheit Ws	☐	... ist Kraft durch Weg	☐
... hat die Einheit $\mathrm{N} \cdot \mathrm{cm}$	☐	... ist in einem abgeschlossenen System konstant	☐

Raum für erforderliche Nebenrechnungen:

Lösung: Energie ...

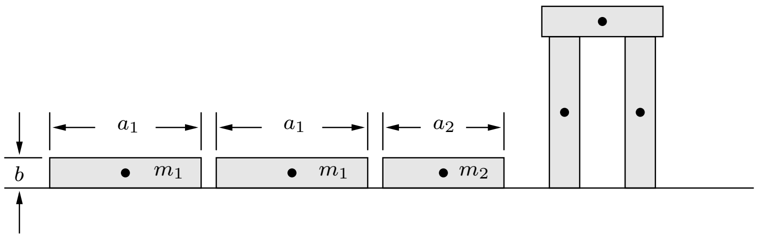
... ist gespeicherte Arbeit	w	... ist Leistung pro Zeit	f
... hat die Einheit $\frac{\mathrm{J}^2}{\mathrm{Nm}}$	w	... ist Zeit mal Leistung	w
... hat die Einheit Ws	w	... ist Kraft durch Weg	f
... hat die Einheit $\mathrm{N} \cdot \mathrm{cm}$	w	... ist in einem abgeschlossenen System konstant	w

Raum für erforderliche Nebenrechnungen:

$$\frac{\mathrm{J}^2}{\mathrm{Nm}} = \frac{\mathrm{J}^2}{\mathrm{J}} = \mathrm{J}, \qquad \mathrm{Ws} = \tfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} \cdot \mathrm{s} = \mathrm{J}$$

2. Mit drei quaderförmigen, am Boden liegenden Betonblöcken wird ein Modell eines Teils von Stonehenge (rechte Figur in der Abbildung) errichtet.

$a_1 = 7{,}00\,\mathrm{m}$
$a_2 = 5{,}00\,\mathrm{m}$
$b = 1{,}60\,\mathrm{m}$
$m_1 = 45{,}0\,\mathrm{t}$
$m_2 = 32{,}0\,\mathrm{t}$



(a) Welche Gesamtarbeit W_{ges} wird beim Aufrichten der Blöcke verrichtet? Du darfst dir die ganze Masse der Betonblöcke in ihren Mittelpunkten (Schwerpunkten) vereint denken.

(b) Der obere Block wird von einem Kran vom Boden aus in seine Endlage gebracht. Der Kran wird von einem Elektromotor mit der elektrische Leistung $P_{\mathrm{e}} = 10{,}0\,\mathrm{kW}$ und dem Wirkungsgrad 80 % angetrieben. Wie lange dauert das Anheben des Blocks?

(c) Durch eine Unvorsichtigkeit fällt der obere Block wieder herunter. Mit welcher Geschwindigkeit v prallt er auf den Boden?

Lösung: (a) $$W_1 = 2 \cdot m_1 g \left(\frac{a_1}{2} - \frac{b}{2}\right) = 90\,000\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot 2{,}7\,\mathrm{m} = 2{,}38 \cdot 10^6\,\mathrm{J}$$

$$W_2 = m_2 g a_1 = 32\,000\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot 7\,\mathrm{m} = 2{,}20 \cdot 10^6\,\mathrm{J}$$

$$W_{\mathrm{ges}} = W_1 + W_2 = 4{,}58 \cdot 10^6\,\mathrm{J}$$

(b) $$80\,\% \cdot P_{\mathrm{e}} \cdot \Delta t = W_2 \quad \Longrightarrow \quad \Delta t = \frac{W_2}{0{,}8\,P_{\mathrm{e}}} = \frac{2{,}20 \cdot 10^6\,\mathrm{J}}{8000\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}} = 275\,\mathrm{s}$$

(c) $$\frac{m}{2} v^2 = m g a_1 \quad \Longrightarrow \quad v^2 = 2 g a_1 = 2 \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 7\,\mathrm{m} = 137{,}34\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}$$

$$\Longrightarrow \quad v = 11{,}7\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 42\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$$

3. Ein Auto fährt mit der konstanten Geschwindigkeit $v = 126\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf der Autobahn dahin und wird dabei von der Kraft $F_\text{A} = 400\,\text{N}$ angetrieben.
   (a) Beschreibe ganz genau, warum das Auto trotz der Antriebskraft nicht beschleunigt wird!
   (b) Wie ist die physikalische Größe *Leistung* definiert? Ausgehend von dieser Definition ist die Leistung zu berechnen, die der Automotor während der Fahrt aufbringt.

Lösung: (a) Die Reibungskraft (Rollreibung und Luftwiderstand) wirkt der Antriebskraft entgegen, die Gesamtkraft auf das Auto ist null.

$$F_\text{ges} = F_\text{A} - F_\text{R} = ma = 0 \quad\Longrightarrow\quad a = 0 \quad\Longrightarrow\quad v = \text{konstant}$$

(b) $P = \dfrac{\Delta W}{\Delta t} = \dfrac{F_\text{A}\cdot\Delta x}{\Delta t} = F_\text{A}\cdot v = 400\,\text{N}\cdot 35\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}} = 14\,\text{kW}$

4. Ein Hybridauto wird von einem Benzin- und von einem Elektromotor angetrieben. Beim Bremsen des Autos wird die kinetische Energie mit Hilfe eines Dynamos in einem Akku gespeichert. Der Akku treibt bei Bedarf den Elektromotor an (Wirkungsgrad $\eta = 80\%$). Der Verbrennungsmotor des Autos bringt mit einem Liter Benzin die Energie 9,0 MJ auf die Straße.

   Das Auto der Masse $m = 800\,\text{kg}$ bremst bei einer Fahrt durch die Stadt 50 mal von der Geschwindigkeit $v_1 = 54\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf $v_2 = 18\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ ab. Wie viele Liter Benzin spart die dadurch im Akku gespeicherte Energie ein?

Lösung: Der Elektromotor bringt die Energie

$$W = 0{,}8\cdot 50\cdot\left(\frac{m}{2}v_1^2 - \frac{m}{2}v_2^2\right) = 0{,}8\cdot 25\cdot 800\,\text{kg}\cdot\left(15^2 - 5^2\right)\,\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 3{,}2\,\text{MJ}$$

auf die Straße. Das ergibt eine Einsparung von $\dfrac{3{,}2}{9}\,\text{l} = 0{,}36\,\text{l}$.

5. Bei einem Wasserkraftwerk fallen in $\Delta t = 1{,}50\,\text{min}$ $200\,\text{m}^3$ Wasser auf die $h = 150\,\text{m}$ tiefer liegenden Turbinen (ein Liter Wasser hat die Masse 1 kg). Der Wirkungsgrad der Anlage beträgt 80%.

   Berechne die Leistung P_W des fallenden Wassers und die von den Generatoren abgegebene elektrische Leistung P_e.

Lösung: $1\,\text{m}^3 = 1000\,\text{dm}^3 \quad\Longrightarrow\quad m = 200\cdot 1000\,\text{kg} = 200\,000\,\text{kg}$

$\Delta W = mgh = 294{,}3\,\text{MJ}$

$P_\text{W} = \dfrac{\Delta W}{\Delta t} = \dfrac{mgh}{\Delta t} = \dfrac{294{,}3\,\text{MJ}}{90\,\text{s}} = 3{,}27\,\text{MW}$

$P_\text{e} = 0{,}8\cdot P_\text{W} = 2{,}62\,\text{MW}$

6. Ein Elektromotor nimmt die elektrische Leistung $P_\mathrm{e} = 60{,}0\,\mathrm{W}$ auf und setzt sie mit dem Wirkungsgrad $\eta = 65{,}0\%$ in mechanische Leistung um. Wie lange dauert es, bis dieser Motor eine Feder mit $D = 3900\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{cm}}$ um $\Delta x = 5{,}00\,\mathrm{cm}$ gedehnt hat?

Lösung: Die mechanische Leistung des Motors ist $P_\mathrm{m} = \eta P_\mathrm{e} = 39\,\mathrm{W}$.

$$\Delta W = P_\mathrm{m}\Delta t = \frac{D}{2}\Delta x^2$$

$$\Delta t = \frac{D\Delta x^2}{2P_\mathrm{m}} = \frac{3900\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{cm}}\cdot 25\,\mathrm{cm}^2}{2\cdot 39\,\mathrm{W}} = \frac{2500\,\mathrm{N\,cm\,s}}{2\,\mathrm{J}} = \frac{25\,\mathrm{N\,m\,s}}{2\,\mathrm{N\,m}} = 12{,}5\,\mathrm{s}$$

7. Wie schnell kann ein (professioneller) Rennradfahrer fahren?

Lösung:

- Bergab: Die Frequenz mit der ein Profi tritt ist etwa $200\,\frac{1}{\mathrm{min}}$. Die größte Übersetzung die er zur Verfügung hat ist 53 : 12 und der Radumfang beträgt 2,00 m.

  Der Berg soll nicht so steil sein, dass der Rennradfahrer nicht mehr treten muss.

  $v = 200\,\frac{1}{\mathrm{min}}\cdot\frac{53}{12}\cdot 2{,}00\,\mathrm{m} = 29{,}4\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 106\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$

- Bergauf: Ein Radprofi kann etwa eine Dauerleistung von 500 W erbringen.

  Wir sehen von Reibungsverlusten und vom Luftwiderstand ab und nehmen an, dass die Steigung 10% beträgt. Die Masse des Radfahrers inclusive Rennrad soll 85 kg betragen.

  $$P = \frac{m\,g\,h}{t} \quad\Rightarrow\quad t = \frac{m\,g\,h}{P} = \frac{m\,g\cdot 0{,}1\cdot\ell}{P}$$

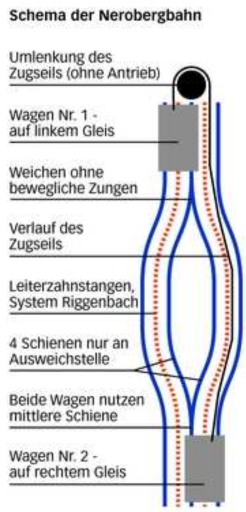
  $$v = \frac{\ell}{t} = \frac{\ell\cdot P}{m\,g\cdot 0{,}1\cdot\ell} = \frac{P}{m\,g\cdot 0{,}1} = 6{,}00\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 21{,}6\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$$

8. Wasserballastbahnen nutzen die Schwerkraft. Nach diesem Prinzip funktioniert die Nerobergbahn in Wiesbaden. Dabei sind die beiden Züge, wie im Schema gezeigt, über ein Zugseil, das über eine Umlenkrolle läuft, miteinander verbunden. An der Tal– und Bergstation befinden sich Wasserreservoire mit den Volumina von $220\,\mathrm{m}^3$ bzw. $370\,\mathrm{m}^3$. Die Masse eines Wagens beträgt 8100 kg, er kann mit maximal 7000 l Wasser beladen werden und kann maximal 40 Personen aufnehmen. Die Strecke weist eine Länge von 438 m, eine Höhendifferenz von 83 m und eine durchschnittliche Steigung von 19% auf.

   (a) Erkläre worin der Vorteil der Nerobergbahn liegt. Wie viel Energie spart man pro Fahrt gegenüber einer herkömmlichen Bahn ein (dabei sollen die Passagiere, die Haft–, Roll– sowie die Luftreibung vernachlässigt werden)? Wie viel Geld ist das bei einem Tarif von $18\,\frac{\mathrm{Cent}}{\mathrm{kWh}}$?

   (b) Wieso muss der Wagenführer an der Talstation vor Fahrtantritt dem Personal an der Bergstation mitteilen wie viele Fahrgäste sich in seinem Wagen befinden?

   (c) Obwohl ursprünglich geplant war das Wasser zum Beladen des Wagens an der Bergstation einem Bach zu entnehmen, wird es inzwischen von einer Pumpe



Quelle: `http://de.wikipedia.org/wiki/Nerobergbahn`

mit der Förderleistung von $65\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{h}}$ von der Talstation zur Bergstation gepumpt. Welche elektrische Leistung in der Einheit 1 W ist nötig um die Pumpe zu betreiben und wie lange dauert es bis das maximale Fassungsvermögen von 7000 l eines Wagens nach oben gepumpt ist?

(d) Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Bahn beträgt $7{,}3\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$. Wie lange braucht die Bahn für eine Fahrt?

(e) Obwohl der Tank eines Wagens nur maximal $7{,}0\,\mathrm{m}^3$ Wasser fassen kann ist das Fassungsvermögen der Wassertanks an Tal– und Bergstation wesentlich größer. Wieso macht man das so?

(f) Wenn die beiden Waggons genau die gleiche Masse haben, so kommt (auch wenn man die Haftreibung vernachlässigt) keiner der beiden Wagen in Bewegung. Um wie viel mehr Masse muss der Wagen an der Bergstation haben, damit er nach 30 s eine Geschwindigkeit von $9{,}0\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$ erreicht?

(g) Welchen Grund kann es haben, dass die Bahn ihre Geschwindigkeit ändert, nachdem sie ihre anfängliche Beschleunigungsphase hinter sich hat (das Bremsen vor der Talankunft ist hier nicht gemeint)?

Hinweis: Die Nerobergbahn wurde am 25. September 1888 eröffnet und ist als letzte Bergbahn diesen Typs in Deutschland heute ein technisches Kulturdenkmal.

Lösung: (a) Die Gewichtskraft der herabfahrenden Bahn und der ihn ihr enthaltenen Passagiere wird genutzt um die talwärts stehende Bahn samt Passagiere hinaufzuziehen.

Energieeinsparung: $8100\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\mathrm{ms}^{-2} \cdot 83\,\mathrm{m} = 6{,}6\,\mathrm{MJ}$. Die Kosten für diese Energie betragen 33 Cent. Somit braucht es einen nicht zu wundern, dass alle anderen als Wasserballastbahnen konzipierten Bergbahnen in Deutschland inzwischen auf elektrischen Betrieb umgestellt haben. Auch bei der Nerobergbahn war dies geplant, aber der Ausbruch des 2. Weltkriegs durchkreuzte dieses Vorhaben.

(b) Damit die Bahn funktioniert muss der Wagen an der Bergstation eine größere Masse haben, als der Wagen an der Talstation. Andererseits soll sie gerade so viel größer sein wie nötig, da Wasser das mit hinunter genommen wird, wieder nach oben gepumpt werden muss. Um die zuzuladende Wassermenge zu berechnen muss der Fahrer des Wagens an der Bergstation eigentlich sogar die Masse aller seiner Fahrgäste, die Masse der Fahrgäste im talseitigen Waggon und sämtliche Reibungsverluste kennen. Außerdem muss er Masse zum Beschleunigen seines Wagens einplanen.

(c) Leistung: $P = \frac{m\,g\,h}{t} = \frac{\varrho\,V\,g\,h}{t} = \frac{65\cdot 10^3\,\mathrm{kg}\cdot 9{,}81\,\mathrm{ms}^{-2}\cdot 83\,\mathrm{m}}{3600\,\mathrm{s}} = 15\,\mathrm{kW}$

Zeit: $t = \frac{7}{65}\cdot 1\,\mathrm{h} = 6{,}5\,\mathrm{min}$

(d) Fahrtdauer: $t = \frac{s}{v} = \frac{438\,\mathrm{m}}{10\,\mathrm{kmh}^{-1}} = 3{,}5\,\mathrm{min}$

(e) Zwar dauert es etwa doppelt so lang die 7000 l Wasser hinaufzupumpen wie die Bahn unterwegs ist, aber man kann wohl getrost davon ausgehen, dass die Zeit zwischen zwei Fahrten größer als 4 Minuten ist, wenn man vor allem bedenkt, dass das Wasser in die Wagen bzw. aus ihnen gepumpt werden muss.

Der Grund für das große Wasservolumen der Vorratsbehälter dürfte darin liegen den Betrieb auch dann sicherzustellen, wenn die Pumpe ausfällt. So kann man 32 ($\lfloor 220 : 7\rfloor + 1$) Fahrten ohne Pumpenbetrieb durchführen, wenn man kein Wasser wegschütten will.

(f) $t = \frac{v}{a} = \frac{v}{\frac{F}{2\,m+\Delta m}} = \frac{v}{\frac{\sin\alpha\cdot g\,\Delta m}{2\,m+\Delta m}} = \frac{2\,m+\Delta m}{\Delta m}\cdot\frac{v}{\sin\alpha\cdot g} \quad\Rightarrow\quad \Delta m = \frac{2\,m\,v}{\sin\alpha\cdot g\,t - v}\cdot m = \frac{2\,m\,v}{0{,}19\cdot g\,t-v}\cdot m = 0{,}76\,\mathrm{t}$

Sofern der Sinus noch ist bekannt ist muss die Hangabtriebskraft entweder über eine maßtäbliche Zeichnung oder über die Ähnlichkeit von Dreiecken ermittelt werden.

(g) Die Steigung der Strecke ist nicht konstant. So beträgt die maximale Steigung der Bahn 26%.

Im folgenden ist $\varrho = 1{,}2\,\mathrm{kg/m^3}$ die Dichte von Luft, r der Radius eines Rotorblatts einer Windkraftanlage, und A der Flächeninhalt der von den Rotorblättern während einer Rotation überstrichenen Fläche, die wir kurz Rotorfläche nennen. v_1 ist die Geschwindigkeit vor bzw. v_2 die nach dem Durchgang des Windes durch die Rotorfläche.

9.
(a) Wir nehmen an, dass der Wind mit der Geschwindigkeit $v = \frac{v_1+v_2}{2}$ durch die Rotorfläche strömt. Gib unter dieser Annahme einen Term für die Masse des Windes an, der sich während einer Zeitspanne t durch die Rotorfläche bewegt.

(b) Wie lautet der Term für den Energieverlust des Windes beim Durchgang durch die Rotorfläche? Welche maximale Leistung ergibt sich daraus für die Anlage?

(c) Vereinfache das Ergebnis der vorhergehenden Aufgabe unter Verwendung der Abkürzungen $P_0 = \frac{1}{2}\,\varrho\,A\,v_1^3$ für die Leistung des bei der Rotorfläche ankommenden Windes und der dimensionslosen Größe $x = \frac{v_2}{v_1}$.

(d) Ermittle x so, dass der Term aus der vorhergehenden Aufgabe maximal wird.

(e) Welche maximale Leistung liefert die Anlage, wenn $r = 20\,\mathrm{m}$ und $v_1 = 16\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ sind?

Lösung: (a) $m = A\,v\,t\,\varrho$

(b) $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}\,m\,\left(v_1^2 - v_2^2\right) = \frac{1}{2}\,A\,v\,t\,\varrho\,\left(v_1^2 - v_2^2\right), P = \frac{1}{2}\,A\,v\,\varrho\,\left(v_1^2 - v_2^2\right)$

(c) $P = P_0 \cdot \frac{1}{2}\,(1+x)\,\left(1-x^2\right)$

Hinweis: $c_P = \frac{1}{2}\,(1+x)\,\left(1-x^2\right)$ wird Leistungsbeiwert genannnt.

(d) Ermittlung von $x = \frac{1}{3}$ entweder mit den Mitteln der Differentialrechnung oder durch Ablesen aus einem x–$\frac{P}{P_0}$–Diagramm ($x \in [0;1]$, $\frac{P}{P_0} \in [0;0{,}8]$).

(e) $P = \frac{16}{27}\,P_0 = 1{,}6\,\mathrm{MW}$

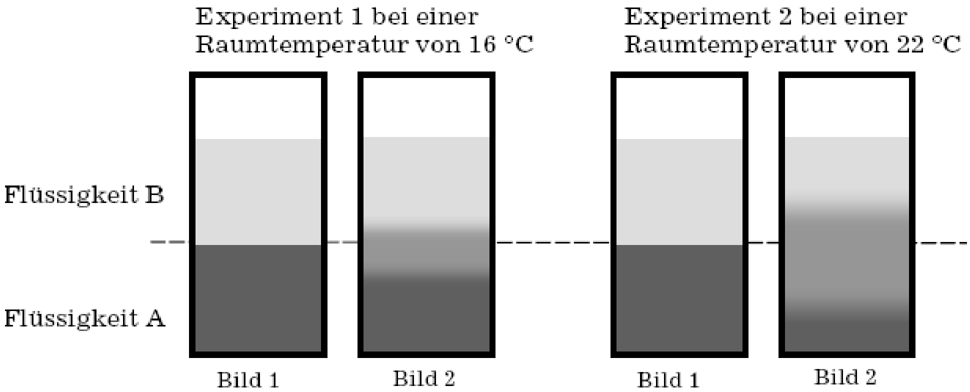
Hinweis: Bei Geschwindigkeiten größer als $16\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ treten Turbolenzen auf so, dass P praktisch auch in etwa die maximale Leistung ist.

2 Aufbau der Materie, Wärmelehre

2.1 Temperatur

1. In zwei Versuchen wird mit Flüssigkeiten experimentiert, die sich vermischen können. Beide Flüssigkeiten haben jeweils die gleiche Temperatur (Raumtemperatur).

   Die Flüssigkeit A wird in ein Becherglas gegossen und eine zweite Flüssigkeit B wird vorsichtig darüber geschichtet. Das Becherglas wird drei Stunden ruhig stehen gelassen. Bild 1 zeigt jeweils den Ausgangszustand, Bild 2 das Endergebnis des Experimentes.

   Quelle: Kommission

   (a) Beschreibe und vergleiche die Ergebnisse der beiden Experimente.

   (b) Es werden mehrere Hypothesen zur Erklärung der Ergebnisse aufgestellt. Entscheide für jede Hypothese, ob Sie richtig, falsch oder unentscheidbar ist. Solltest du eine Hypothese für falsch halten, gib eine kurze Begründung für deine Meinung an.

   - Bei höherer Temperatur bewegen sich die Teilchen schneller und die Flüssigkeiten durchmischen sich leichter.
   - Die Teilchen der Flüssigkeit A bewegen sich gezielt in Richtung der Flüssigkeit B.
   - Die Teilchen der Flüssigkeit B sind schwerer als die Teilchen der Flüssigkeit A.

   Quelle: Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss, Beschluss vom 16.12.2004

Lösung: (a) Beobachtung zum Experiment 1: Die Flüssigkeiten mischen sich an der Grenzfläche, die obere Flüssigkeit ist jedoch weiter in die untere Flüssigkeit eingedrungen als umgekehrt.

Beobachtung zum Experiment 2 und Vergleich: Die Beobachtung entspricht der im Experiment 1, jedoch ist die gegenseitige Durchmischung größer.

(b)
- Richtig
- Falsch, Begründung: Die Brownsche Bewegung verläuft ungeordnet.
- Keine Entscheidung möglich

2. (a) Zu welcher Größe ist die Temperatur eines Körpers – nach Definition – proportional?

   (b) Erkläre genau das Zustandekommen der Verdunstungskälte.

   (c) Ein Gas hat die Temperatur $T_1 = -23\,°\mathrm{C}$. Welche Temperatur T_2 (in °C) hat das Gas, wenn die Geschwindigkeit von *jedem* Molekül verdoppelt wird?

Lösung: (a) Zur mittleren kinetischen Energie der Moleküle.

(b) Am Rand der Flüssigkeit macht die potentielle Energie eines Teilchens einen Sprung der Höhe ΔW_p. Ein Molekül an der Flüssigkeitsoberfläche kann diese also nur dann verlassen, wenn seine kinetische Energie größer als ΔW_p ist. Auch wenn die *mittlere* kinetische Energie $\overline{W}_\mathrm{k} < \Delta W_\mathrm{p}$ ist, haben einige Teilchen an der Oberfläche eine kinetische Energie größer als ΔW_p. Diese Teilchen verlassen die Flüssigkeit, sie *verdunsten.* Beim Verdunsten verlassen nur die schnellsten Teilchen die Flüssigkeit, die mittlere kinetische Energie der verbleibenden Teilchen wird dadurch kleiner, die Flüssigkeit wird kälter.

(c) Bei einer Verdopplung der Geschwindigkeit wird die kinetische Energie eines jeden Teilchens, und damit auch die mittlere kinetische Energie des Gases, vervierfacht.

$T_2 = 4 \cdot (273 - 23)\,\mathrm{K} = 1000\,\mathrm{K} = 727\,°\mathrm{C}$

3. Luft der Temperatur $T_1 = 10\,°\mathrm{C}$ wird Energie zugeführt, bis sich die mittlere kinetische Energie der Moleküle verdoppelt hat. Wie groß ist die Lufttemperatur T_2 nach der Energiezufuhr?

Lösung: $T_1 = 283\,\mathrm{K}, \qquad T_2 = 2T_1 = 566\,\mathrm{K} = 293\,°\mathrm{C}$

2.2 Aggregatzustände, Schmelzen, Sieden, Verdunsten

1. Washalb sollte man nasse Kleidung nicht am Körper trocknen lassen?

Lösung: Beim trocknen der Kleidung wird dem Körper die Verdunstungswärme entzogen.

Lösung: 2. Heißer Dampf verrichtet Arbeit

   (a) Nenne drei völlig verschiedene Maschinen, in denen heißer Dampf Arbeit verrichtet.

   (b) Erkläre für eine der genannten Maschinen die Funktionsweise genau.

   (a) Ottomotor, Dampfmaschine, Flugzeugtriebwerk

3. Funktionsweise eines Kühlschranks:

   Durch ein geschlossenes Rohrsystem wird ein Kühlmittel gepumpt. Als Pumpe dient ein elektrisch betriebener Kompressor. Über dieses System wird dem Innenraum Energie entzogen und er kühlt ab. An der Rückseite des Kühlschranks wird die dem Innenraum entzogene Energie an die Raumluft abgegeben. An einem heißen Tag im Sommer schlägt Dieter vor, die Kühlschranktüre zu öffnen, damit es im Raum kühler wird. Petra meint, es bringe nichts, im Gegenteil, es würde wärmer im Raum.

   (a) Es werden verschiedene Argumente vorgebracht. Kreuze die richtigen Argumente an.

   - Kalte Luft strömt aus dem Kühlschrank und kühlt den Raum ab.
   - Diese Abkühlung der Raumluft setzt sich auf Dauer fort, weil das Kühlschrankaggregat ständig den Innenraum abkühlt.
   - An der Rückseite des Kühlschranks wird die Raumluft erwärmt.
   - Erwärmung und Abkühlung halten sich die Waage, die Temperatur bleibt auf Dauer konstant.
   - Die Erwärmung überwiegt, die Temperatur steigt auf Dauer.
   - Die Abkühlung überwiegt, die Temperatur fällt auf Dauer.
   - Durch die vom Kompressor abgegebene Energie wird der Raum auf Dauer erwärmt.
   - Durch den Kompressor wird der Raum auf Dauer abgekühlt.

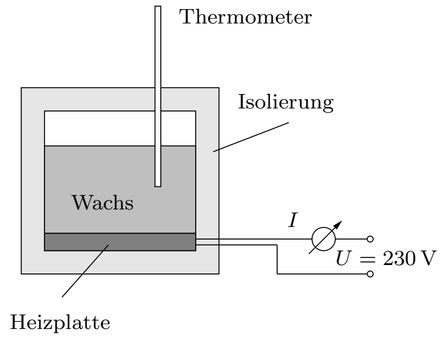
   (b) Formuliere eine zusammenhängende begründete Aussage zu der Frage, wie sich die Temperatur in der Küche insgesamt verändert, wenn der Kühlschrank über einen längeren Zeitraum bei offener Tür betrieben wird.

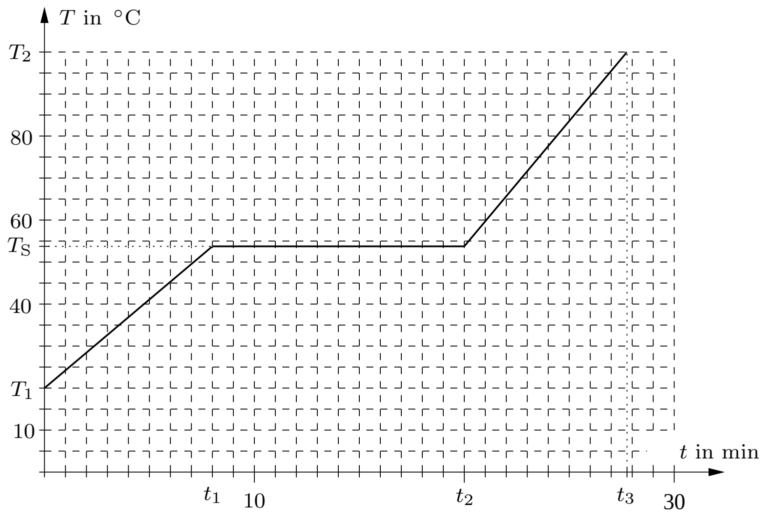
Lösung: (a) richtige Argumente sind:

   - Kalte Luft strömt aus dem Kühlschrank und kühlt den Raum ab.
   - An der Rückseite des Kühlschranks wird die Raumluft erwärmt.
   - Die Erwärmung überwiegt, die Temperatur steigt auf Dauer.
   - Durch die vom Kompressor abgegebene Energie wird der Raum auf Dauer erwärmt.

   (b) Die Luft vor dem geöffneten Kühlschrank wird zwar abgekühlt und die Luft an der Rückseite erwärmt, dies würde sich jedoch auf Dauer ausgleichen. Die Erwärmung des Raumes resultiert aus der zugeführten elektrischen Energie

4. Sebastian nimmt am Wettbewerb *Schüler experimentieren* teil. In einem gut isolierten Ofen, der praktisch keine Wärme nach außen abgibt, erwärmt er Kerzenwachs der Masse $m = 890\,\mathrm{g}$. Die Heizplatte des Ofens ist an das Haushaltsnetz angeschlossen und während des ganzen Versuchs beträgt die Stromstärke $I = 0{,}800\,\mathrm{A}$. Ein in den Ofen eingebautes Thermometer überwacht die Temperatur des Wachses. Das Thermometer ist an einen Computer angeschlossen, der die Temperatur T in Abhängigkeit von der Zeit t aufzeichnet (siehe Diagramm). Beschreibe zunächst in Worten das vom Diagramm erfasste physikalische Geschehen und ermittle dann alle physikalischen Daten des Wachses, die man dem Diagramm entnehmen kann.





Lösung: Zunächst erwärmt sich das feste Wachs von $T_1 = 20\ {}^\circ\mathrm{C}$ bis zu Schmelztemperatur $T_\mathrm{S} = 54\ {}^\circ\mathrm{C}$. Anschließend wird die aufgenommene Energie zum Schmelzen des Wachses verwendet, die Temperatur bleibt konstant, bis das ganze Wachs geschmolzen ist. Dann erwärmt sich das jetzt flüssige Wachs bis zur Temperatur $T_2 = 100\ {}^\circ\mathrm{C}$.

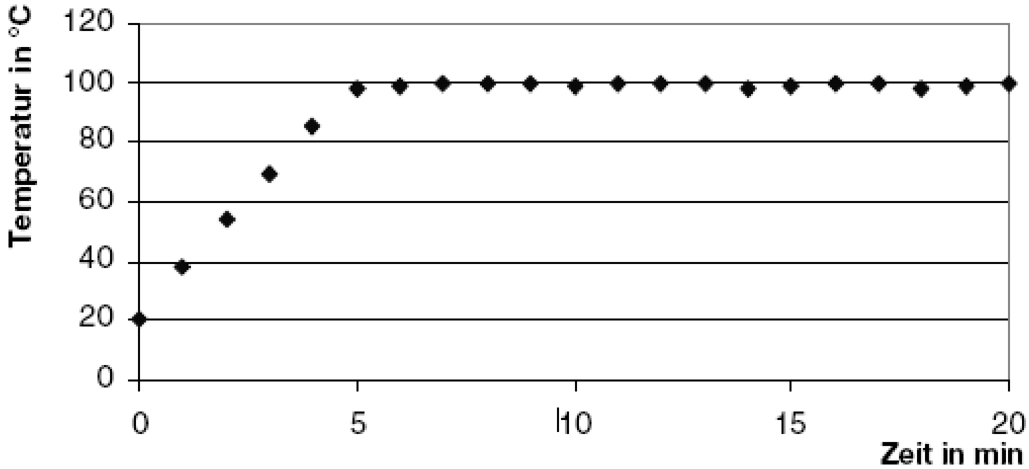
Leistung der Heizplatte: $P = UI = 230\,\mathrm{V} \cdot 0{,}80\,\mathrm{A} = 184\,\mathrm{W}$

Vom Wachs aufgenommene Energie: $\Delta W = P \cdot \Delta t$

Zeit	$0 < t < t_1$	$t_1 < t < t_2$	$t_2 < t < t_3$
Δt	$\Delta t_1 = 8\,\mathrm{min} = 480\,\mathrm{s}$	$\Delta t_2 = 12\,\mathrm{min} = 720\,\mathrm{s}$	$\Delta t_3 = 7{,}75\,\mathrm{min} = 465\,\mathrm{s}$
ΔW	$88{,}3\,\mathrm{kJ}$	$132\,\mathrm{kJ}$	$85{,}6\,\mathrm{kJ}$
ΔT	$34\,\mathrm{K}$	0	$46\,\mathrm{K}$
	$c_\mathrm{fest} = \dfrac{\Delta W}{m\Delta T} = 2{,}9\,\dfrac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}}$	$q_\mathrm{s} = \dfrac{\Delta W}{m} = 148\,\dfrac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$	$c_\mathrm{flüssig} = \dfrac{\Delta W}{m\Delta T} = 2{,}1\,\dfrac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}}$

5. **Energiebedarf beim Kochen von Kartoffeln**

Kartoffeln werden auf einem Gasherd in einem Topf mit Wasser gekocht. Auf dem Topf liegt ein Deckel. Nachdem die Gasflamme entzündet wurde, wird die Temperatur des Wassers in regelmäßigen Zeitabständen gemessen. Aus den Messwerten ergibt sich folgendes Diagramm:



(a) Beschreibe anhand des Diagramms den Temperaturverlauf des Wassers in Abhängigkeit von der Zeit.

(b) Erläute, wozu die von der Gasflamme zugeführte Energie in den ersten fünf Minuten und den folgenden fünfzehn Minuten verwendet wird.

(c) Begründe, warum es empfehlenswert ist, nach den ersten fünf Minuten die Gasflamme kleiner einzustellen.

(d) Berechne die Energie, die dem Wasser und den Kartoffeln in den ersten fünf Minuten zugeführt wird. Da Kartoffeln im Wesentlichen aus Wasser bestehen, wird angenommen, dass insgesamt 1,5kg Wasser erwärmt werden. Man benötigt 4,19kJ Energie, um 1kg Wasser um 1° zu erwärmen.

(e) Für die Erwärmung der Kartoffeln und des Wassers von 20° auf 100° wurden $0,054m^3$ Erdgas benötigt. Das Erdgas hat einen Heizwert von $39MJ/m^3$. Berechne den Wirkungsgrad für diese Erwärmung.

(f) Die Kartoffeln waren beim Kochen in einem geschlossenen Topf nicht vollständig mit Wasser bedeckt. Nennen Sie Argumente, die dafür sprechen, beim Kochen von Kartoffeln möglichst wenig Wasser zu verwenden.

Quelle: Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss, Beschluss vom 16.12.2004

Lösung: (a) Die Temperatur steigt innerhalb der ersten 5 Minuten von 20° auf 100° fast gleichmäßig an. Danach bleibt sie weitgehend konstant auf etwa 100°.

(b) In den ersten fünf Minuten wird die von der Gasflamme zugeführte Energie für die Erwärmung des Wassers und der Kartoffeln verwendet, danach zum Verdampfen des Wassers. Während der ganzen Zeit wird ein Teil der zugeführten Energie an die Umgebung abgegeben.

(c) Nach fünf Minuten ist nur noch die Energie zuzuführen, die an die Umgebung abgegeben wird bzw. mit dem Wasserdampf entweicht. Entsprechend kann man die Gasflamme kleiner einstellen. Wird in dieser Phase zu viel Gas verbrannt, verdampft unnötig viel Wasser und damit entweicht auch mehr Wasserdampf.

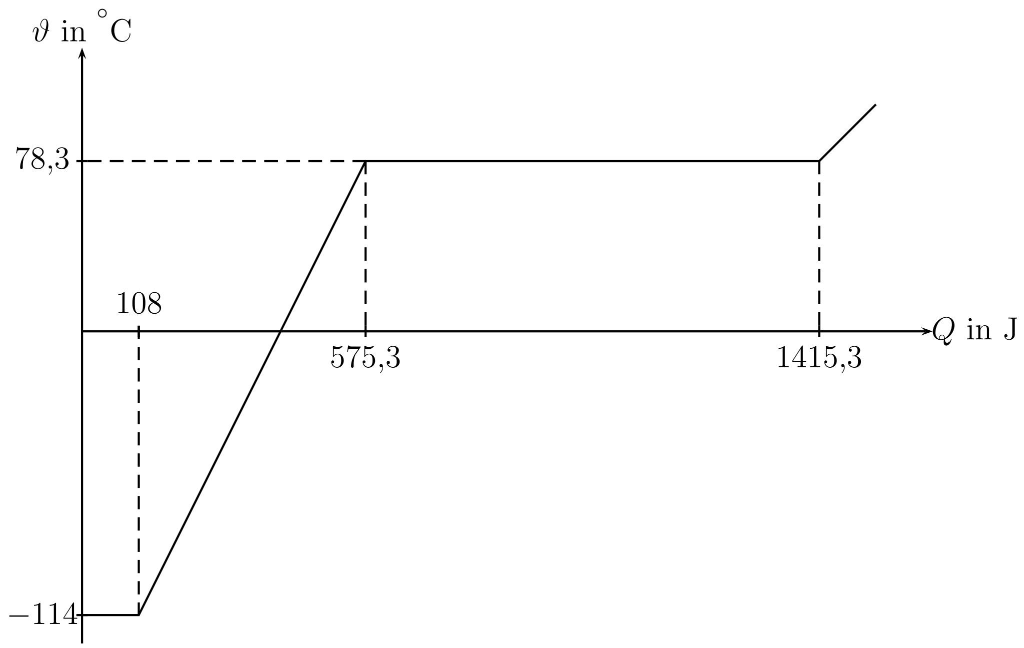
(d) Es wird der Wert für die Energie mit ca. $500kJ$ berechnet.

(e) In den ersten fünf Minuten wurden beim Verbrennen ca. $2100kJ$ Energie an den Kochtopf und die Umgebung abgegeben. Zum Erwärmen des Wassers und der Kartoffeln wurden ca. $500kJ$ genutzt. Für den Wirkungsgrad ergibt sich ein Wert von 24 %.

(f) Wegen der geringeren Wassermenge wird weniger Energie benötigt. Über der Wasseroberfläche bildet sich Wasserdampf, der eine Temperatur von ca. 100° hat. Dieser Wasserdampf fördert das Garen der Kartoffeln ebenso wie das siedende Wasser.

6. „Phasenübergänge von Ethanol“

Das untenstehende Diagramm zeigt den Verlauf der Temperatur ϑ von 1,0 g Ethanol bei fortgesetzter Zufuhr der Wärmeenergie Q. Bei $Q = 0$ beginnt das als Festkörper vorliegende Ethanol gerade in den flüssigen Aggregatszustand überzugehen.



Deute den Verlauf der Kurve aus physikalischer Sicht und ermittle aus dem Diagramm die Schmelztemperatur von festem Ethanol, sowie die spezifische Wärmekapazität und die spezifische Verdampfungsenergie von flüssigem Ethanol.

$0 < Q < 216\,\mathrm{J}$	____________________
	____________________
$216\,\mathrm{J} < Q < 1\,150{,}6\,\mathrm{J}$	____________________
	____________________
$1\,150{,}6\,\mathrm{J} < Q < 2\,830{,}6\,\mathrm{J}$	____________________
	____________________
$2\,830{,}6\,\mathrm{J} < Q$	____________________
	____________________

Schmelztemperatur: ____________________

Spezifische Verdampfungsenergie: ____________________

Spezifische Wärmekapazität: ____________________

Lösung: Deutung des Verlaufs der Kurve:

$0 < Q < 108\,\mathrm{J}$	Das Ethanol schmilzt, wobei seine Temperatur stets $-114°$ C beträgt.
$108\,\mathrm{J} < Q < 575{,}3\,\mathrm{J}$	Das flüssige Ethanol erwärmt sich von $-114°$ C auf 78,3° C.
$575{,}3\,\mathrm{J} < Q < 1415{,}3\,\mathrm{J}$	Das flüssige Ethanol verdampft, wobei seine Temperatur stets 78,3° C beträgt.
$1415{,}3\,\mathrm{J} < Q$	Das gasförmige Ehanol erwärmt sich.

Schmelztemperatur: $-114°$ C.

Spezifische Verdampfungsenergie: $r = \dfrac{1415{,}3\,\mathrm{J} - 575{,}3\,\mathrm{J}}{1{,}0\,\mathrm{g}} = 840{,}0\,\dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{g}}$.

Spezifische Wärmekapazität: $\dfrac{575{,}3\,\mathrm{J} - 108\,\mathrm{J}}{1{,}0\,\mathrm{g}\cdot(78{,}3°\,\mathrm{C} - (114°\,\mathrm{C}))} = 2{,}430057202\,\dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{g}\cdot\mathrm{K}} = 2{,}4\,\dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{g}\cdot\mathrm{K}}$

7. **Ein Modell zur Erklärung der Anomalie des Wassers**

Da sich Wassermoleküle auf Grund ihrer Bauweise und ihrer Ladungsverteilung auf verschiedene Arten zu größeren Gebilden vereinigen können, gibt es nicht nur verschiedene Sorten von Eis, sondern nach neuesten Forschungsergebnissen auch zwei Formen des flüssigen Wassers, eine mit größerer und eine mit kleinerer Dichte. Die Wasserform mit der kleineren Dichte (LD für Low Density) kann man sich vereinfacht wie ganz winzige Eiskristalle vorstellen, die in der dichteren Form (HD für High Density) schwimmen. Der Anteil des LD-Wassers nimmt mit steigender Temperatur T ständig ab und verschwindet bei ca. 30 °C ganz.

Ein einfaches Wassermodell, gültig für $T_0 = 0\,°\mathrm{C}$ bis $T_1 = 30\,°\mathrm{C}$			
	Dichte bei 0 °C	Volumenausdehnungszahl	Bruchteil der Gesamtmasse
LD	$\varrho_{\mathrm{L0}} = 0{,}9809\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$	$\gamma_{\mathrm{L}} = 0$	$\beta(T) = 2{,}123 \cdot 10^{-4}\left(\frac{T}{°\mathrm{C}} - 30\right)^2$
HD	$\varrho_{\mathrm{H0}} = 1{,}00441\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$	$\gamma_{\mathrm{H}} = 0{,}0002934\,\frac{1}{°\mathrm{C}}$	$1 - \beta(T)$

Ist m die Gesamtmasse des Wassers, dann sind die Massen der beiden Wasserarten bei der Temperatur T

$$m_{\mathrm{L}} = \beta(T) \cdot m \quad \text{und} \quad m_{\mathrm{H}} = m - m_{\mathrm{L}} = (1 - \beta(T)) \cdot m$$

Der Wasserteil mit der geringeren Dichte (also mit dem größeren Volumen pro Masse) wird mit steigender Temperatur weniger, wodurch das Gesamtvolumen sinkt. Andererseits dehnt sich das HD-Wasser mit steigender Temperatur aus, wodurch das Gesamtvolumen steigt. Beide Effekte zusammen ergeben die Anomalie des Wassers.

(a) Erstelle eine Wertetabelle für $\beta(T)$ $\left(\frac{T}{°\mathrm{C}} \in \{0, 10, 15, 20, 25, 30\}\right)$ und zeichne den Grafen von β in geeignet gewählten Einheiten. Wieviel Prozent der gesamten Masse des Wassers bestehen bei $0\,°\mathrm{C}$ aus LD- bzw. HD-Wasser?

(b) Beweise für das Volumen des Wassers der Gesamtmasse m im Intervall $[0, T_1]$:

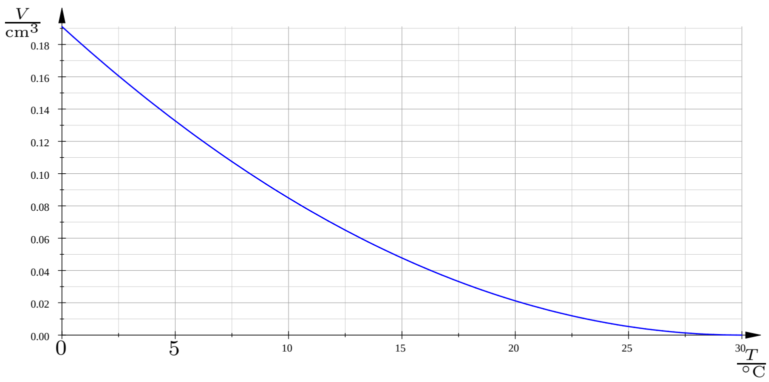
$$V(T) = V_{\mathrm{L}} + V_{\mathrm{H}} = m\left(\frac{\beta(T)}{\varrho_{\mathrm{L0}}} + \frac{(1 - \beta(T))(1 + \gamma T)}{\varrho_{\mathrm{H0}}}\right)$$

Erstelle eine Wertetabelle für $V(T)$ mit $m = 1\,\mathrm{kg}$ für alle ganzzahligen Temperaturen im Intervall $[0\,°\mathrm{C}, 8\,°\mathrm{C}]$ und zeichne den Grafen von $V(T)$ (V-Achse von $1000{,}0\,\mathrm{cm}^3$ bis $1000{,}2\,\mathrm{cm}^3$; $0{,}2\,\mathrm{cm}^3 \mathrel{\widehat{=}} 5\,\mathrm{cm}$).

Lösung: (a)

$\frac{T}{°\mathrm{C}}$	0	5	10	15	20	25	30
β	0,1911	0,1327	0,0849	0,0478	0,0212	0,0053	0

Bei $0\,°\mathrm{C}$ besteht Wasser aus $\beta(0\,°\mathrm{C}) = 19{,}11\%$ LD-Wasser und aus 80,89% HD-Wasser.



(b) Da die Volumenausdehnungszahl $\gamma_\mathrm{L} = 0$ ist, ist die Dichte des LD-Wassers konstant

$$\varrho_\mathrm{L} = \varrho_\mathrm{L0}.$$

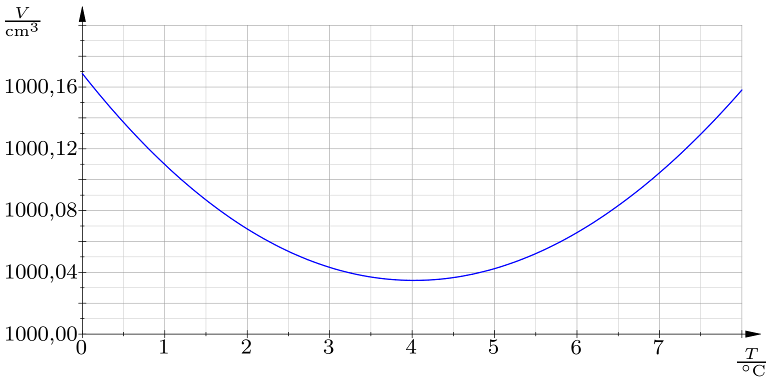
Für die Dichte des HD-Wassers gilt

$$\varrho_\mathrm{H}(T) = \frac{\varrho_\mathrm{H0}}{1 + \gamma_\mathrm{H} T}$$

$$\begin{aligned} V(T) = V_\mathrm{L} + V_\mathrm{H} &= \frac{m_\mathrm{L}}{\varrho_\mathrm{L}} + \frac{m_\mathrm{H}}{\varrho_\mathrm{H}} = \frac{m_\mathrm{L}}{\varrho_\mathrm{L0}} + \frac{m_\mathrm{H}(1 + \gamma_\mathrm{H} T)}{\varrho_\mathrm{H0}} = \\ &= \frac{\beta(T) m}{\varrho_\mathrm{L0}} + \frac{m(1 - \beta(T))(1 + \gamma_\mathrm{H} T)}{\varrho_\mathrm{H0}} = \\ &= m\left(\frac{\beta(T)}{\varrho_\mathrm{L0}} + \frac{(1 - \beta(T))(1 + \gamma_\mathrm{H} T)}{\varrho_\mathrm{H0}}\right) \end{aligned}$$

$\frac{T}{°\mathrm{C}}$	0	1	2	3	4
$\frac{V}{\mathrm{cm}^3}$	1,000169	1,000110	1,000068	1,000043	1,000035

$\frac{T}{°\mathrm{C}}$	5	6	7	8
$\frac{V}{\mathrm{cm}^3}$	1,000042	1,000066	1,000104	1,000158



2.3 innere Energie, Änderung der inneren Energie durch Arbeit oder Wärme

1. (a) Wenn eine Eislawine zu Tal donnert, wird ein Teil des Eises geschmolzen. Beschreibe in Worten, welche Energieumwandlungen sich dabei abspielen.

   (b) Welchen Höhenunterschied muss eine Eislawine mindestens überwinden, damit das ganze Eis geschmolzen wird?

   (c) Eine Eislawine stürzt über eine $h = 1000\,\mathrm{m}$ hohe Wand hinab. Wieviel Prozent des Eises werden dabei höchstens geschmolzen? Erläutere genau, warum in der Frage das Wort „höchstens“ steht!

Daten von Wasser:

spez. Wärmekapazität	spez. Schmelzwärme	spez. Verdampfungswärme
$c = 4{,}19\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}}$	$q_\mathrm{s} = 334\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$	$q_\mathrm{v} = 2257\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$

Lösung: (a) Die potentielle Energie des Eises verwandelt sich zunächst in kinetische Energie und dann über Reibung in Verformungsenergie (Zerkleinerung des Eises) und in innere Energie (Schmelzen).

(b) $mgh = q_\mathrm{s} m \quad \Longrightarrow \quad h = \frac{q_\mathrm{s}}{g} = \frac{334\,000\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}}{9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = 34\,\mathrm{km}$

(c) $mgh = q_\mathrm{s}\Delta m \quad \Longrightarrow \quad \frac{\Delta m}{m} = \frac{gh}{q_\mathrm{s}} = \frac{9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\cdot 1000\,\mathrm{m}}{334\,000\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}} = 0{,}029 = 2{,}9\,\%$

„Höchstens“ deshalb, weil ein Teil der potentiellen Energie zum Erwärmen des Untergrundes und zur Verformung des Eises verwendet wird.

2. Quecksilber (Hg) hat die Schmelztemperatur $T_\mathrm{S} = -38{,}83\ ^\circ\mathrm{C}$. Welche Energie wird benötigt, um $m = 5{,}08\,\mathrm{kg}$ Quecksilber von $T_1 = -194{,}83\ ^\circ\mathrm{C}$ auf $T_2 = 294{,}22\,\mathrm{K}$ zu erwärmen?

	spez. Wärmekapazität (fest)	spez. Wärmekapazität (flüssig)	spez. Schmelzwärme
Hg	$c_\mathrm{fest} = 0{,}123\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}}$	$c_\mathrm{flüssig} = 0{,}140\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}}$	$q_\mathrm{s} = 11{,}8\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$

Lösung: $T_1 = (-194{,}83 + 273{,}15)\,\mathrm{K} = 78{,}32\,\mathrm{K}$, $T_2 = (294{,}22 - 273{,}15)\ ^\circ\mathrm{C} = 21{,}07\ ^\circ\mathrm{C}$

$T_\mathrm{S} = (-38{,}83 + 273{,}15)\,\mathrm{K} = 234{,}32\,\mathrm{K}$

$$W = \underbrace{mc_\mathrm{fest}\overbrace{(T_\mathrm{S} - T_1)}^{156\,\mathrm{K}}}_{97{,}475\,\mathrm{kJ}} + \underbrace{mq_\mathrm{s}}_{59{,}944\,\mathrm{kJ}} + \underbrace{mc_\mathrm{flüssig}\overbrace{(T_2 - T_\mathrm{S})}^{59{,}90\,\mathrm{K}}}_{42{,}601\,\mathrm{kJ}} = 200\,\mathrm{kJ}$$

3. Ein Eiswürfel mit Kantenlänge $3cm$, der Temperatur 0^oC und der Dichte $0,917g/cm^3$ wird in Glas mit $0,3l$ Cola der Temperatur 19^oC gegeben.

   (a) Welche Energie nimmt der Eiswürfel auf, bis er zu Wasser von $0,0^oC$ geschmolzen ist.

   (b) Wie weit kühlt die Cola durch die zum Schmelzen des Eises notwendige Energie ab?

   (c) Welche Temperatur erreicht die Cola,wenn sich nach dem Schmelzen des Eiswürfels ein Temperaturgleichgewicht eingestellt hat. Vergleiche diese mit der in (b) berechneten Temperatur.

Konstanten:
spezifische Wärmekapazität: $c_{Wasser} = 4,19\frac{kJ}{kg^oC}$
spezifische Schmelzwärme von Eis: $C_{Eis} = 335\frac{kJ}{kg}$

Lösung: (a) $m_{Eis} = 0,025kg$, $E_{schmelzen} = 8,3kJ$

(b) $m_{Cola} = 300g$, $\Delta\theta = 6,6°C$, $\theta = 12,4°C$

(c) $11,4°C$; die Abkühlung geschieht im wesentlichen durch das Schmelzen des Eises

4. **Schwimmbad**

Im Vilsbiburger Schwimmbad ist einige Tage die Wärmepumpe ausgefallen. Dadurch ist die Wassertemperatur im Schwimmerbecken von $23°C$ auf $18°C$ gesunken. Das Schwimmerbecken ist 50m lang, 25m breit und 2,3m tief.

(a) Berechne die Masse des Wassers im Schwimmerbecken.

(b) Berechne die notwendige Energie, das Wasser im Schwimmerbecken wieder auf $23°C$ zu erwärmen.

(c) Das Wasser wird mit Hilfe von vier Wärmepume erwärmt. Dabei wird elektrische Energie dazu verwendet, dem Wasser der Vils Wärme zu entziehen und diese dann dem Wasser im Becken zuzuführen. Mit einem Joule elektrischer Energie können 5 Joule Wärmeenerige gewonnen werden.

i. Wie viel elektrische Energie ist nötig, um das Becken zu erwärmen? Wie viele Stunden dauert dies, wenn die Stromstärke $15A$ und die Spannung $4,0kV$ beträgt?

ii. Die Wärme wird dem Wasser der Vils entzogen, welches dabei um $2°C$ abgekühlt wird. Welche Masse Vilswasser wird abgekühlt?

iii. Wie verändert sich die notwendige elektrische Energie, wenn der Wirkungsgrad der Wärmepumpe kleiner ist.

Lösung: (a) $2,9 \cdot 10^6kg$

(b) $6 \cdot 10^{10}J$

(c) i. $E_{el} = 1,2 \cdot 10^{10}J$, $t = 14h$

ii. $7,1 \cdot 10^3t$

iii. mehr Energie nötig

5. Am Gletscher des Großglockner strahlt an einem schönen Wintertag pro Quadratmeter in einer Sekunde eine Energie von 600J ein. Dadurch schmilzt der Schnee.

(a) Wie viele Liter Wasser fließen von eine Berghütte mit einer waagrechten Dachfläche von $20m^2$ innerhalb von 4 Stunden ab, wenn man von einer Umgebungstemperatur von $0°C$ ausgeht?

(b) Um den Rückgang der Gletscher zu verlangsamen, werden an vielen Stellen die Schneeflächen mit weißen Planen bedeckt. Erkläre warum man sich dadurch einen positiven Einfluß erhofft.

(c) Welche Energie ist notwendig, um das geschmolzene Wasser vom Dach der Berghütte auf eine Temperatur von $20°C$ zu erwärmen?

Konstanten: $C_{schmelzen} = 334\frac{J}{g}$, $c_W = 4,2\frac{J}{g\cdot °C}$

Lösung: (a) $E = 600\frac{J}{sm^2} \cdot 20m^2 \cdot 4 \cdot 3600s = 172,8MJ = C_{schmelz} \cdot m \Rightarrow m = \frac{E}{C_{schmelz}} = 517kg$ $\Rightarrow 517l$

(b) Schnee absorbiert weniger Energie $\Rightarrow$ weniger Schnee schmilzt

(c) $E = c_W \cdot m\Delta\theta = 43MJ$

6. Abschätzung der Energiekosten für den Warmbadetag im Erlebnisbad in Mittenwald

(a) Das Schwimmbecken hat im Seitenriss betrachtet die Form eines Trapezes, dessen beiden parallele Seiten die Längen 1,0 m (seichteste Stelle) und 2,0 m (tiefste Stelle) haben.

Außerdem hat das Becken eine Länge von 25 m und eine Breite von 12 m.

Berechne Volumen und Masse des Wassers im Becken (die Dichte von Wasser beträgt $\varrho = 1{,}0 \cdot 10^3\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$).

(b) Wie hoch sind die Energiekosten für den Warmbadetag, wenn dazu das Wasser von 28°C auf 30°C erwämt werden muss und mit Energiekosten von $0{,}060\,\frac{€}{\mathrm{kWh}}$ für Großabnehmer gerechnet wird?

Lösung: (a) $4{,}5 \cdot 10^2\,\mathrm{m}^3$; $4{,}5 \cdot 10^5\,\mathrm{kg}$

(b) 60 €

7. **Qualmende Flugzeugreifen**

Beim Landen von Flugzeugen sieht man oft, wie in den ersten Momenten des Aufsetzens Qualm zwischen Reifen und Landebahn entsteht (in Form einer regelrechten Fontäne, gegen die Bewegungsrichtung des Flugzeugs); dazu hört man ein deutliches Reifenquietschen. Erkläre diesen Vorgang. Was er mit einem Kavalierstart zu tun?

Quelle: Prof. Dr. Müller, Zentrum für Lehrerbildung, Campus Landau

Lösung: Die anfangs ruhenden Flugzeugräder müssen beim Aufsetzen erst in Bewegung versetzt werden, deswegen schlittern sie anfangs über die Landebahn, mit entsprechend großem Abrieb (und Reibungswärme), den man als Qualm sieht. Beim Aufsetzen bewegt sich der Untergrund gegen das Flugzeug, und die Reifen ruhen anfänglich; beim Kavalierstart ruht der Untergrund anfänglich gegen das Auto, und die Reifen bewegen sich; in beiden Fällen gibt es eine Relativbewegung von Reifen und Untergrund, mit entsprechenden Begleiterscheinungen durch Reibung (Abrieb, Qualmen, Quietschen).

8. **Auftrieb in Wolken**

   In Wolken kondensiert offensichtlich Wasser zu kleinen Tröpfchen. Ebenso offensichtlich gibt es in Wolken manchmal heftige Aufwinde. Wie hängen die beiden Sachverhalte zusammen?

   Quelle: Prof. Dr. Müller, Zentrum für Lehrerbildung, Campus Landau

Lösung: Bei der Entstehung der Wassertröpfchen wird die Kondensationswärme frei. Diese erhöht in der Wolke die Temperatur der Luft, verringert deren Dichte, erhöht ihren Auftrieb und sorgt so für Aufwinde.

9. Die Strahlungsleistung pro Fläche die auf die Erdatmosphäre trifft wird mit der sogenannten Solarkonstanten $\sigma = 1{,}2 \cdot 10^3\,\mathrm{Wm^{-2}}$ angegeben.

   Durch Verluste beim Durchgang durch die Atmosphäre steht allerdings nur der Anteil $\tilde{\sigma} = 0{,}70 \cdot 10^3\,\mathrm{Wm^{-2}}$ an der Erdoberfläche zur Verfügung.

   Berechne die Amortisationszeit einer photovoltaischen Anlage, wenn folgenden Annahmen gemacht werden:

   - Anschaffungskosten: 3000 €
   - Wirkungsgrad der Anlage: $\eta = 0{,}10$
   - Flächeninhalt der Anlage: $5{,}0\,\mathrm{m^2}$
   - Jährliche Sonnenscheindauer: $1{,}6 \cdot 10^3\,\mathrm{h}$
   - Kosten für 1,0 kWh Energie: 30 Cent

Lösung: $1{,}2 \cdot 10^3\mathrm{d}$

10. Geschmolzenes Blei der Masse $m_{\mathrm{Pb}} = 80{,}0\,\mathrm{g}$, dessen Temperatur gleich der Schmelztemperatur $T_{\mathrm{s}} = 327\,^\circ\mathrm{C}$ des Bleis ist, wird in einen Becher mit $m_{\mathrm{W}} = 100\,\mathrm{g}$ Wasser der Temperatur $T_{\mathrm{W}} = 20{,}0\,^\circ\mathrm{C}$ gegossen. Nach kurzer Zeit haben das jetzt feste Blei und das Wasser die gleiche Temperatur $T = 31{,}7\,^\circ\mathrm{C}$ angenommen.

    (a) Berechne die Erhöhung ΔW_{W} der inneren Energie des Wassers.

    (b) Welchen Energiebetrag ΔW_{Pb1} gibt das *feste* Blei beim Abkühlen an das Wasser ab?

    (c) Welchen Energiebetrag ΔW_{Pb2} gibt das Blei somit während des Erstarrens an das Wasser ab? Berechne die spezifische Schmelzwärme q_{s} von Blei.

Stoff	spez. Wärmekapazität in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	spez. Schmelzwärme in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	spez. Verdampfungswärme in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Wasser	4,19	334	2257
Blei	0,130	?	8600

Lösung: (a) $\Delta W_\text{W} = m_\text{W} c_\text{W} \left(T - T_\text{W}\right) = 0{,}1\,\text{kg} \cdot 4{,}19\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 11{,}7\,\text{K} = 4{,}90\,\text{kJ}$

(b) $\Delta W_\text{Pb1} = m_\text{Pb} c_\text{Pb} \left(T_\text{s} - T\right) = 0{,}08\,\text{kg} \cdot 0{,}13\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 295{,}3\,\text{K} = 3{,}07\,\text{kJ}$

(c) Die vom Blei abgegebene Energie ist gleich der vom Wasser aufgenommenen Energie:

$$\Delta W_\text{Pb1} + \Delta W_\text{Pb2} = \Delta W_\text{W} \quad \Longrightarrow \quad \Delta W_\text{Pb2} = 1{,}83\,\text{kJ}$$

$$W_\text{Pb2} = m_\text{Pb} q_\text{s} \quad \Longrightarrow \quad q_\text{s} = \frac{W_\text{Pb2}}{m_\text{Pb}} = \frac{1{,}83\,\text{kJ}}{0{,}08\,\text{kg}} = 22{,}9\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

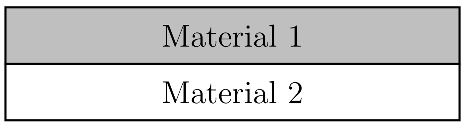
2.4 Volumenänderung bei Temperaturänderung von Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern

1. Erkläre wie Frostschäden auf Straßen (vor allem) im Gebirge zustande kommen.

Lösung: In der Straße befinden sich winzige Risse. In diesen sammelt sich Wasser. Dieses gefriert und dehnt sich dabei aus. Dadurch wird der Riss größer. Das Wasser schmilzt wieder und der Vorgang kann erneut ablaufen.

2. Ein Bimetallstreifen besteht bekanntlich aus zwei dünnen Metallstreifen unterschiedlichen Materials, die bei einer Temperatur von 20°C gleiche Länge haben und aufeinander genietet sind.

   Der nebenstehend abgebildete Bimetallstreifen wird stark erhitzt und biegt sich nach unten durch. Aus welchen Materialien kann der Bimetallstreifen bestehen, wenn die folgenden Längenausdehnungskoeffizienten α bekannt sind?



Material	α in 10^{-6}/K
Kupfer	16,8
Nickel	12,8
Wolfram	4,3
Zink	27

Lösung: Wenn sich der Streifen nach unten durchbiegt, muss das Material 1 einen größeren Längenausdehnungskoeffizienten haben als das Material 2. Somit sind folgenden Kombinationen denkbar:

Material 1	Material 2
Zink	Kupfer
Zink	Nickel
Zink	Wolfram
Kupfer	Nickel
Kupfer	Wolfram
Nickel	Wolfram

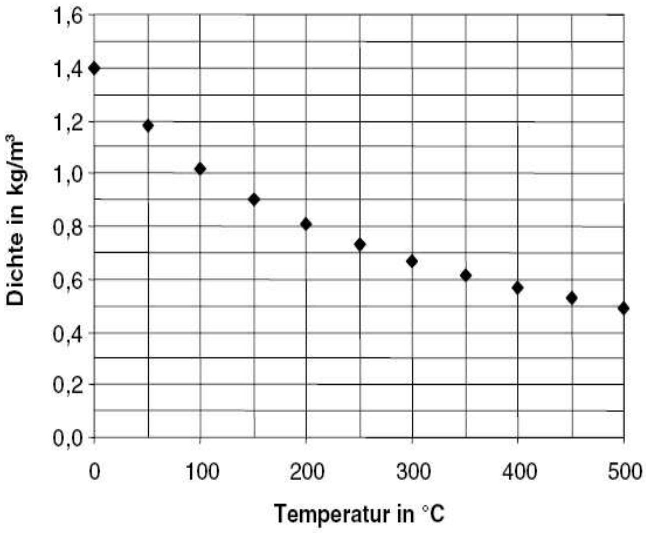
3. In den meisten Thermometern wird als Thermometerflüssigkeit Quecksilber oder Alkohol verwendet.
   (a) Wie würdest Du vorgehen, um eine mit Alkohol gefüllte Glasröhre mit Vorratsgefäß zu einem Thermometer zu eichen?
   (b) Warum ist es nicht sinnvoll, Wasser als Thermometerflüssigkeit zu verwenden?

Lösung: (a) für verschiedene Temperaturen die Steighöhe im Rohr markieren und Temperatur messen; dazwischen linear interpolieren

(b) Schmelz- und Siedetemperatur von Wasser schränken den Messbereich ein; bei Quecksilber liegen Schmelz- und Siedetemperatur ($-39°C$ bzw. $357°C$) weiter auseinander

4. Fahrten mit Heißluftballons werden immer beliebter. Mit einem Gasbrenner wird die Luft im Inneren des Ballons erhitzt. Das Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen der Dichte und der Temperatur der Luft bei konstantem Druck.

Quelle: www.jj-pr.de/u-publikationen.htm



Quelle: Kommission

(a) Erkläre die Lage der Messpunkte im Diagramm mit der Bewegung der Teilchen.

(b) Warum schwebt der Heißluftballon? Begründe die Antwort mithilfe des Diagramms.

(c) Der abgebildete Heißluftballon hat ein Volumen von $1600m^3$. Die Luft im Inneren des Ballons hat eine Temperatur von 100°. Die Luft, in der der Ballon schwebt, hat eine Temperatur von 0°. Hülle, Korb und weitere Ausrüstungen wiegen zusammen etwa 340 kg.

- Welche Masse hat die Luft im Inneren?
- Welche Masse hat die vom Ballon verdrängte Außenluft von 0°?
- Können 5 Personen von je 75 kg gleichzeitig mit dem Ballon fahren?

Lösung: (a) Jede Temperaturerhöhung führt zu einer Zunahme der mittleren Geschwindigkeit der Gasteilchen und somit zu einer Vergrößerung des mittleren Abstandes zwischen ihnen. Dadurch nimmt die Dichte ab.

(b) Die Luft im Ballon hat durch ihre höhere Temperatur eine kleinere Dichte als die Luft, die den Ballon umgibt. Der Ballon schwebt, wenn er genauso schwer ist wie die von ihm verdrängte Luft. Deshalb muss aus seinem Inneren durch die Erwärmung so viel Luft verdrängt werden, bis die Masse dieser Luft der von Hülle, Korb und Beladung des Heißluftballons entspricht.

(c) Aus dem Diagramm wird die Dichte der Luft entnommen. Es wird die Masse der Luft bei 0° (etwa $2240kg$) und bei 100° (etwa $1600kg$) berechnet. Die Differenz aus den beiden Massen ist die Gesamtmasse aus Hülle, Korb und Beladung (etwa $640kg$). Demzufolge können maximal 4 Personen zu je $75kg$ mitfahren.

5. Ein Heißluftballon hat ein Volumen von $2700m^3$.

(a) Die Luft im Ballon wird von 0^oC auf 36^oC erwärmt. Wie viel Luft entweicht dabei aus dem Heißluftballon?

(b) Ein Ballon schwebt, wenn seine Dichte genausogroß ist, wie die der ihn umgebende Luft. Wie groß darf die Masse des Heißluftballons (Ballonfahrer, Korb, Hülle) sein, wenn der Ballon gerade noch abheben soll.
Dichte von Luft (0^oC, $0m$ ü.N.N): $1\frac{g}{l}$

Lösung: (a) Annahme: gleicher Druck; $V_2 = V_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 2700m^3 \cdot \frac{309K}{273K} = 3056m^3$; $\Delta V = 356m^3$ entweicht aus dem Ballon.

(b) Annahme: Volumen von Ballonfahrer und Korb kann man vernachlässigen
$\rho_L = 1\frac{g}{l} = \frac{m}{3056 \cdot 1000l} \Rightarrow 3056kg$

6. Ein Luftballon ist mit Helium der Temperatur $T_1 = 289\,\mathrm{K}$ gefüllt, sein Volumen ist $V_1 = 2975\,\mathrm{cm}^3$ und das Gas steht unter dem Druck $p_1 = 992\,\mathrm{hPa}$. In der prallen Sonne erwärmt sich das Gas um $\Delta T = 17\,\mathrm{K}$ und das Volumen des Ballons vergrößert sich

auf $V_2 = 3{,}10\,\mathrm{dm}^3$. Unter welchem Druck p_2 steht das Gas jetzt? Wie ist es möglich, dass p_2 größer als der äußere Luftdruck ist?

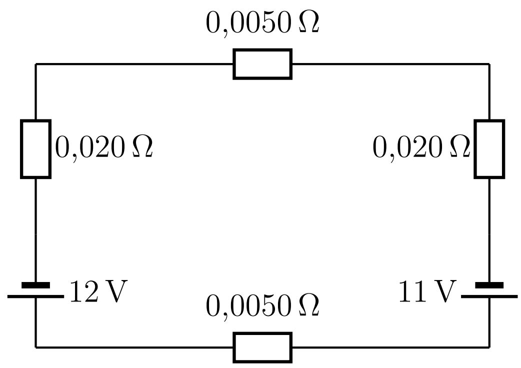
Lösung: $\dfrac{p_1 V_1}{T_1} = \dfrac{p_2 V_2}{T_2} \quad \Longrightarrow \quad p_2 = \dfrac{992\,\mathrm{hPa} \cdot 2975\,\mathrm{cm}^3 \cdot 306\,\mathrm{K}}{289\,\mathrm{K} \cdot 3100\,\mathrm{cm}^3} = 1008\,\mathrm{hPa} \approx 1{,}01 \cdot 10^3\,\mathrm{hPa}$

Der Gasdruck ist größer als der Luftdruck, weil die Spannung der gedehnten Ballonhülle eine zusätzliche Kraft und damit einen zusätzlichen Druck auf das Gas im Ballon ausübt.

3 Elektrische Energie

3.1 Ohm'sches Gesetz, Serien- und Parallelschaltung

1. Die Batterie eines liegen gebliebenen Pkws ist entladen und hat eine Quellenspannung von 11 V. Die Batterie mit der der liegen gebliebene Pkw gestartet werden soll, ist voll aufgeladen und hat eine Klemmenspannung von 12 V. Der Innenwiderstand einer Batterie beträgt jeweils 0,020 Ω und der Widerstand je eines Starthilfekabels 0,0050 Ω. Die nebenstehende Schaltskizze gibt die Situation für gegeneinander geschaltete Batterien wieder. Berechne den Strom beim Fremdstarten für



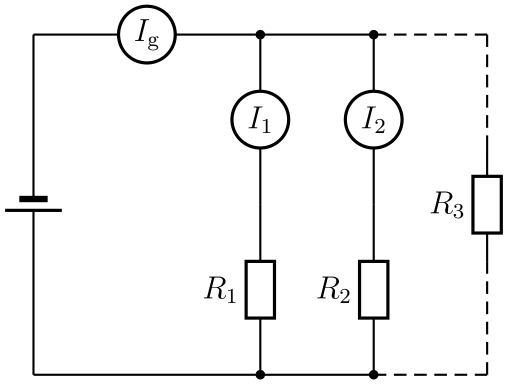
   (a) gegeneinandergeschaltete Batterien,

   (b) gleichgeschaltete Batterien.

Lösung: (a) $\dfrac{12\,\text{V} - 11\,\text{V}}{0{,}020\,\Omega + 0{,}010\,\Omega + 0{,}020\,\Omega} = 20{,}0\,\text{A}$

(b) $\dfrac{12\,\text{V} + 11\,\text{V}}{0{,}020\,\Omega + 0{,}010\,\Omega + 0{,}020\,\Omega} = 460\,\text{A}$

2. In der nebenstehenden Schaltung sind zwei Widerstände R_1 und R_2 parallel geschaltet. Durch den Widerstand R_1 fließt ein Strom der Stärke I_1 und durch den Widerstand R_2 ein Strom der Stärke I_2. Nun wird ein dritter Widerstand R_3 zu R_1 bzw. R_2 parallel geschaltet. Welche Aussage kann man dann über die Gesamtstromstärke I_g und die Teilstromstärken I_1, I_2 machen (Begründung)?

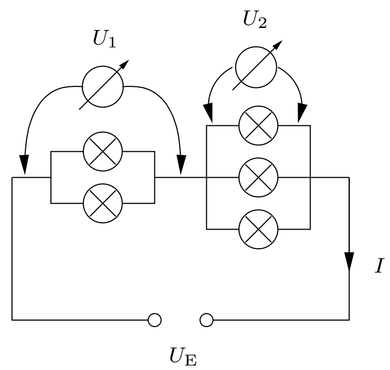


Lösung: Bei der Parallelschaltung von R_3 zu R_1 bzw. R_2 sinkt der Gesamtwiderstand der Schaltung, also nimmt die Gesamtstromstärke zu. In jedem Teilstromkreis ist aber die Spannung gleich der Klemmenspannung der Batterie, d. h. dass I_1 und I_2 sich nicht verändern.

3. In den USA hat die Netzspannung den Wert $U_{\mathrm{S}} = 115\,\mathrm{V}$. Sam bringt fünf Glühlampen aus den USA mit nach Deutschland und möchte sie ans europäische Stromnetz ($U_{\mathrm{E}} = 230\,\mathrm{V}$) anschließen. Die baugleichen Lampen tragen die Aufschrift $115\,\mathrm{V}/125\,\mathrm{W}$.

   (a) Berechne den Widerstand R_{L} einer Lampe.

   (b) Sam probiert es mit nebenstehender Schaltung. Berechne den Gesamtwiderstand R_{ges} und den Gesamtstrom I. Welche Spannungen U_1 und U_2 zeigen die beiden Messgeräte an?



   (c) Welche Lampen sind überlastet? Eine der überlasteten Lampen brennt durch. Erkläre genau (mit Rechnungen), was dann mit den anderen Lampen geschieht.

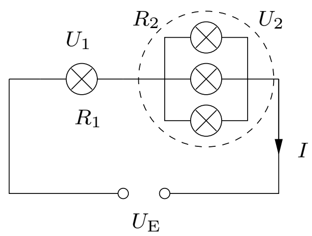
   (d) Suche eine Schaltung aller fünf Lampen, bei der mindestens eine Lampe an der Sollspannung U_{S} liegt und die anderen Lampen nicht überlastet sind. Dokumentiere deine Versuche mit den dazugehörenden Rechnungen.

Lösung: (a) $P = U_{\mathrm{S}} I_{\mathrm{S}} = \dfrac{U_{\mathrm{S}}^2}{R_{\mathrm{L}}} \quad\Longrightarrow\quad R_{\mathrm{L}} = \dfrac{U_{\mathrm{S}}^2}{P} = \dfrac{115^2\,\mathrm{V}^2}{125\,\mathrm{W}} = 105{,}8\,\Omega \approx 106\,\Omega$

(b) $R_{\mathrm{ges}} = \dfrac{R_{\mathrm{L}}}{2} + \dfrac{R_{\mathrm{L}}}{3} = \dfrac{5}{6} R_{\mathrm{L}} = 88{,}2\,\Omega, \quad I = \dfrac{U_{\mathrm{E}}}{R_{\mathrm{ges}}} = 2{,}61\,\mathrm{A}$

$U_1 = \dfrac{R_{\mathrm{L}}}{2} \cdot I = 138\,\mathrm{V}, \quad U_2 = \dfrac{R_{\mathrm{L}}}{3} \cdot I = 92{,}0\,\mathrm{V}$

(c) Die linken Lampen (U_1) sind überlastet.



$R_{\mathrm{ges}} = R_{\mathrm{L}} + \dfrac{R_{\mathrm{L}}}{3} = \dfrac{4}{3} R_{\mathrm{L}} = 141\,\Omega, \quad I = \dfrac{U_{\mathrm{E}}}{R_{\mathrm{L}}} = 1{,}63\,\mathrm{A}$

$U_1 = \dfrac{R_{\mathrm{L}}}{2} \cdot I = 172{,}5\,\mathrm{V}, \quad U_2 = \dfrac{R_{\mathrm{L}}}{3} \cdot I = 57{,}5\,\mathrm{V}$

$\Longrightarrow$ Die linke Lampe brennt sofort durch und dann brennt keine Lampe mehr.

(d) 1. Möglichkeit:

$$U_1 = \frac{U_\mathrm{E}}{3} = 76{,}7\,\mathrm{V},$$

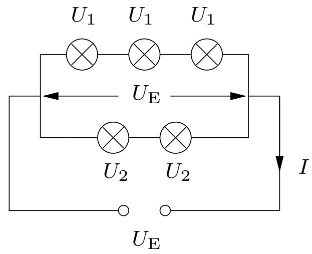
$$U_2 = \frac{U_\mathrm{E}}{2} = 115\,\mathrm{V}$$

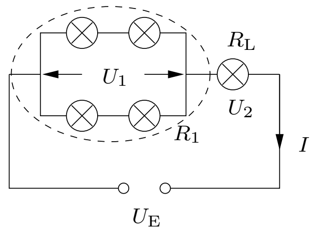
2. Möglichkeit:

$$R_1 = \frac{R_\mathrm{L} + R_\mathrm{L}}{2} = R_\mathrm{L}$$

$$U_1 = U_2 = \frac{U_\mathrm{E}}{2} = 115\,\mathrm{V}$$

An den vier linken Lampen liegt jeweils die Spannung $\frac{U_1}{2} = 57{,}5\,\mathrm{V}$.





4. (a) Welchen Widerstand R hat eine Glühlampe, die an der Spannung $U = 220\,\mathrm{V}$ von einem Strom der Stärke $I = 0{,}11\,\mathrm{A}$ durchflossen wird?

   (b) Die Bundesbahn fährt mit der Spannung $U = 15\,000\,\mathrm{V}$. Der Widerstand des Motors einer Lok beträgt $R = 35\,\Omega$. Welcher Strom I fließt durch den Motor?

   (c) Welche Spannung U liegt an dem Widerstand $R = 48\,\mathrm{k\Omega}$, der von einem Strom der Stärke $I = 25\,\mu\mathrm{A}$ durchflossen wird?

   (d) Der Motor einer starken Bohrmaschine hat den Widerstand $R = 18\,\Omega$. Welche Stromstärke muss die Sicherung mindestens aushalten?

   (e) Der menschliche Körper hat, je nach Hautfeuchtigkeit, einen Widerstand von $2{,}5\,\mathrm{k\Omega}$ bis $10\,\mathrm{k\Omega}$. Stromstärken ab ungefähr $10\,\mathrm{mA}$ können für den Menschen schon lebensgefährdend sein. Ab welcher Spannung muss man also aufpassen?

Lösung: (a) $R = \frac{U}{I} = \frac{220\,\mathrm{V}}{0{,}11\,\mathrm{A}} = 2{,}0\,\mathrm{k\Omega}$

(b) $I = \frac{U}{R} = \frac{15\,0000\,\mathrm{V}}{35\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}}} = 4{,}3 \cdot 10^2\,\mathrm{A}$

(c) $U = RI = 48 \cdot 10^3\,\Omega \cdot 25 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{A} = 1{,}2\,\mathrm{V}$

(d) $I = \frac{U}{R} = \frac{230\,\mathrm{V}}{18\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}}} = 13\,\mathrm{A}$

(e) $U = RI = 2{,}5 \cdot 10^3\,\Omega \cdot 10 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{A} = 25\,\mathrm{V}$

5. Die Widerstände R_1 und R_2 liegen hintereinander an der Spannung U, mit U_1 bzw. U_2 werden die Teilspannungen an R_1 bzw. R_2 bezeichnet. Berechne die fehlenden Größen:

	R_1 in Ω	R_2 in Ω	R in Ω	U_1 in V	U_2 in V	U in V	I in A
(a)	80	120	?	?	?	10	?
(b)	150	10	?	5	?	?	?
(c)	?	30	?	?	0,01	300	?
(d)	1000	?	?	0,001	?	2	?
(e)	?	?	5000	?	400	?	0,1
(f)	50	?	?	?	?	220	5
(g)	?	80	?	?	6,4	?	0,8

Lösung:

	R_1 in Ω	R_2 in Ω	R in Ω	U_1 in V	U_2 in V	U in V	I in A
(a)	80	120	200	4	6	10	0,05
(b)	150	10	160	5	0,33	5,33	0,033
(c)	$9 \cdot 10^5$	30	$9 \cdot 10^5$	299,99	0,01	300	$3{,}3 \cdot 10^{-4}$
(d)	1000	?	?	0,001	1,999	2	$1 \cdot 10^{-6}$
(e)	1000	4000	5000	100	400	500	0,1
(f)	50	−6	44	?	?	220	5
(g)	?	80	?	?	6,4	?	0,8

zu (f): nicht möglich, da $R_2 < 0$

zu (g): nicht möglich, da $I = \dfrac{U_2}{R_2} = 0{,}08\,\mathrm{A} \neq 0{,}8\,\mathrm{A}$

6. Von fünf in Reihe geschalteten Widerständen ist jeder um $100\,\Omega$ größer als sein Vorgänger. Wie groß sind diese Widerstände, wenn bei einer angelegten Spannung von $U = 230\,\mathrm{V}$ ein Strom der Stärke $I = 0{,}20\,\mathrm{A}$ fließt? Berechne auch die Teilspannungen an den einzelnen Widerständen.

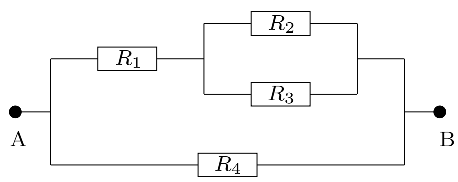
Lösung: $R + R + 100\,\Omega + R + 200\,\Omega + R + 300\,\Omega + R + 400\,\Omega = \dfrac{U}{I} = 1150\,\Omega$

$5R + 1000\,\Omega = 1150\,\Omega \quad \Longrightarrow \quad R = 30\,\Omega$

$U_1 = 30\,\Omega \cdot I = 6\,\mathrm{V}$, $U_2 = 26\,\mathrm{V}$, $U_2 = 46\,\mathrm{V}$, $U_2 = 66\,\mathrm{V}$, $U_2 = 86\,\mathrm{V}$

Probe: $U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 = U$

7. In nebenstehender Schaltung gilt $R_1 = 1{,}0\,\Omega$, $R_2 = 1{,}0\,\Omega$, $R_3 = 2{,}0\,\Omega$ und $R_4 = 5{,}0\,\Omega$. Durch R_1 fließt der Strom I_1, durch R_2 der Strom I_2 usw.



(a) Berechne den Gesamtwiderstand R_{AB} zwischen den Punkten A und B.

(b) Wie groß ist die Spannung U_{AB} zwischen den Punkten A und B, wenn durch R_2 der Strom $I_2 = 3{,}0\,\mathrm{A}$ fließt?

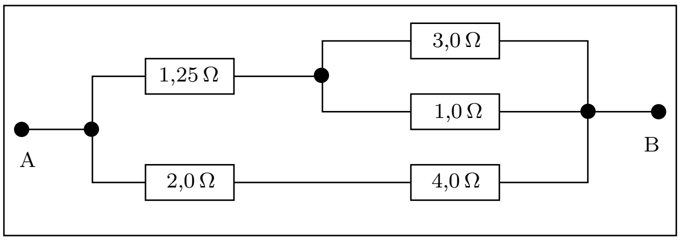
Lösung: (a) $R_{2\|3} = \dfrac{1 \cdot 2\,\Omega}{1+2} = \dfrac{2}{3}\,\Omega, \qquad R_{123} = R_1 + R_{2\|3} = \dfrac{5}{3}\,\Omega$

$$R_{\mathrm{AB}} = \frac{R_{123} \cdot R_4}{R_{123} + R_4} = \frac{\frac{5}{3} \cdot 5\,\Omega}{\frac{20}{3}} = \frac{25}{20}\,\Omega = 1{,}25\,\Omega$$

(b) $U_2 = R_2 I_2 = 3\,\mathrm{V}, \qquad I_3 = \dfrac{U_2}{R_3} = 1{,}5\,\mathrm{A}, \qquad I_1 = I_2 + I_3 = 4{,}5\,\mathrm{A}$

$U_1 = R_1 I_1 = 4{,}5\,\mathrm{V}, \qquad U_{\mathrm{AB}} = U_1 + U_2 = 7{,}5\,\mathrm{V}$

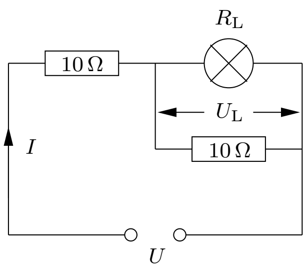
8. Berechne den Gesamtwiderstand R_{AB} der nebenstehend gezeichneten Schaltung!



Lösung: Parallelschaltung aus $3{,}0\,\Omega$ und $1{,}0\,\Omega$ ergibt $R_1 = 0{,}75\,\Omega$.
Reihenschaltung aus $1{,}25\,\Omega$ und R_1 ergibt $2{,}0\,\Omega$.
Parallelschaltung aus $2{,}0\,\Omega$ und $6{,}0\,\Omega$ ergibt $R_{\mathrm{ges}} = 1{,}5\,\Omega$.

9. Du hast ein Glühlämpchen mit der Aufschrift $4{,}5\,\mathrm{V}\,/\,1{,}35\,\mathrm{W}$, zwei $10\,\Omega$-Widerstände und eine $12\,\mathrm{V}$-Autobatterie. Finde eine Schaltung aus den gegebenen Bauteilen, mit der das Lämpchen ohne Schaden zu nehmen betrieben werden kann. Dokumentiere alle deine Versuche mit Schaltplan und Berechnung der Lampenspannung U_{L}.

Lösung: Sollstrom durch die Lampe: $I_0 = \dfrac{1{,}35\,\mathrm{VA}}{4{,}5\mathrm{V}} = 0{,}30\,\mathrm{A}$

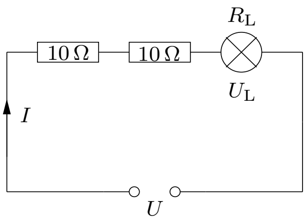


Lampenwiderstand: $R_{\mathrm{L}} = \dfrac{4{,}5\mathrm{V}}{0{,}3\,\mathrm{A}} = 15\,\Omega$

$R_{\mathrm{ges}} = 10\,\Omega + \dfrac{10 \cdot 15\,\Omega}{10+15} = 16\,\Omega, \quad I = \dfrac{U}{R_{\mathrm{ges}}} = 0{,}75\,\mathrm{A}$

$U_{\mathrm{L}} = 0{,}75\,\mathrm{A} \cdot 6\,\Omega = 4{,}5\,\mathrm{V}$

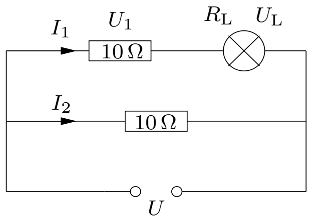
Schaltungen, die nicht zum Ziel führen:



$R_{ges} = 35\,\Omega$

$I = \dfrac{U}{R_{ges}} = 0{,}343\,\text{A}$

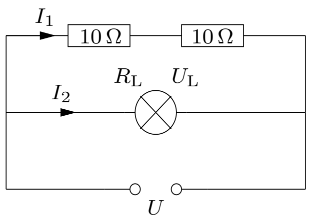
$U_L = \dfrac{15}{35} \cdot 12\,\text{V} = 5{,}14\,\text{V}$



$R_{oben} = 25\,\Omega$

$I_1 = \dfrac{U}{R_{oben}} = 0{,}48\,\text{A}$

$U_L = \dfrac{15}{25} \cdot 12\,\text{V} = 7{,}2\,\text{V}$



$U_L = 12\,\text{V}$

10. Inge hat eine ganze Schachtel voll mit $10\,\Omega$-Widerständen. Wie kann sie daraus mit möglichst wenig Materialverbrauch einen $8\,\Omega$-Widerstand zusammenbauen?

    Dokumentiere alle deine Versuche mit Schaltplan und Berechnung des Gesamtwiderstandes!

Lösung: Mögliche Lösungen:

(a) $\dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{40\,\Omega} + \dfrac{1}{10\,\Omega} = \dfrac{5}{40\,\Omega} = \dfrac{1}{8\,\Omega}$

$R = 8\,\Omega$

(b) $\dfrac{1}{R'} = \dfrac{1}{20\,\Omega} + \dfrac{1}{10\,\Omega} + \dfrac{1}{10\,\Omega} = \dfrac{5}{20\,\Omega} = \dfrac{1}{4\,\Omega}$

$R = R' + R' = 8\,\Omega$

(c) $\dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{40\,\Omega} + \dfrac{1}{40\,\Omega} + \dfrac{1}{40\,\Omega} = \dfrac{5}{40\,\Omega} = \dfrac{1}{8\,\Omega}$

$R = 8\,\Omega$

(d) $\dfrac{1}{R_1} = \dfrac{1}{30\,\Omega} + 3 \cdot \dfrac{1}{10\,\Omega} = \dfrac{10}{30\,\Omega} = \dfrac{1}{3\,\Omega}$

$R_2 = \dfrac{10\,\Omega}{2} = 5\,\Omega,\ R = R_1 + R_2 = 8\,\Omega$

(e) $\dfrac{1}{R_1} = \dfrac{1}{15\,\Omega} + \dfrac{1}{10\,\Omega} = \dfrac{5}{30\,\Omega} = \dfrac{1}{6\,\Omega}$

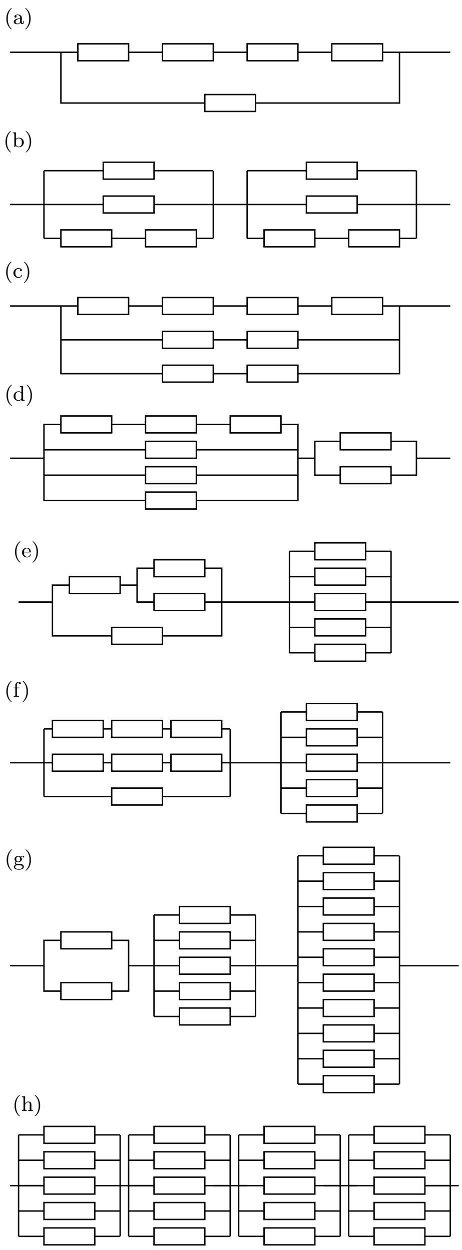
$R_2 = \dfrac{10\,\Omega}{5} = 2\,\Omega,\ R = R_1 + R_2 = 8\,\Omega$

(f) $\dfrac{1}{R_1} = \dfrac{1}{30\,\Omega} + \dfrac{1}{30\,\Omega} + \dfrac{1}{10\,\Omega} = \dfrac{1}{6\,\Omega}$

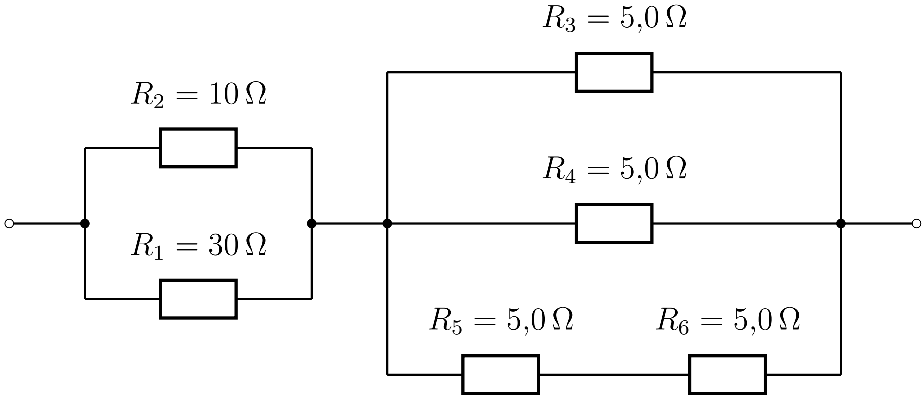
$R_2 = \dfrac{10\,\Omega}{5} = 2\,\Omega,\ R = R_1 + R_2 = 8\,\Omega$

(g) $R = \dfrac{10\,\Omega}{2} + \dfrac{10\,\Omega}{5} + \dfrac{10\,\Omega}{10} = 8\,\Omega$

(h) $R = 4 \cdot \dfrac{10\,\Omega}{5} = 8\,\Omega$



11. Berechne den Ersatzwiderstand der nachstehend abgebildeten Schaltung.



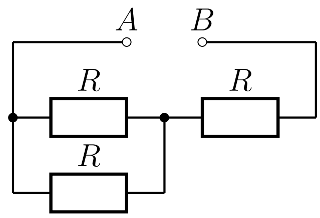
Lösung: R_1, R_2 parallel: $R_{12} = 7{,}5\,\Omega$

R_5, R_6 in Reihe: $R_{56} = 10\,\Omega$

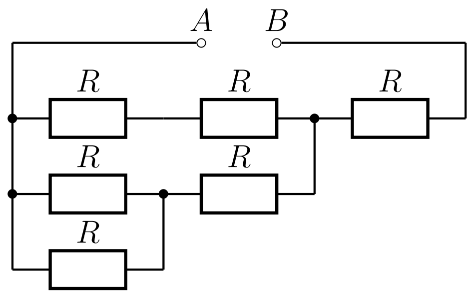
R_3, R_4, R_{56} parallel: $R_{3456} = 2{,}5\,\Omega$

R_{12}, R_{3456} in Reihe: $R_{123456} = 10\,\Omega$

12. (a) Berechne den Ersatzwiderstand R_1 zwischen A und B.



(b) Berechne den Ersatzwiderstand R_2 zwischen A und B unter Verwendung des Ergebnisses der vorhergehenden Teilaufgabe.



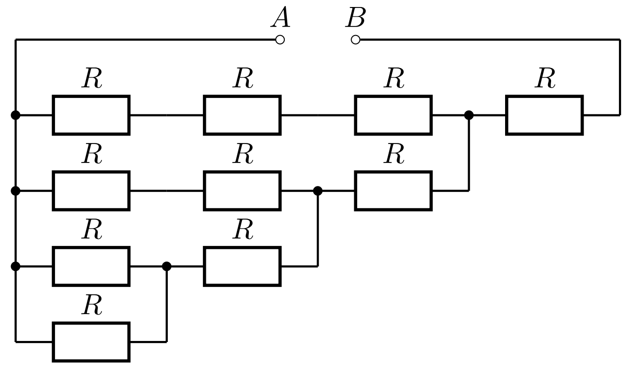
(c) Die ersten beiden Schaltungen kann man als Elemente einer Folge von Schaltungen auffassen. Zeichne das nächste Element dieser Folge und berechne den Widerstand R_3 dieser Schaltung.

(d) Wir legen $R_0 = R$ fest. Wie lautet dann die Formel zur Berechnung von R_{n+1} aus R und R_n ($n \in \mathbb{N}$)?

Lösung: (a) $R_1 = \dfrac{1 \cdot R \cdot R_0}{1 \cdot R + R_0} = \dfrac{3}{2}R$

(b) $R_2 = \dfrac{2 \cdot R \cdot R_1}{2 \cdot R + R_1} = \dfrac{13}{7}R$

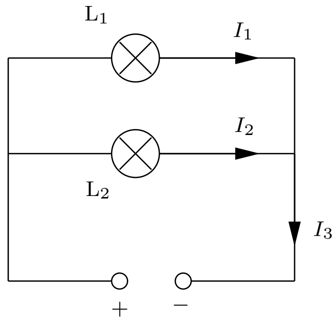
(c)



$$R_3 = \frac{3 \cdot R \cdot R_2}{3 \cdot R + R_2} = \frac{73}{34} R$$

(d) $R_{n+1} = \dfrac{(n+1) \cdot R \cdot R_n}{(n+1) \cdot R + R_n}$

13. In nebenstehender Schaltung sind die Stromstärken $I_1 = 36\,\mathrm{mA}$ und $I_3 = 0{,}113\,\mathrm{A}$ bekannt.
    (a) Berechne I_2.
    (b) Wie viele Elektronen fließen in fünf Minuten durch die Lampe L_1?
    (c) In welcher Zeit fließen $2{,}0 \cdot 10^{20}$ Elektronen durch die Lampe L_2?



Lösung: (a) $I_2 = I_3 - I_1 = 113\,\mathrm{mA} - 36\,\mathrm{mA} = 77\,\mathrm{mA} = 0{,}077\,\mathrm{A}$

(b) $\Delta Q_1 = 5 \cdot 60\,\mathrm{s} \cdot 0{,}036\,\mathrm{A} = 10{,}8\,\mathrm{C} \approx 11\,\mathrm{C}$

Zahl der Elektronen: $n = \dfrac{\Delta Q_1}{e} = 6{,}7 \cdot 10^{19}$

(c) $\Delta Q_2 = 2 \cdot 10^{20} \cdot e = 32\,\mathrm{As}$

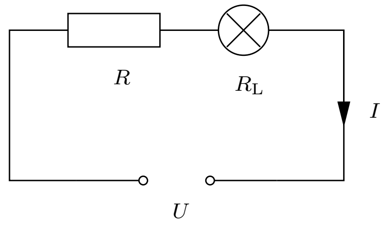
$$\Delta t = \frac{\Delta Q_2}{I_2} = \frac{32\,\mathrm{As}}{0{,}077\,\mathrm{A}} = 4{,}2 \cdot 10^2\,\mathrm{s} = 7{,}0\,\mathrm{min}$$

3.2 elektrischer Energie und Leistung

1. Tom möchte eine Glühbirne mit der Aufschrift 23 V/46 W an das Haushaltsnetz ($U = 230\,\mathrm{V}$) anschließen. Er hat dazu zwei Präzisionswiderstände mit dem jeweiligen Wert $R = 90{,}0\,\Omega$. Die Spannung U_L an der Lampe soll natürlich möglichst genau 23 V sein, darf diesen Wert aber auf keinen Fall um mehr als zwei Prozent überschreiten.

(a) Berechne den Widerstand R_L der Lampe.

(b) Tom probiert es mit nebenstehender Schaltung. Überprüfe durch Rechnung, ob die Forderungen erfüllt sind. Wieviel Prozent der Leistung der Stromquelle gehen in R verloren?



(c) Suche eine bessere Schaltung. Dokumentiere deine Versuche durch Schaltpläne und die notwendigen Berechnungen.

Lösung: (a) $P_0 = U_0 I_0 \quad \Longrightarrow \quad I_0 = \frac{P_0}{U_0} = \frac{46\,\mathrm{VA}}{23\,\mathrm{V}} = 2\,\mathrm{A} \quad \Longrightarrow \quad R_\mathrm{L} = \frac{U_0}{I_0} = 11{,}5\,\Omega$

(b) $R_\mathrm{ges} = R + R_\mathrm{L} = 101{,}5\,\Omega, \quad I = \frac{U}{R_\mathrm{ges}} = 2{,}266\,\mathrm{A}, \quad U_\mathrm{L} = R_\mathrm{L} I = 26{,}1\,\mathrm{V}$

Maximal zulässiger Wert: $U_\mathrm{L,max} = 1{,}02 \cdot 23\,\mathrm{V} = 23{,}46\,\mathrm{V} \quad \Longrightarrow \quad U_\mathrm{L}$ zu groß.

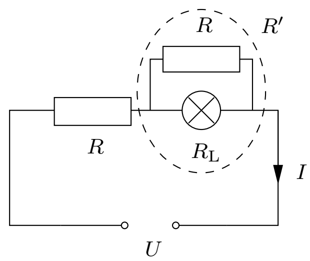
$P = UI = 528\,\mathrm{W}$

$P_R = U_R I = (U - U_\mathrm{L})I = 206{,}6\,\mathrm{V} \cdot 2{,}266\,\mathrm{A} = 468{,}16\,\mathrm{W}, \quad \frac{P_R}{P} = 88{,}7\,\%$

(c) $R' = \frac{R_\mathrm{L} R}{R_\mathrm{L} + R} = \frac{90 \cdot 11{,}5}{101{,}5}\,\Omega = 10{,}197\,\Omega$

$R_\mathrm{ges} = R + R' = 100{,}197\,\Omega$

$I = \frac{U}{R_\mathrm{ges}} = 2{,}295\,\mathrm{A}, \quad U_\mathrm{L} = R'I = 23{,}41\,\mathrm{V} < U_\mathrm{L,max}$

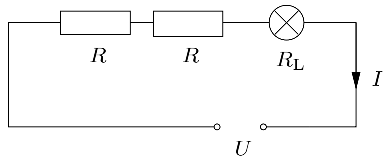


Schlechtere Lösung:

$R_\mathrm{ges} = 2R + R_\mathrm{L} = 191{,}5\,\Omega$

$I = \frac{U}{R_\mathrm{ges}} = 1{,}201\,\mathrm{A}$

$U_\mathrm{L} = R_\mathrm{L} I = 13{,}8\,\mathrm{V}$



2. Eine Halogenlampe wird normalerweise mit der Spannung $U_\mathrm{L} = 24{,}0\,\mathrm{V}$ betrieben und dabei vom Stom $I_\mathrm{L} = 2{,}50\,\mathrm{A}$ durchflossen.

   (a) Berechne den Widerstand R_L der Lampe und die in der normal betriebenen Lampe umgesetzte Leistung P_L.

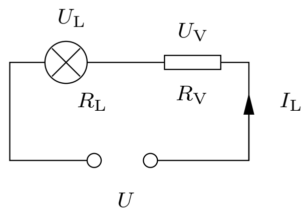
   (b) Um die Lampe am Stromnetz ($U = 230\,\mathrm{V}$) zu betreiben, wird ein Widerstand R_V vorgeschaltet. Zeichne ein beschriftetes Schaltbild und berechne R_V so, dass die Lampe wieder im Normalbetrieb läuft.

   (c) Welche Spannung U_V liegt an R_V? Welche Leistung P_V geht im Vorschaltwiderstand verloren? Wie groß ist demnach der Wirkungsgrad der Schaltung?

Lösung: (a) $R_\mathrm{L} = \dfrac{U_\mathrm{L}}{I_\mathrm{L}} = \dfrac{24\,\mathrm{V}}{2,5\,\mathrm{A}} = 9{,}60\,\Omega, \quad P_\mathrm{L} = U_\mathrm{L} I_\mathrm{L} = 60{,}0\,\mathrm{W}.$

(b) $R_\mathrm{ges} = \dfrac{U}{I_\mathrm{L}} = 92{,}0\,\Omega$

$R_\mathrm{V} = R_\mathrm{ges} - R_\mathrm{L} = 82{,}4\,\Omega$



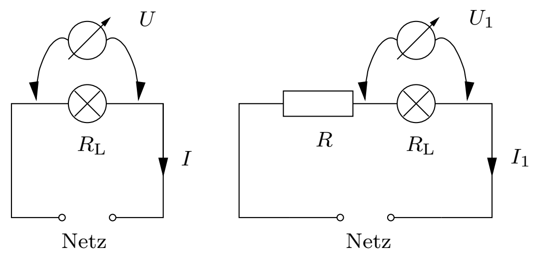
(c) $U_\mathrm{V} = R_\mathrm{V} \cdot I_\mathrm{L} = 206\,\mathrm{V}$ oder $U_\mathrm{V} = U - U_\mathrm{L} = 206\,\mathrm{V}$

$P_\mathrm{V} = U_\mathrm{V} \cdot I_\mathrm{L} = 515\,\mathrm{W}$

Gesamtleistung der Stromquelle: $P_\mathrm{ges} = U \cdot I_\mathrm{L} = P_\mathrm{L} + P_\mathrm{V} = 575\,\mathrm{W}$

$\eta = \dfrac{P_\mathrm{L}}{P_\mathrm{ges}} = \dfrac{60}{575} = 0{,}104 = 10{,}4\,\%$

3. Jörg möchte die Leistung seines Superscheinwerfers bestimmen. Da der Strommessbereich seines Vielfachmessgerätes defekt ist, kann er nur Spannungen messen. Außerdem besitzt er noch einen Präzisionswiderstand mit dem Wert $R = 125\,\Omega$. Jörg misst zuerst die Netzspannung $U = 232\,\mathrm{V}$ und dann die Spannung $U_1 = 32{,}0\,\mathrm{V}$ am Scheinwerfer, wenn dieser mit R in Reihe ans Netz angeschlossen wird. Berechne zuerst die Spannung U_R am Widerstand R, die Stromstärke I_1 und dann den Widerstand R_L des Scheinwerfers und seine Leistung P, wenn er ohne den Widerstand R an U angeschlossen wird.



Lösung: $U_\mathrm{R} = U - U_1 = 200\,\mathrm{V} \quad I_1 = \dfrac{U_\mathrm{R}}{R} = 1{,}60\,\mathrm{A} \quad R_\mathrm{L} = \dfrac{U_1}{I_1} = 20{,}0\,\Omega$

$$P = UI = U \cdot \frac{U}{R_\mathrm{L}} = \frac{U^2}{R_\mathrm{L}} = \frac{232^2\,\mathrm{V}^2}{20{,}0\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}}} = 2691\,\mathrm{VA} \approx 2{,}69\,\mathrm{kW}$$

4. Durch ein Fernsehgerät, das im Stand–by–Betrieb mit einer Spannung von 230 V betrieben wird, fließen 0,10 A.

   (a) Wie viel elektrische Energie in der Einheit 1 J wird verbraucht, wenn das Fernsehgerät 20,0 h lang im Stand–by–Betrieb läuft?

   (b) Der Preis für 1,00 kWh beträgt 18,0 Cent. Wie viel kostet der Betrieb des Fernsehgeräts in 1,00 a, wenn es pro Tag 20,0 h im Stand–by–Betrieb läuft?

   (c) Ein modernes Kernkraftwerk hat eine Leistung von etwa 1100 MW. In Deutschland gibt es etwa 55 Millionen Haushalte. Jeder Haushalt ist mit etwa 1,5 Fernsehgeräten ausgestattet. Zur Vereinfachung nehmen wir an, dass in jedem Haushalt 1 Fernsehgerät rund um die Uhr im Stand–by–Betrieb läuft. Zeige durch Rechnung, dass man durch Abschalten aller Fernsehgeräte, die im Stand–by–Betrieb laufen, ein Kernkraftwerk einsparen könnte!

Lösung: (a) $230\,\mathrm{V}\cdot 0{,}10\,\mathrm{A}\cdot 20\cdot 3600\,\mathrm{s} = 1{,}7\,\mathrm{MJ}$

(b) $230\,\mathrm{V}\cdot 0{,}10\,\mathrm{A}\cdot 20\,\mathrm{h}\cdot 18\,\frac{\mathrm{Cent}}{\mathrm{kWh}}\cdot 365 = 30\,€$

(c) $55\cdot 10^6\cdot 23\,\mathrm{W} > 1100\,\mathrm{W}$

5. (a) Welche Spannung erteilt der Ladung $Q = 0{,}060\,\mathrm{C}$ die Energie $W = 3{,}0\,\mathrm{J}$?

   (b) Welcher Ladung wird beim durchlaufen der Spannung $U = 220\,\mathrm{V}$ die Energie $W = 2{,}00\,\mathrm{J}$ übertragen?

Lösung: (a) $U = \frac{W}{Q} = \frac{3\,\mathrm{J}}{0{,}06\,\mathrm{C}} = 50\,\mathrm{V}$

(b) $Q = \frac{W}{U} = \frac{2\,\mathrm{J}}{220\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}}} = 9{,}09\,\mathrm{mC}$

6. (a) In einer Fernsehröhre werden zunächst ruhende Elektronen von der Spannung $U = 5000\,\mathrm{V}$ beschleunigt. Berechne die kinetische Energie W_k und die Geschwindigkeit v der Elektronen nach der Beschleunigung.

   (b) Ein Proton soll in $\Delta t = 10\,\mathrm{s}$ von der Erde zum Mond fliegen ($\Delta s = 384000\,\mathrm{km}$). Von welcher Spannung U muss das Proton beschleunigt werden?

Lösung: (a) $W_\mathrm{k} = eU = 8{,}01\cdot 10^{-16}\,\mathrm{J},\quad v^2 = \frac{2W_\mathrm{k}}{m_\mathrm{e}} = 1{,}76\cdot 10^{15}\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} \quad\Longrightarrow\quad v = 4{,}19\cdot 10^7\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

(b) $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = 3{,}84\cdot 10^7\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}},\quad W_\mathrm{k} = \frac{m_\mathrm{p}}{2}v^2 = 1{,}23\cdot 10^{-12}\,\mathrm{J},\quad U = \frac{W_\mathrm{k}}{e} = 7{,}70\,\mathrm{MV}$

7. Für ein Experiment müssen ruhende Protonen auf die Geschwindigkeit $v = 2{,}7\cdot 10^7\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ beschleunigt werden. Welche Spannung U müssen die Protonen dazu durchlaufen?

Lösung: $\frac{m_p}{2}v^2 = eU \quad\Longrightarrow\quad U = \frac{m_p v^2}{2e} = 3{,}8\cdot 10^6\,\mathrm{V}$

8. Ein Elektromotor wird an eine normale Steckdose angeschlossen, die mit $10\,\mathrm{A}$ abgesichert ist. In welcher minimalen Zeit Δt kann der Motor mit dem Wirkungsgrad $\eta = 60\,\%$ drei Zementsäcke der Gesamtmasse $m = 150\,\mathrm{kg}$ vom Boden in den 3. Stock ($h = 12\,\mathrm{m}$) befördern?

Lösung: $P_\mathrm{mech} = 0{,}6\cdot 230\,\mathrm{V}\cdot 10\,\mathrm{A} = 1380\,\mathrm{W},\quad W = mgh = P\cdot\Delta t \quad\Longrightarrow\quad \Delta t = \frac{mgh}{P} = 13\,\mathrm{s}$

9. Ein Tauchsieder ist an eine Haushaltssteckdose angeschlossen und wird von einem Strom der Stärke $I = 3{,}5\,\mathrm{A}$ durchflossen. In welcher Zeit Δt kann mit dem Tauchsieder ein Liter Wasser der Temperatur 14 °C zum Kochen gebracht werden?

Lösung: $\Delta t = \frac{W}{P} = \frac{c_{\text{Wasser}} m \Delta T}{UI} = \frac{4190\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\,K}} \cdot 1\,\mathrm{kg} \cdot 86\,\mathrm{K}}{230\,\mathrm{V} \cdot 3{,}5\,\mathrm{A}} = 4{,}5 \cdot 10^2\,\mathrm{s} = 7{,}5\,\mathrm{min}$

10. Auf einer Glühbirne steht 230 V / 60 W. Welcher Strom I fließt durch die Glühbirne und welchen Widerstand R hat sie?

Lösung: $I = \frac{P}{U} = 0{,}26\,\mathrm{A}, \quad R = \frac{U}{I} = \frac{U^2}{P} = 8{,}8 \cdot 10^2\,\Omega$

11. Durch einen Fernseher fließt bei $U = 230\,\mathrm{V}$ und $I = 5{,}0\,\mathrm{A}$ in der Zeit t die Ladung $Q = 1{,}8 \cdot 10^4\,\mathrm{C}$. Berechne den Widerstand R des Gerätes, die Leistungsaufnahme P, die verbrauchte elektrische Energie W und die Einschaltdauer t.

Lösung: $R = \frac{U}{I} = 46\,\Omega, \quad P = UI = 1{,}2\,7kW, \quad W = QU = 4{,}1 \cdot 10^6\,\mathrm{J}$

$t = \frac{Q}{I} = 3600\,\mathrm{s} = 1{,}0\,\mathrm{h}$

12. Durch eine Filmleuchte ($P = 1000\,\mathrm{W}$) fließt in 11 s die Ladung 50 C. Berechne U, I, R und W!

Lösung: $I = \frac{Q}{t} = 4{,}5\,\mathrm{A}, \quad U = \frac{P}{I} = \frac{Pt}{Q} = 220\,\mathrm{V}, \quad R = \frac{U}{I} = \frac{Pt^2}{Q^2} = 48\,\Omega, \quad W = Pt = 11\,\mathrm{kJ}$

13. Ein Tauchsieder soll 400 g Eis von 0 °C in 5 min in Wasser von 60 °C verwandeln. Welchen Widerstand R muss der Tauchsieder haben?

Lösung: $W = 0{,}4\,\mathrm{kg} \cdot 335\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} + 0{,}4\,\mathrm{kg} \cdot 60\,\mathrm{K} \cdot 4{,}19\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}} = 235\,\mathrm{kJ}, \quad U = 230\,\mathrm{V}$

$P = \frac{W}{t} = \frac{235\,\mathrm{kJ}}{300\,\mathrm{s}} = 782\,\mathrm{W} = UI \quad \Longrightarrow \quad I = \frac{P}{U} = 3{,}4\,\mathrm{A}, \quad R = \frac{U}{I} = 68\,\Omega$

14. An einem Widerstand R liegt für die Zeit t die Spannung U und es fließt der Strom I. P ist die Leistung der Stromquelle in dieser Zeit und W die gesamte in dieser Zeitspanne am Widerstand R umgesetzte Energie.

   (a) Berechne P, R und U aus I, W und t.

   (b) Berechne P, I und U aus R, W und t.

Lösung: (a) $P = \frac{W}{t}, \quad U = \frac{P}{I} = \frac{W}{It}, \quad R = \frac{U}{I} = \frac{W}{I^2 t}$

(b) $P = \frac{W}{t} = UI = RI^2 \quad \Longrightarrow \quad I = \sqrt{\frac{W}{Rt}}, \quad U = RI = \sqrt{\frac{WR}{t}}$

15. Auf einer Glühbirne steht 3,5 V / 1,05 W. Welchen Widerstand R_V muss man vorschalten, damit das Lämpchen an 230 V angeschlossen werden kann? Wieviel Prozent der Gesamtleistung gehen am Widerstand verloren? Wieviel Prozent sind das von der Nutzleistung?

Lösung: Mit $P = 1{,}05\,\mathrm{W}$ und der Lampenspannung $U_\mathrm{L} = 3{,}5\,\mathrm{V}$ folgt für den Sollstrom durch die Lampe $I = \dfrac{P}{U_\mathrm{L}} = 0{,}3\,\mathrm{A}$.

Der Widerstand der Lampe ist $R_\mathrm{L} = \dfrac{U_\mathrm{L}}{I} = 11{,}7\,\Omega$.

Der Gesamtwiderstand der Reihenschaltung ist $R_\mathrm{ges} = R + R_\mathrm{L} = \dfrac{230\,\mathrm{V}}{0{,}3\mathrm{A}} = 766{,}7\,\Omega$.

$R = R_\mathrm{ges} - R_\mathrm{L} = 755\,\Omega$

Die Gesamtleistung ist $P_\mathrm{ges} = 230\ \mathrm{V} \cdot I^2 = 20{,}7\,\mathrm{W}$, die Nutzleistung $P = 1{,}05\,\mathrm{W}$ und die Verlustleistung $P_\mathrm{V} = P_\mathrm{ges} - P = 19{,}65\,\mathrm{W}$.

$\dfrac{P_\mathrm{V}}{P_\mathrm{ges}} = 94{,}9\,\%$, $\dfrac{P_\mathrm{V}}{P} = 1{,}87 \cdot 10^3\,\%$

16. **Strom aus Wasserkraft**

Vom Walchensee fließen pro Sekunde $84\,\mathrm{m}^3$ Wasser in Druckrohren zum $h = 200\,\mathrm{m}$ tiefer gelegenen Kraftwerk, das die anfängliche potentielle Energie des Wassers mit einem Wirkungsgrad von 75% in elektrische Energie verwandelt. Welche elektrische Leistung P kann das Kraftwerk abgeben? Um wieviel Grad ist das Wasser nach dem Kraftwerk wärmer als im Walchensee? Welcher Strom fließt in der vom Werk abgehenden 110-kV-Leitung?

Lösung: $P = 75\% \cdot \dfrac{mgh}{\Delta t} = 0{,}75 \cdot \dfrac{84\,000\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot 200\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{s}} = 1{,}24 \cdot 10^8\,\mathrm{W} = 124\,\mathrm{MW}$

$I = \dfrac{P}{U} = \dfrac{124\,\mathrm{MVA}}{0{,}11\,\mathrm{MV}} = 1{,}1 \cdot 10^3\,\mathrm{A}$

$$25\% \cdot mgh = c_\mathrm{Wasser} m \Delta T \quad \Longrightarrow \quad \Delta T = \frac{0{,}25\,gh}{c_\mathrm{Wasser}} = \frac{0{,}25 \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot 200\,\mathrm{m}}{4190\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\,K}}} = 0{,}12\,\mathrm{K}$$

17. **Vom Unsinn der Standby-Schaltungen**

Damit der moderne „Homo faulentius“ seinen Leib nicht mehr vom Sofa erheben muss, sind die meisten Fernseh- und Stereogeräte mit Standby-Schaltungen ausgestattet, d.h. sie lassen sich mit der Fernbedienung vom normalen Betrieb in den Schlafmodus (Standby) und wieder zurück schalten (Videorekorder lassen sich überhaupt nicht ausschalten). Im Standby-Betrieb fließt im Durchschnitt der Strom $I = 45\,\mathrm{mA}$ durch ein Gerät. Was kostet der jährliche „Rund-um-die-Uhr-Standby-Betrieb“ von $N = 1{,}8 \cdot 10^8$ Geräten (Deutschland) bei einem Preis von 17 Cent pro Kilowattstunde? Wie viele Wasserkraftwerke mit der mittleren Leistung 36 MW (Walchensee) bzw. Kernkraftwerke mit der Leistung 900 MW (Isar I) sind zum Standby-Betrieb der deutschen Geräte nötig?

Lösung: Energieverbrauch in einem Jahr:

$$W = NUIt = 1{,}8 \cdot 10^8 \cdot 230\,\mathrm{V} \cdot 0{,}045\,\mathrm{A} \cdot 365{,}25 \cdot 24\,\mathrm{h} = 1{,}6 \cdot 10^{10}\,\mathrm{kWh}$$

Kosten pro Jahr:

$$k = 1{,}6 \cdot 10^{10}\,\mathrm{kWh} \cdot 0{,}17\,\frac{€}{\mathrm{kWh}} = 2{,}8 \cdot 10^9\,€$$

Benötigte Gesamtleistung:

$$P = NUI = 1{,}8 \cdot 10^8 \cdot 230\,\mathrm{V} \cdot 0{,}045\,\mathrm{A} = 1{,}9\,\mathrm{GW}$$

Man benötigt $\frac{P}{36\,\mathrm{MW}} \approx 53$ Wasserkraftwerke oder $\frac{P}{0{,}9\,\mathrm{GW}} \approx 2$ Kernkraftwerke.

18. **Wie viele Elektronen man zum Bügeln braucht**

Ein Bügeleisen nimmt die Leistung $P = 690\,\mathrm{W}$ auf. Welchen Widerstand R hat das Gerät? Wie viele Elektronen (Elementarladung: $e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}\,C$) fließen pro Stunde durch das Bügeleisen?

Lösung: $P = UI = \dfrac{U^2}{R} \quad \Longrightarrow \quad R = \dfrac{U^2}{P} = \dfrac{230^2\,\mathrm{V}^2}{690\,\mathrm{VA}} = 76{,}7\,\Omega$

$I = \dfrac{P}{U} = 3{,}0\,\mathrm{A}, \quad Q = It = 3{,}0\,\mathrm{A} \cdot 3600\,\mathrm{s} = 10800\,\mathrm{C}, \quad n = \dfrac{Q}{e} = 6{,}75 \cdot 10^{22}$

19. Ein Bach, der pro Sekunde $0{,}50\,\mathrm{m}^3$ Wasser führt, stürzt in einem Rohr $h = 3{,}0\,\mathrm{m}$ in die Tiefe und treibt den Generator eines kleinen Wasserkraftwerks an. 70% der potentiellen Energie des Wassers werden dabei in elektrische Energie verwandelt, 20% gehen in innere Energie des Wassers über.

(a) Was passiert mit den restlichen 10% der potentiellen Energie des Wassers?

(b) Um welche Temperaturdifferenz ΔT ist das Wasser nach dem Generator wärmer als vorher? ($c_{\mathrm{H_2O}} = 4{,}19\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}}$)

(c) Welche maximale elektrische Leistung P_e kann der Generator abgeben? Wie groß ist die Stromstärke I bei dieser maximalen Leistung, wenn die Spannung des Generators $U = 230\,\mathrm{V}$ beträgt?

Lösung: (a) Erwärmung des Generators und der Umgebung.

(b) Pro Sekunde: $W_\mathrm{p} = mgh = 500\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\dfrac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot 3\,\mathrm{m} = 14715\,\mathrm{J}$

$$0{,}2mgh = mc_{\mathrm{H_2O}}\Delta T \quad \Longrightarrow \quad \Delta T = \frac{0{,}2gh}{c_{\mathrm{H_2O}}} = \frac{0{,}2 \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot 3\,\mathrm{m}}{4190\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\,K}}} = 1{,}4 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{K}$$

(c) $P_\mathrm{e} = 0{,}7 \cdot \dfrac{W_\mathrm{p}}{\Delta t} = \dfrac{0{,}7 \cdot 14715\,\mathrm{J}}{1\,\mathrm{s}} = 1{,}0 \cdot 10^4\,\mathrm{W} = UI \quad \Longrightarrow \quad I = \dfrac{P_\mathrm{e}}{U} = 45\,\mathrm{A}$

20. Ein Elektroauto der Masse $m = 800\,\mathrm{kg}$ beschleunigt in $20\,\mathrm{s}$ von null auf $90\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$. Der Motor des Fahrzeugs wird mit der Spannung $U = 200\,\mathrm{V}$ betrieben und hat den Wirkungsgrad 80%. Von welchem mittleren Strom I wird der Motor während des Beschleunigungsvorgangs durchflossen?

Lösung: $90\,\dfrac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} = 25\,\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}, \quad W = \dfrac{m}{2}\,v^2 = 2{,}5 \cdot 10^5\,\mathrm{J}, \quad P = \dfrac{W}{t} = 12500\,\mathrm{W} = 12{,}5\,\mathrm{kW}$

$P = UI \cdot 80\% \quad \Longrightarrow \quad I = \dfrac{P}{0{,}8\,U} = 78{,}125\,\mathrm{A} \approx 78\,\mathrm{A}$

21. (a) Eine LED-Lampe liegt an der Spannung $U = 3{,}6\,\mathrm{V}$ und dabei wird die elektrische Leistung $P = 2{,}0\,\mathrm{W}$ in der Lampe umgesetzt. Von welchem Strom I wird die Lampe durchflossen und welchen Widerstand R hat sie?

(b) Ein Aufzug der Masse $m = 1200\,\mathrm{kg}$ wird von einem Elektromotor mit dem Wirkungsgrad $\eta = 90\,\%$ in $\Delta t = 2{,}5\,\mathrm{s}$ mit konstanter Geschwindigkeit um die Höhe $h = 3{,}6\,\mathrm{m}$ gehoben. Dabei gehen $10\,\%$ der vom Motor erbrachten mechanischen Energie durch Reibung verloren. Von welchem Strom I wird der Motor durchflossen, der an der Spannung $U = 218\,\mathrm{V}$ liegt?

Wie groß ist I, wenn der Aufzug (bei konstanter Leistung) zusätzlich noch von null auf $v = 4{,}5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ beschleunigt wird?

Lösung: (a) $I = \dfrac{P}{U} = 0{,}56\,\mathrm{A}, \quad R = \dfrac{U}{I} = 6{,}5\,\Omega$

(b) Die am Aufzug umgesetzte mechanische Leistung ist

$$P_\mathrm{m} = 0{,}9 \cdot (1 - 0{,}1) \cdot UI = \frac{mgh}{\Delta t}$$

$$I = \frac{mgh}{0{,}81\,\Delta t\,U} = \frac{1200\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot 3{,}6\,\mathrm{m}}{0{,}81 \cdot 2{,}5\,\mathrm{s} \cdot 218\,\mathrm{V}} = 96\,\mathrm{A}$$

Mit Beschleunigung:

$$I = \frac{mgh + \frac{m}{2}v^2}{0{,}81\,\Delta t\,U} = \frac{42379{,}2\,\mathrm{J} + 12150\,\mathrm{J}}{0{,}81 \cdot 2{,}5\,\mathrm{s} \cdot 218\,\mathrm{V}} = 124\,\mathrm{A}$$

22. Welche Stromstärke fließt durch einen an das Haushaltsnetz angeschlossenen elektrischen Wasserkocher, wenn man Wasser zum Sieden bringt?

Lösung: Aus einer Schätzung, Messung bzw. aus einem Tabellenwerk:

$m = 1\,\mathrm{kg}, t = 4\,\mathrm{min}, U = 230\,\mathrm{V}, c = 4{,}2\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{g\,K}}, \vartheta_0 = 20°\mathrm{C}, \vartheta_1 = 100°\mathrm{C}$

$U\,I\,t = c\,m\Delta\vartheta \quad \Rightarrow \quad I = \frac{c\,m\,\Delta\vartheta}{U\,t} = 6\,\mathrm{A}$

23. Du füllst in einen an das Haushaltnetz ($U = 230\,\mathrm{V}$) angeschlossenen Wasserkocher $1{,}0\,\mathrm{l}$ Wasser (Dichte von Wasser $\varrho = 1{,}0\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{dm}^3}$, spezifische Wärme von Wasser $c = 4{,}2\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{g\,K}}$) der Temperatur $\vartheta_0 = 20°\mathrm{C}$. Es vergehen 4,0 Minuten bis das Wasser zu sieden beginnt. Welche Stromstärke fließt durch den Wasserkocher?

Lösung: $U\,I\,t = c\,m\Delta\vartheta \quad \Rightarrow \quad I = \frac{c\,m\,\Delta\vartheta}{U\,t} = 6{,}0\,\mathrm{A}$

3.3 Energieversorgung

4 Profilbereich am NTG

4.1 Dichte

1. Frisch gefallener Schnee hat die Dichte $0,20\frac{g}{cm^3}$.
   (a) Welches Gewicht hat eine 30cm dicke Schicht frisch gefallenen Schnees auf einem Flachdach von 20m Länge und 10m Breite?
   (b) Wie viel Liter Wasser entstehen, wenn dieser Schnee schmilzt?
   (c) Wie viel cm^3 Luft sind in $1dm^3$ Schnee enthalten? Die Masse der Luft ist zu vernachlässigen.

   Quelle: Julia Pürkner

Lösung: (a) $m = 12t$, $G = 0,12MN$
(b) Bei der Umwandlung von Schnee in Wasser bleibt die Masse (12t) erhalten. Die Masse der Luft kann vernachlässigt werden. $\Rightarrow 12000l$
(c) Aus $60m^3$ Schnee entstehen $12m^3$ Wasser, also müssen in Schnee $48m^3$ Luft enthalten sein. Also sind $\frac{4}{5}$ des Schneevolumens Luft. Damit sind in $1dm^3 = 1000cm^3$ Schnee $800cm^3$ Luft enthalten.

2. Ein Mann hat die Masse 80,0kg. Er besitzt 5,8l Blut der Dichte $1,06g/cm^3$. Wie viel Prozent seiner Gesamtmasse macht das Blut aus?

   Quelle: Julia Pürkner

Lösung: $7,6\%$

3. Wir können einen Atomkern vereinfacht als winziges Kügelchen auffassen. Der Radius r eines solchen Kügelchens hängt von der Anzahl A der Nukleonen (das sind Protonen und Neutronen) im Kern ab. Es gilt $r \approx 1{,}4 \cdot 10^{-15}\,\mathrm{m} \cdot \sqrt[3]{A}$. Ein Nukleon hat etwa eine Masse von $m_\mathrm{N} = 1{,}67 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{kg}$.
   (a) Schätze die Dichte von Kernmaterie für $A = 12$ ab.
   (b) Welche Masse hätte in etwa ein Würfel der Kantenlänge 1,0 cm und der Dichte von Kernmaterie? Wie vielen Mittelkklassewagen einer Masse von jeweils 1,5 t entspricht dies?

(c) Welchen Radius hätte in etwa eine Kugel der Erdmasse $m_{\text{Erde}} = 5{,}98 \cdot 10^{24}\,\text{kg}$ und der Dichte von Kernmaterie?

Lösung: (a) $\varrho \approx \frac{m}{V} = \frac{A \cdot m_{\text{N}}}{\frac{4}{3} \cdot \left(r_0 \cdot \sqrt[3]{A}\right)^3 \cdot \pi} = \frac{3}{4\,\pi} \cdot \frac{m_{\text{N}}}{r_0^3} = 1{,}5 \cdot 10^{17}\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, wobei $r_0 = 1{,}5 \cdot 10^{-15}\,\text{m}$.

(b) $1{,}5 \cdot 10^{11}\,\text{kg}$; ≈ 97 Mio.

(c) $r \approx \sqrt[3]{\frac{3 \cdot m_{\text{Erde}}}{4\,\pi \cdot \varrho}} = 214\,\text{m}$

4.2 Druck

4.3 Energietechnik

4.4 Messtechnik

4.5 Verschiedenes