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

Inhaltsverzeichnis

1 Energie als Erhaltungsgröße **4**

1.1 Energieumwandlung 4

1.2 Goldene Regel der Mechanik, Kraftwandler 4

1.3 Höhenenergie, kinetischen Energie, Spannenergie, Energieerhaltung 4

1.4 Arbeit 7

1.5 Leistung, Wirkungsgrad 7

2 Aufbau der Materie, Wärmelehre **10**

2.1 Temperatur 10

2.2 Aggregatzustände, Schmelzen, Sieden, Verdunsten 10

2.3 innere Energie, Änderung der inneren Energie durch Arbeit oder Wärme . 13

2.4 Volumenänderung bei Temperaturänderung von Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern 15

3 Elektrische Energie **17**

3.1 Ohm'sches Gesetz, Serien- und Parallelschaltung 17

3.2 elektrischer Energie und Leistung 21

3.3 Energieversorgung 25

4 Profilbereich am NTG **26**

4.1 Dichte 26

4.2 Druck 26

4.3 Energietechnik 26

4.4 Messtechnik 26

4.5 Verschiedenes 26

1 Energie als Erhaltungsgröße

1.1 Energieumwandlung

1.

1.2 Goldene Regel der Mechanik, Kraftwandler

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

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

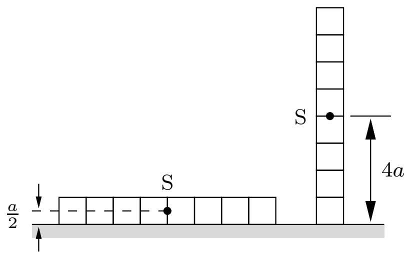
4. Die Geschwindigkeit beträgt in etwa $8\frac{m}{s}$. Die kinetische Energie beträgt in etwa $1,1kJ$

5. (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.:

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

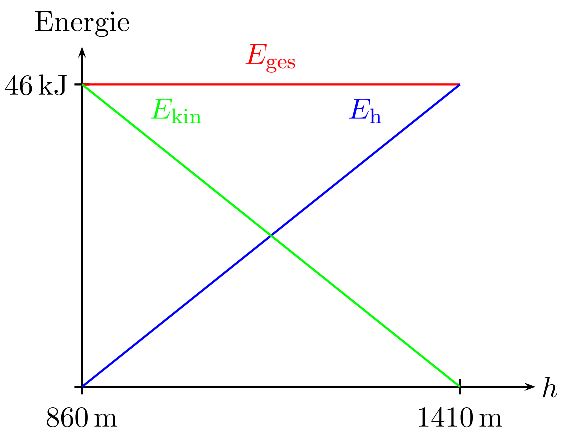
   (b) Wenn der Turm am Boden liegt, ist der Schwerpunkt in der Höhe $h_1 = \frac{a}{2}$, beim senkrecht stehenden Turm in der Höhe $h_2 = 4a$. Der Schwerpunkt wird um $h_2 - h_1$ gehoben:

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



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

   (b)



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

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

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

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

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

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

10. $W_\mathrm{k} = \dfrac{m}{2}\,v^2 = 9000\,\mathrm{kg} \cdot \left(5\,\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2 = 225000\,\mathrm{J} = 2 \cdot \dfrac{D}{2}\,x^2 = Dx^2$

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

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

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

1.4 Arbeit

1.

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

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

1.5 Leistung, Wirkungsgrad

1. 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:

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

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

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

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

4. Der Elektromotor bringt die Energie

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

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

5. $1\,\mathrm{m}^3 = 1000\,\mathrm{dm}^3 \quad \Longrightarrow \quad m = 200 \cdot 1000\,\mathrm{kg} = 200\,000\,\mathrm{kg}$

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

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

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

6. 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.
- 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. (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%.

9. (a) $m = A\,v\,t\,\varrho$

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

(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. (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) 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 $\overline{W}_\text{k} < \Delta W_\text{p}$ 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.

   $T_2 = 4 \cdot (273 - 23)\,\text{K} = 1000\,\text{K} = 727\,^\circ\text{C}$

3. $T_1 = 283\,\text{K}, \qquad T_2 = 2T_1 = 566\,\text{K} = 293\,^\circ\text{C}$

2.2 Aggregatzustände, Schmelzen, Sieden, Verdunsten

1. Beim trocknen der Kleidung wird dem Körper die Verdunstungswärme entzogen.

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.

3. (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. Zunächst erwärmt sich das feste Wachs von $T_1 = 20\ °\mathrm{C}$ bis zu Schmelztemperatur $T_\mathrm{S} = 54\ °\mathrm{C}$. 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 $T_2 = 100\ °\mathrm{C}$.

   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	$46\,\mathrm{K}$
	$c_\text{fest} = \frac{\Delta W}{m\Delta T} = 2{,}9\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}}$	$q_\mathrm{s} = \frac{\Delta W}{m} = 148\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$	$c_\text{flüssig} = \frac{\Delta W}{m\Delta T} = 2{,}1\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}}$

5. (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. 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.

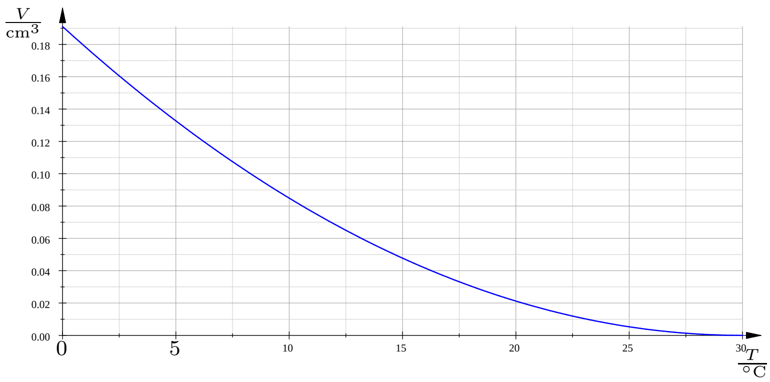
Spezifische Verdampfungsenergie: $r = \dfrac{1415{,}3\,\mathrm{J} - 575{,}3\,\mathrm{J}}{1{,}0\,\mathrm{g}} = 840{,}0\,\dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{g}}$.

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. (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 °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

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

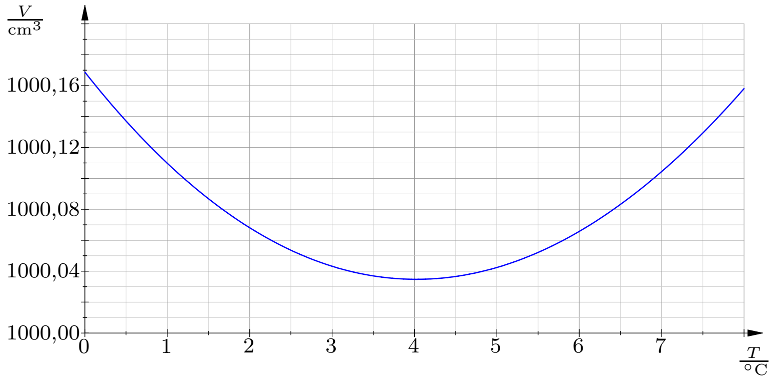
Für die Dichte des HD-Wassers gilt

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

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

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

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

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

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

3. (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. (a) $2,9 \cdot 10^6 kg$
   (b) $6 \cdot 10^{10} J$
   (c) i. $E_{el} = 1,2 \cdot 10^{10} J$, $t = 14h$
       ii. $7,1 \cdot 10^3 t$
       iii. mehr Energie nötig

5. (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. (a) $4{,}5 \cdot 10^2\,\text{m}^3$; $4{,}5 \cdot 10^5\,\text{kg}$
   (b) 60 €

7. 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. 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. $1{,}2 \cdot 10^3\text{d}$

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

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

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

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

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

2.4 Volumenänderung bei Temperaturänderung von Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern

1. 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. 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. (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. (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. (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. $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad \Longrightarrow \quad p_2 = \frac{992\,\text{hPa} \cdot 2975\,\text{cm}^3 \cdot 306\,\text{K}}{289\,\text{K} \cdot 3100\,\text{cm}^3} = 1008\,\text{hPa} \approx 1{,}01 \cdot 10^3\,\text{hPa}$

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

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

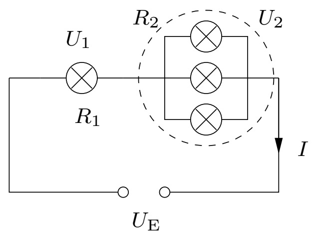
2. Bei der Parallelschaltung von R_3 zu R_1 bzw. R_2 sinkt der Gesamtwiderstand der Schaltung, also nimmt die Gesamtstromstärke zu. In jedem Teilstromkreis ist aber die Spannung gleich der Klemmenspannung der Batterie, d. h. dass I_1 und I_2 sich nicht verändern.

3. (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:

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

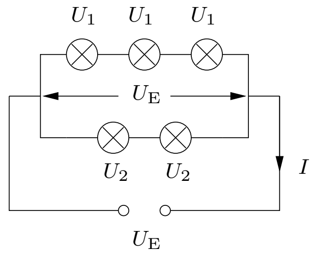
$U_2 = \dfrac{U_\mathrm{E}}{2} = 115\,\mathrm{V}$

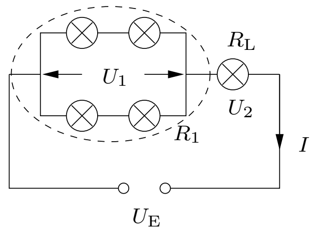
2. Möglichkeit:

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

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

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





4. (a) $R = \dfrac{U}{I} = \dfrac{220\,\mathrm{V}}{0{,}11\,\mathrm{A}} = 2{,}0\,\mathrm{k\Omega}$

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

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

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

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

5.

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

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

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

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

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

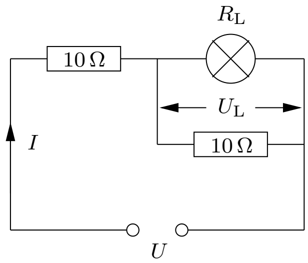
$$R_{\mathrm{AB}} = \frac{R_{123} \cdot R_4}{R_{123} + R_4} = \frac{\frac{5}{3} \cdot 5\,\Omega}{\frac{20}{3}} = \frac{25}{20}\,\Omega = 1{,}25\,\Omega$$

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

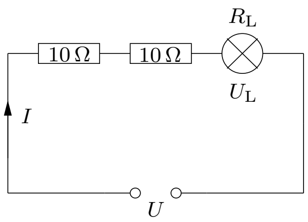


Lampenwiderstand: $R_{\mathrm{L}} = \dfrac{4{,}5\mathrm{V}}{0{,}3\,\mathrm{A}} = 15\,\Omega$

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

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

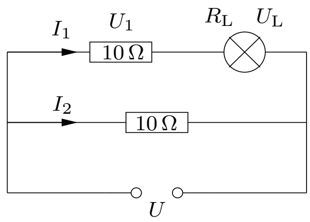
Schaltungen, die nicht zum Ziel führen:



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

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

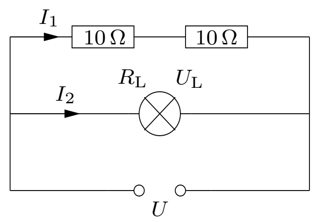
$U_{\mathrm{L}} = \dfrac{15}{35} \cdot 12\,\mathrm{V} = 5{,}14\,\mathrm{V}$



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

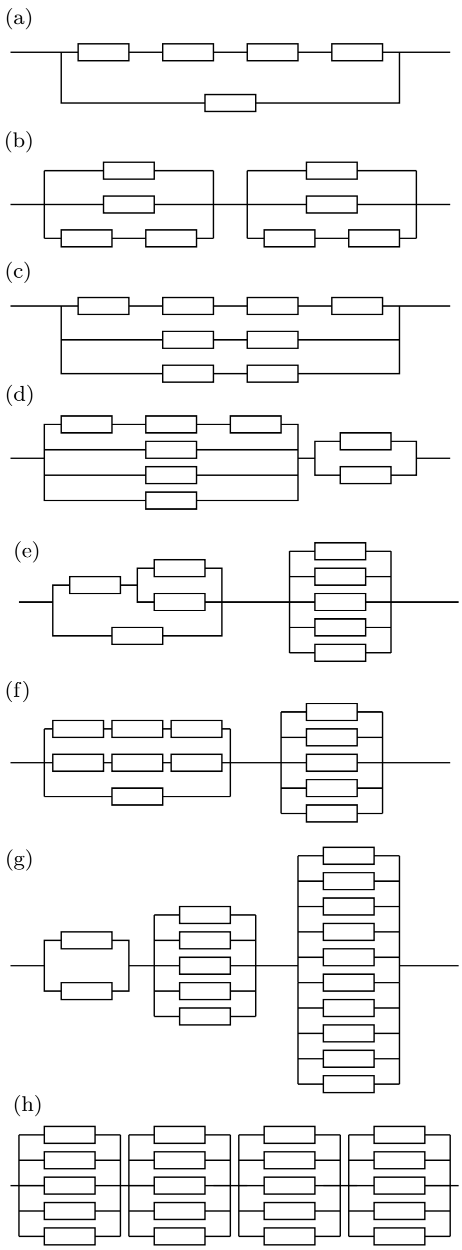
$I_1 = \dfrac{U}{R_{\mathrm{oben}}} = 0{,}48\,\mathrm{A}$

$U_{\mathrm{L}} = \dfrac{15}{25} \cdot 12\,\mathrm{V} = 7{,}2\,\mathrm{V}$



$U_{\mathrm{L}} = 12\,\mathrm{V}$

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

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

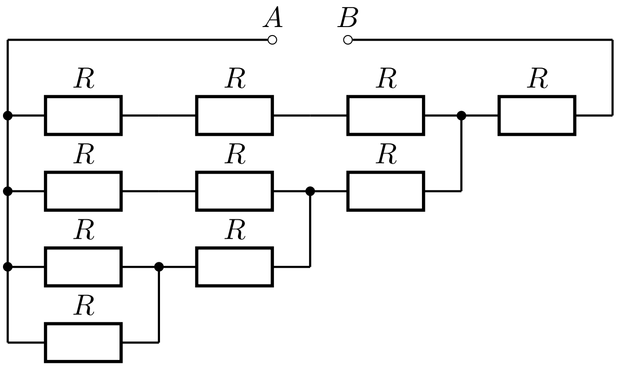
R_3, R_4, R_{56} parallel: $R_{3456} = 2{,}5\,\Omega$

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

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

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

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

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.

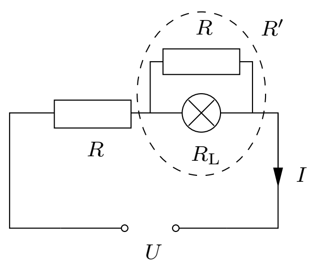
$P = UI = 528\,\mathrm{W}$

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

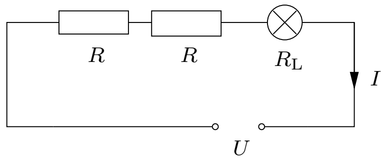
(c) $R' = \dfrac{R_\mathrm{L} R}{R_\mathrm{L} + R} = \dfrac{90 \cdot 11{,}5}{101{,}5}\,\Omega = 10{,}197\,\Omega$

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

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



Schlechtere Lösung:



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

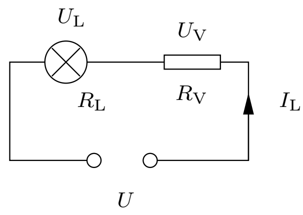
$I = \dfrac{U}{R_\mathrm{ges}} = 1{,}201\,\mathrm{A}$

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

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

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

4. (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) $U = \dfrac{W}{Q} = \dfrac{3\,\mathrm{J}}{0{,}06\,\mathrm{C}} = 50\,\mathrm{V}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

    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 $P_{\mathrm{V}} = P_{\mathrm{ges}} - P = 19{,}65\,\mathrm{W}$.

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

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

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

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

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

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

19. (a) Erwärmung des Generators und der Umgebung.

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

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

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

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

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

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

3.3 Energieversorgung

4 Profilbereich am NTG

4.1 Dichte

1. (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. $7,6\%$

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

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

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

4.2 Druck

4.3 Energietechnik

4.4 Messtechnik

4.5 Verschiedenes