Übungsaufgaben zur Klausurvorbereitung

S. 129 – 131

Lösungen zu den Aufgaben

Bewegungen

Aufgaben S. 130

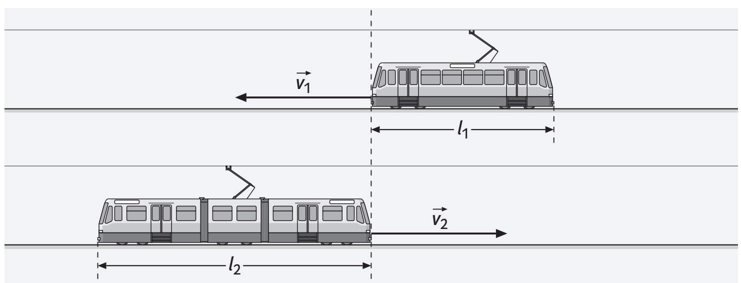
1 [◒ UF] Gegeben:

Straßenbahn 1: $l_1 = 26\,\text{m};\ v_1 = 18\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Straßenbahn 2: $l_2 = 39\,\text{m};\ v_2 = 36\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

a) Berechnung der Zeit, bis die beiden Bahnen aneinander vorbeigefahren sind:
Für die gleichförmige Bewegung gilt:

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



Der Gesamtweg für die Vorbeifahrt beträgt:

$s = l_1 + l_2$

Da die Straßenbahnen in entgegengesetzter Richtung fahren, beträgt ihre Relativgeschwindigkeit:

$v = v_1 + v_2$

Damit erhält man für die Dauer der Vorbeifahrt:

$$t = \frac{l_1 + l_2}{v_1 + v_2} = \frac{26\,\text{m} + 39\,\text{m}}{5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} + 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{65\,\text{m}}{15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 4{,}3\,\text{s}$$

Die Vorbeifahrt der Bahnen aneinander dauert 4,3 s.

b) Für einen Fahrgast in Bahn 1 ist die Sicht nur so lange verdeckt, wie die Bahn 2 an ihm vorbeifährt. Damit ergibt sich:

$$t_1 = \frac{l_2}{v_1 + v_2} = \frac{39\,\text{m}}{5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} + 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{39\,\text{m}}{15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2{,}6\,\text{s}$$

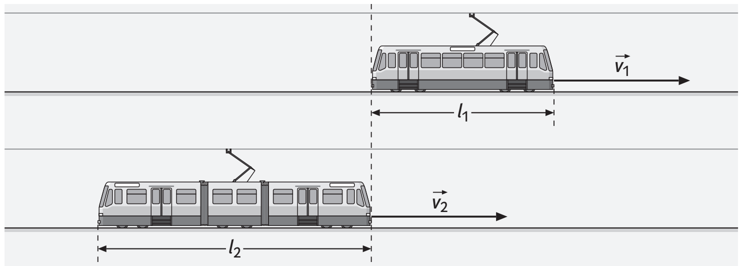
Für einen Fahrgast in Bahn 2 ergibt sich entsprechend:

$$t_2 = \frac{l_1}{v_1 + v_2} = \frac{26\,\text{m}}{15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1{,}7\,\text{s}$$

Dem Fahrgast in Bahn 1 wird die Sicht also 2,6 s lang versperrt, dem in Bahn 2 wird sie 1,7 s lang versperrt.

Aufgaben S. 130

c) Für die Fahrstrecke der schnelleren Bahn gilt:
$s_2 = v_2 \cdot t$



Die Zeit t ergibt sich aus der Länge der Bahn 1 (wenn Bahn 2 diesen Weg zurückgelegt hat, dann befinden sich die Spitzen beider Bahnen auf gleicher Höhe) und der Relativgeschwindigkeit zwischen den beiden Bahnen:

$$t = \frac{l_1}{v_2 - v_1} = \frac{26\,\text{m}}{10\,\frac{\text{m}}{\text{s}} - 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{26\,\text{m}}{5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 5{,}2\,\text{s}$$

Damit ergibt sich für Bahn 2:

$$s_2 = 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5{,}2\,\text{s} = 52\,\text{m}$$

Entsprechend erhält man für die Bahn 1:

$$s_1 = v_1 \cdot t = 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5{,}2\,\text{s} = 26\,\text{m}$$

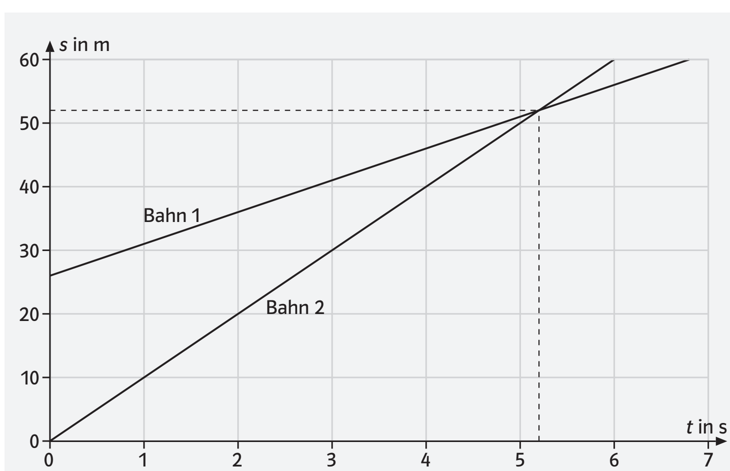
Nach einer Fahrstrecke von $s_1 = 26\,\text{m}$ bzw. $s_2 = 52\,\text{m}$ befinden sich die Spitzen der beiden Bahnen auf gleicher Höhe.

d) Zum Zeitpunkt $t = 0\,\text{s}$ betragen die zurückgelegten Wege $26\,\text{m}$ für die Bahn 1 und $0\,\text{m}$ für die Bahn 2. Die Bezugspunkte sind die Spitzen der Bahnen. Für die Wege gilt dann allgemein:

$$s_1 = 26\,\text{m} + 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t$$

$$s_2 = 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t$$

Damit ergibt sich folgendes Zeit-Weg-Diagramm:



Der Schnittpunkt der beiden Graphen gibt an, nach welchem Weg sich die Spitzen der beiden Bahnen auf gleicher Höhe befinden und welche Zeit bis dahin vergangen ist. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus Teilaufgabe **c)** erhält man $t \approx 5{,}2\,\text{s}$, $s_1 \approx 26\,\text{m}$ und $s_2 \approx 52\,\text{m}$.

Aufgaben S. 130

2 [○ UF] **a)** Da F konstant ist, liegt eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung vor.
Aus $F = m \cdot a$ folgt:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-15}\,\text{N}}{9 \cdot 10^{-31}\,\text{s}} = 1{,}8 \cdot 10^{15}\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Die Bewegungsgesetze dieser Bewegung liefern (mit $s_0 = 0$, $v_0 = 0$):

$$v = a \cdot t = 1{,}8 \cdot 10^{15}\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5 \cdot 10^{-9}\,\text{s} = 9 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot 1{,}8 \cdot 10^{15}\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (5 \cdot 10^{-9})^2\,\text{s}^2 = 0{,}02\,\text{m}$$

b) Man geht von einer Kreisbewegung mit konstantem Geschwindigkeitsbetrag aus. Dann gilt:

$$F_z = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{9 \cdot 10^{-31}\,\text{kg} \cdot \left(9 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0{,}048\,\text{m}} = 1{,}5 \cdot 10^{-15}\,\text{N}$$

Energie

3 [◒ UF | K] **a) Lösung über den Energieansatz:**
Bewegungsenergie E_{kin} wird in Höhenenergie E_{pot} umgewandelt. Dabei wird von der Energieerhaltung ausgegangen.

$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2 = m \cdot g \cdot h = E_{\text{pot}}$ liefert

$\frac{1}{2} v_0^2 = g \cdot h \quad \Leftrightarrow \quad h = \frac{v_0^2}{2 \cdot g}$

mit $g = 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ist $h \approx 3\,\text{m}$.

Lösung über den Kraftansatz:
Die Bewegung nach oben wird durch die konstante Gewichtskraft F_G gebremst. Die negative Beschleunigung ist $-g$. Es gilt das *t*-*v*-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung $v(t) = v_0 - g \cdot t$. Die maximale Höhe ist erreicht, wenn $v(t) = 0$ ist. Aus dieser Bedingung ergibt sich die Steigzeit $t_s = v_0/g$.
Die Höhe kann als Flächeninhalt der Dreiecksfläche im *t*-*v*-Diagramm ermittelt werden.
Man erhält:

$$h = \frac{1}{2} t_s \cdot v_0 = \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \approx 13\,\text{m}$$

b) Die Höhenenergie wird wieder in Bewegungsenergie umgewandelt. Da keine Reibung vorliegt, kann ein abgeschlossenes System angenommen werden. Die Bewegungsenergie und damit die Geschwindigkeit muss die gleiche sein wie die Startgeschwindigkeit. Damit ist die Änderung der Geschwindigkeit in beiden Fällen die gleiche. Da die Gewichtskraft in beiden Fällen die verursachende Kraft ist, ist der Betrag der Beschleunigung und damit auch die Zeit in beiden Fällen gleich.

4 [◒ UF | K] Gegeben: $v_0 = 25\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 6{,}9\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$
$h_0 = 5\,\text{m}$

a) Durch Anwendung des Energieerhaltungssatzes der Mechanik erhält man folgende Beziehung:

$$\frac{1}{2} m \cdot v_0^2 + m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Daraus berechnet sich die Geschwindigkeit nach

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h}$$

$$v = \sqrt{\left(6{,}9\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 2 \cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5\,\text{m}}$$

$$v = 12{,}1\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 43{,}6\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Die Radfahrerin wäre mit einer Geschwindigkeit von $43{,}6\,\text{km/h}$ auf das parkende Auto gefahren.

Aufgaben S. 130

b) Die kinetische Energie der Radfahrerin muss gleich der potenziellen Energie gesetzt werden. Daraus lässt sich die Fallhöhe h mit der gleichen Auftreffgeschwindigkeit berechnen:

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$$

Es ergibt sich:

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{\left(12{,}1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = 7{,}5\,\mathrm{m}$$

Ein frei fallender Körper müsste aus einer Höhe von $7{,}5\,\mathrm{m}$ fallen, um mit der gleichen Endgeschwindigkeit $v = 43{,}6\,\mathrm{m/s}$ auf dem Boden aufzutreffen.

c) Für einen schwereren Radfahrer ergäben sich dieselben Werte, da sich die Masse m aus den Gleichungen herauskürzt:

Gleichung 1:

$$\frac{1}{2} m \cdot v_0^2 + m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$\frac{1}{2} v_0^2 + g \cdot h = \frac{1}{2} v^2$$

Gleichung 2:

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$$

$$\frac{1}{2} v^2 = g \cdot h$$

Impuls

5 [◒ **E | K**] Beim Stoß finden Energie- und Impulsübertragung statt. Besonders viel Energie wird übertragen, wenn beide Stoßpartner etwa gleiche Masse haben. Das ist bei Neutronen und den Protonen des Wasserstoffkerns der Fall.

6 [◒ **UF | E**] Aus der Energieerhaltung $E_{\mathrm{pot}} = E_{\mathrm{kin}}$ ergibt sich für die Geschwindigkeit vor dem Ankuppeln:

$$v_{\mathrm{vor}} = \sqrt{2g \cdot h} = 7{,}7\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

Aus der Impulserhaltung $p_{\mathrm{vor}} = p_{\mathrm{nach}}$ folgt:

$$30\,\mathrm{t} \cdot 7{,}7\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 60\,\mathrm{t} \cdot v_{\mathrm{nach}} \quad \Rightarrow \quad v_{\mathrm{nach}} = 3{,}85\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Die beiden Bewegungsenergien sind:

$$E_{\mathrm{kin\,vor}} = 8{,}9 \cdot 10^5\,\mathrm{J}, \; E_{\mathrm{kin\,nach}} = 4{,}4 \cdot 10^5\,\mathrm{J}$$

Offenbar ist beim Ankuppeln Energie in innere Energie umgewandelt worden.

Aufgaben S. 131

7 [● **UF | K**] **a)** Es liegt ein unelastischer Stoß vor. Nach dem Impulserhaltungssatz gilt:

$$m \cdot v = (m + M) \cdot v'$$

$$v = (m + M) \cdot \frac{v'}{m}$$

Die Geschwindigkeit v' des Pendels mit dem Geschoss lässt sich mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes bestimmen:

$$\frac{1}{2}(m + M) \cdot v'^2 = (m + M) \cdot g \cdot h$$

$$v' = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Setzt man v' in die Gleichung zur Berechnung der Geschossgeschwindigkeit v ein, ergibt sich

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \frac{m + M}{m}$$

b) Die Massen von Geschoss und Pendel können mittels einer Waage bestimmt werden. Wenn das Geschoss auf das Pendel trifft, wird dieses ausgelenkt und schwingt hin und her. Die Höhe h kann man direkt messen oder über die Pendellänge und die Auslenkung des Pendels ermitteln. Nach der oben hergeleiteten Gleichung kann man aus den gemessenen Werten die Geschwindigkeit v des Geschosses berechnen.

Gravitation

8 [◒ UF | K] **a)** Beim geozentrischen oder auch ptolemäischen Weltbild ruht die Erde im Mittelpunkt und der Mond, die Planeten und Sterne kreisen in Bahnen um sie. Die Erde war das Zentrum aller möglichen Himmelsbewegungen. Dieses Weltbild wurde lange bis ins Mittelalter gelehrt, es entsprach der alltäglichen Erfahrung der Menschen und widersprach nicht den Gedanken der Kirche.
Das heliozentrische oder auch kopernikanische Weltbild löste das geozentrische im Mittelalter ab. Es stand nun nicht mehr die Erde im Mittelpunkt der Himmelsbewegungen, sondern die Sonne, und auch die Erde bewegte sich auf Bahnen um diese herum. Mit dieser Vorstellung ließen sich viele Ungereimtheiten klären, die beim geozentrischen Weltbild auftraten. Probleme bereitete es jedoch, die Vorstellung aufzugeben, dass die Erde Mittelpunkt des Kosmos sei. Die Ansicht, dass die Erde nur ein Planet unter vielen sei, wurde von der Kirche lange als ketzerisch angesehen.
Beide Weltbilder haben gemeinsam, dass jeweils nur unser Sonnensystem betrachtet wird und die Existenz weiterer Galaxien und Sonnensysteme nicht angenommen wurde. Bei beiden Vorstellungen steht jeweils ein Himmelskörper als ruhender Mittelpunkt im Zentrum aller Himmelsbewegungen, wobei eine eher die alltägliche und religiöse Wahrnehmung beschrieb und die andere die mathematische, naturwissenschaftliche.

b) Die Flächenkonstanz kommt dadurch zustande, dass sich ein Körper, der einen anderen Körper auf einer Bahn umläuft, mal schneller und mal langsamer bewegt. Befindet sich der umlaufende Körper näher am Schwerpunkt, so ist seine Geschwindigkeit größer, entfernt er sich, so wird er langsamer. Betrachtet man die Flächen, die der Fahrstrahl des Körpers in gleichen Zeitabständen überstreicht, so erkennt man aufgrund der sich ändernden Geschwindigkeit, dass diese Flächen gleich groß sind. Auf Bahnen, die eine ausgeprägte Ellipsenform haben, ist die Geschwindigkeitsänderung des Körpers demnach sehr groß. Körper, die sich auf Kreisbahnen bewegen, besitzen dagegen eine annähernd konstante Geschwindigkeit.

c) Rechnerische Bestätigung des 3. Kepler'schen Gesetzes:

$$\frac{T^2_{\text{Saturn}}}{T^2_{\text{Jupiter}}} = 6{,}17 \approx 6{,}25 = \frac{a^3_{\text{Saturn}}}{a^3_{\text{Jupiter}}}$$

$$\frac{T^2_{\text{Saturn}}}{T^2_{\text{Venus}}} = 2\,290{,}03 \approx 2\,308{,}8 = \frac{a^3_{\text{Saturn}}}{a^3_{\text{Venus}}}$$

$$\frac{T^2_{\text{Venus}}}{T^2_{\text{Jupiter}}} = 2{,}69 \cdot 10^{-3} \approx 2{,}68 \cdot 10^{-3} = \frac{a^3_{\text{Venus}}}{a^3_{\text{Jupiter}}}$$

Mit den Werten aus der Tabelle lässt sich das 3. Kepler'sche Gesetz bestätigen.

d) Aus c) erkennt man, dass das Verhältnis immer gleich ist. Das muss auch für die Erde gelten:

$$\frac{T^2_{\text{Erde}}}{T^2_{\text{Venus}}} = \frac{a^3_{\text{Erde}}}{a^3_{\text{Venus}}}$$

Stellt man nach a^3_{Erde} um und setzt für die Umlaufdauer der Erde 365 Tage ein, erhält man nach Ziehen der 3. Wurzel:

$a_{\text{Erde}} = 149{,}46 \cdot 10^6\,\text{km}$ (Literaturwert: $149{,}60 \cdot 10^6\,\text{km}$)

e) Überprüfung des 3. Kepler'schen Gesetzes für den Halley'schen Kometen:

$$\frac{T^2_{\text{Saturn}}}{T^2_{\text{Halley}}} = 0{,}154 \approx 0{,}155 = \frac{a^3_{\text{Saturn}}}{a^3_{\text{Halley}}}$$

Es zeigt sich, dass das 3. Kepler'sche Gesetz auch für die Bahnkurven von Kometen gilt.

f) Der Massenverlust hat keine Auswirkung auf Bahn und Umlaufdauer des Kometen, denn aus dem Ansatz $F_Z = F_G$ folgt:

$$m_{\text{Halley}} \cdot \omega^2 \cdot r = \gamma \cdot m_{\text{Halley}} \cdot \frac{m_S}{r^2} \quad \text{mit } \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{\gamma \cdot m_S}$$

Die Masse des sich bewegenden Himmelskörpers kürzt sich heraus, die Massenänderung des Kometen hat somit keine Auswirkung auf Umlaufzeit und Bahnradius.

g) Man berechnet für den zweiten Extremwert der Umlaufdauer die zugehörige Halbachse:

mit $T^*_{\text{Halley}} = 77\,\text{a}$ ergibt sich aus

$$\frac{T^2_{\text{Saturn}}}{T^2_{\text{Halley}}} = 0{,}146 = \frac{a^3_{\text{Saturn}}}{a^3_{\text{Halley}}}$$

$$a_{\text{Halley}} = \sqrt[3]{\frac{a^3_{\text{Saturn}}}{0{,}146}} = 2{,}723 \cdot 10^9\ \text{km}$$

Bei einer Umlaufdauer von $77\,\text{a}$ beträgt die große Halbachse $2{,}723 \cdot 10^9$ km, bei einer Umlaufdauer von $75\,\text{a}$ dagegen $2{,}668 \cdot 10^9$ km (siehe Aufgabenteil **e)**). Die Halbachse verändert sich also um $0{,}055 \cdot 10^9$ km.

9 [◒ UF | E] **a)** Mit Hilfe des Gravitationsgesetzes können Wertepaare berechnet werden. Es gilt:

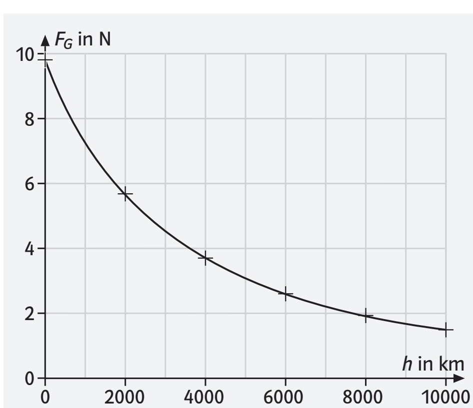
$$F_G = G \cdot \frac{m \cdot m_E}{(r_E + h)^2}$$

$$F_G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot \frac{1\,\text{kg} \cdot 5{,}97 \cdot 10^{24}\,\text{kg}}{(6{,}371 \cdot 10^6\,\text{m} + h)^2}$$

Damit ergibt sich:

h in km	0	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000
F_G in N	9,81	5,68	3,70	2,60	1,93	1,49

Damit erhält man folgende grafische Darstellung:



b) Auf der Erdoberfläche gilt:

$$F_{G,E} = G \cdot \frac{m \cdot m_E}{r_E^2}$$

$$F_{G,h} = G \cdot \frac{m \cdot m_E}{(r_E + h)^2}$$

Aus diesen beiden Gleichungen erhält man durch Umstellen nach $G \cdot m \cdot m_E$ und Gleichsetzen:

$F_{G,E} \cdot r_E^2 = F_{G,h} \cdot (r_E + h)^2$ oder

$$F_{G,h} = F_{G,E} \cdot \frac{r_E^2}{(r_E + h)^2}$$

$$F_{G,h} = F_{G,E} \cdot \frac{(6731\,\text{km})^2}{(6371\,\text{km} + 4\,\text{km})^2}$$

$$F_{G,h} = F_{G,E} \cdot 0{,}9987$$

Die Gewichtskraft eines Menschen verändert sich beim Besteigen eines $4\,000\,\text{m}$ hohen Berges um etwa ein Tausendstel ihres Wertes.
Man kann also die Veränderung der Gewichtskraft eines Menschen vernachlässigen.

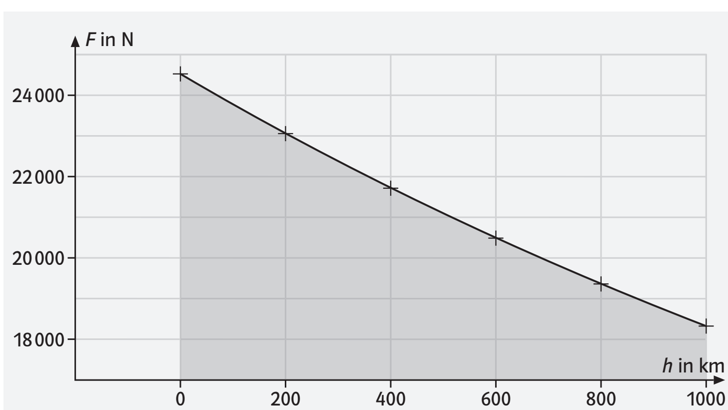
c) Die Aufgabe kann gelöst werden, indem man ein *h*-*F*-Diagramm für den gegebenen Fall erstellt und die betreffende Fläche unter dem Graphen auszählt.

Nach $F = G \cdot \frac{m \cdot m_E}{(r + h)^2}$ ergibt sich mit $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$,

$m = 2\,500\,\text{kg}$ und $m_E = 5{,}97 \cdot 10^{24}\,\text{kg}$:

h in km	0	200	400	600	800	1000
F in N	24 525	23 056	21 714	20 486	19 359	18 323

Damit erhält man folgendes Diagramm:



Für den Bereich unterhalb der *h*-Achse, der im Diagramm nicht dargestellt ist, ergibt sich:

$W_1 = F \cdot h = 17000\,\text{N} \cdot 1000\,\text{km} = 17 \cdot 10^3\,\text{N} \cdot 10^6\,\text{m} = 17 \cdot 10^9\,\text{Nm} = 17 \cdot 10^9\,\text{J}$

Die Fläche unter der Kurve besteht aus etwa 21 Kästchen. Daraus folgt für die verrichtete Arbeit:

$W_2 = 21 \cdot 1000\,\text{N} \cdot 200\,\text{km} = 4{,}2 \cdot 10^9\,\text{J}$

Somit ergibt sich für die gesamte Fläche bzw. die gesamte verrichtete Arbeit:

$W = W_1 + W_2 = 17 \cdot 10^9\,\text{J} + 4{,}2 \cdot 10^9\,\text{J} = 21{,}2 \cdot 10^9\,\text{J} = 2{,}1 \cdot 10^{10}\,\text{J}$

Entropie

Aufgaben S. 131

10 [○ UF] **a)** A: Die Wärmezufuhr bewirkt das Schmelzen des Eises. Während des Schmelzens bleibt die Temperatur des Wasser-Eis-Gemisches konstant. Feste und flüssige Phase bestehen nebeneinander.
B: Das Wasser wird erwärmt. Bei gleichmäßiger Wärmezufuhr steigt wegen $Q - \Delta\vartheta$ die Temperatur gleichmäßig an. Die Erwärmung erfolgt bis zur Siedetemperatur.
C: Bei weiterer Zufuhr von Wärme verdampft das Wasser. Dieser Vorgang geht bei konstanter Temperatur vor sich. Die flüssige und gasförmige Phase bestehen nebeneinander.
b) Beim Einleiten von Wasserdampf in eine Flüssigkeit wird Verdampfungswärme frei. Die Verdampfungswärme von Wasser hat mit 2256 kJ/kg einen im Vergleich zu anderen Stoffen hohen Wert. Somit wird schon mit einer geringen Menge von heißem Wasserdampf der Flüssigkeit relativ viel Energie zugeführt. Sie wird demzufolge schnell erwärmt.

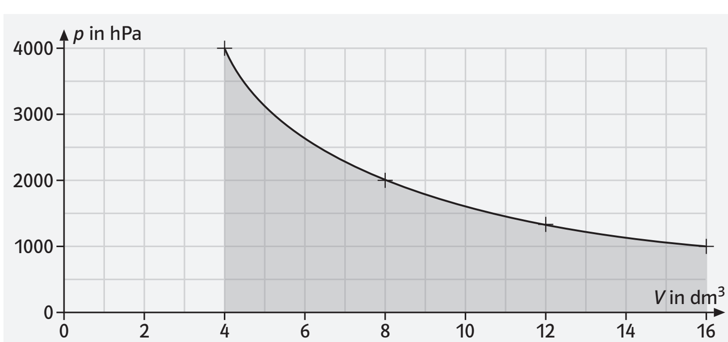
11 [◒ UF] **a)** Aus dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik $\Delta U = Q + W$ ergibt sich für die verrichtete Arbeit

- bei der isothermen Zustandsänderung ($\Delta U = 0$):
  $-W = Q$
  Die verrichtete Volumenarbeit entstammt der zugeführten Wärme und hat den gleichen Betrag. Die innere Energie ist bei der isothermen Expansion eines Gases konstant.
- bei der isobaren Zustandsänderung:
  $W = \Delta U - Q$
  Ein Teil der zugeführten Wärme wird in Volumenarbeit umgewandelt. Ein anderer Teil führt zur Erhöhung der inneren Energie.
- bei der adiabatischen Zustandsänderung ($Q = 0$):
  $W = \Delta U$
  Bei der adiabatischen Expansion entspricht die vom System verrichtete Arbeit der Verminderung der inneren Energie.
  Bei der adiabatischen Kompression entspricht die vom System verrichtete Arbeit der Erhöhung der inneren Energie.

b) Für einen isothermen Vorgang (T = konstant) gilt:
$p \cdot V$ = konstant oder $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$
Damit ergeben sich folgende Werte:

p in hPa	1000	1333	2000	4000
V in dm^3	16	12	8	4

Folgende Grafik zeigt das zugehörige Diagramm:



Der Betrag der Arbeit kann durch Auszählen der Fläche unter dem Graphen ermittelt werden. Nach diesem Verfahren erhält man $W \approx 2200$ Nm. Die für die Kompression des Gases erforderliche Arbeit beträgt etwa 2200 Nm.

Basiskonzepte und Anhang

S. 132–135 **Lösungen zu den Aufgaben**

Aufträge S. 132

A1 [○ UF] Individuelle Schülerlösung, z. B.
Energie: Schülerbuch S. 62 ff., 99, 110, 120 f.
Wechselwirkung: Schülerbuch S. 38 ff., 76 ff., 93
Struktur der Materie: Schülerbuch S. 42, 88, 109 ff.

A2 [◒ UF] Einige wesentliche Aspekte (in Stichpunkten):

Einstiegsseite	Energie	Wechselwirkung	Struktur der Materie
7	Bewegungsenergie	actio = reactio	
37	Bewegungsenergie	actio = reactio, Trägheit	
61	Energieerhaltung	Impuls	
87	Potenzielle Energie, Bewegungsenergie	Gravitation	Gravitation
105	Energieumwandlung		

Umgang mit Messfehlern

Aufträge S. 134

A1 [◒ UF] Berechnung von U_2 und U_3 mit Messunsicherheiten:

Gegeben:
$a = 142{,}0\text{ mm} \pm 0{,}5\text{ mm}$
$b = 124{,}0\text{ mm} \pm 0{,}5\text{ mm}$
$c = 10{,}0\text{ mm} \pm 0{,}5\text{ mm}$

Gesucht: U_2, U_3

Berechnung des Umfangs U_2

Es gilt:
$U_2 = a + a + c + c$
$U_2 = 142{,}0\text{ mm} + 142{,}0\text{ mm} + 10{,}0\text{ mm} + 10{,}0\text{ mm} \pm 2{,}0\text{ mm}$
$U_2 = 304{,}0\text{ mm} \pm 2{,}0\text{ mm}$

Berechnung des Umfangs U_3

Es gilt:
$U_3 = b + b + c + c$
$U_3 = 124{,}0\text{ mm} + 124{,}0\text{ mm} + 10{,}0\text{ mm} + 10{,}0\text{ mm} \pm 2{,}0\text{ mm}$
$U_3 = 268{,}0\text{ mm} \pm 2{,}0\text{ mm}$

Die Umfänge U_2 und U_3 betragen mit Messunsicherheiten $U_2 = 304{,}0\text{ mm} \pm 2{,}0\text{ mm}$ und $U_3 = 268{,}0\text{ mm} \pm 2{,}0\text{ mm}$.

Aufträge S. 135

A1 [◒ UF]

Gegeben:
$U = 200\text{ V} \pm 1\,\% = 200\text{ V} \pm 2\text{ V}$
$Q = 6{,}9 \cdot 10^{-8}\text{ C} \pm 0{,}1 \cdot 10^{-8}\text{ C}$
$d = 0{,}8\text{ mm} \pm 0{,}05\text{ mm}$
$r = 100\text{ mm} \pm 0{,}5\text{ mm}$

Gesucht: Betrag der elektrischen Feldkonstante ε_0 mit Messunsicherheit

Es gilt:
$$\frac{Q}{U} = \varepsilon_0 \cdot \pi \cdot \frac{r^2}{d}$$
$$\varepsilon_0 = \frac{Q \cdot d}{U \cdot \pi \cdot r^2}$$

Aufträge S. 135

Mit den oben angegebenen Werten erhält man für ε_0

$$\varepsilon_0 = \frac{6{,}9 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{C} \cdot 0{,}80 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}}{200\,\mathrm{V} \cdot \pi \cdot (100 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m})^2}$$

$$\varepsilon_0 = 8{,}80 \cdot 10^{-12}\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V} \cdot \mathrm{m}}$$

Berechnung des größtmöglichen Ergebnisses:

$$\varepsilon_{0,\mathrm{max}} = \frac{7{,}0 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{C} \cdot 0{,}85 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}}{198\,\mathrm{V} \cdot \pi \cdot (99{,}5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m})^2}$$

$$\varepsilon_{0,\mathrm{max}} = 9{,}66 \cdot 10^{-12}\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V} \cdot \mathrm{m}}$$

Berechnung des kleinstmöglichen Ergebnisses:

$$\varepsilon_{0,\mathrm{min}} = \frac{6{,}8 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{C} \cdot 0{,}75 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}}{202\,\mathrm{V} \cdot \pi \cdot (100{,}5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m})^2}$$

$$\varepsilon_{0,\mathrm{min}} = 7{,}96 \cdot 10^{-12}\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V} \cdot \mathrm{m}}$$

Eine sinnvolle Angabe der elektrischen Feldkonstante mit Messunsicherheit könnte lauten:

$$\varepsilon_0 = 8{,}8 \cdot 10^{-12}\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V} \cdot \mathrm{m}} \pm 0{,}9 \cdot 10^{-12}\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V} \cdot \mathrm{m}}$$