### 6.1 Het deeltjesmodel

1 a De moleculen trillen dicht bij elkaar op een vaste plaats.

b $0\ \mathrm{K} = -273\ ^\circ\mathrm{C}$

c Sublimeren

d Volgens Binas tabel 8: $T_{\mathrm{smelt}} = 1337\ \mathrm{K} = 1337 - 273 = 1064\ ^\circ\mathrm{C}$

e Warmte is een vorm van energie. Als je een stof verwarmt, dan voer je warmte toe aan de stof. Deze energie wordt omgezet in bewegingsenergie van de moleculen. Daarmee stijgt de temperatuur van de stof. Temperatuur is een maat voor de gemiddelde bewegingsenergie van de moleculen.

f Als een vloeistof afkoelt, neemt de gemiddelde bewegingsenergie van de moleculen af. Daarmee botsen ze minder hard tegen elkaar en bewegen ze dichter langs elkaar heen. Er bevinden zich dus meer moleculen in een volume-eenheid: de dichtheid neemt toe.

g De moleculen bewegen dicht langs elkaar heen en botsen met elkaar. Aan het oppervlak kunnen hierdoor de snelste moleculen ontsnappen. Omdat de temperatuur van de plas water niet daalt (dankzij de omgeving), zullen uiteindelijk alle moleculen ontsnappen: de plas water verdampt.

2 a $25\ ^\circ\mathrm{C} = 25 + 273 = 298\ \mathrm{K}$

b $235\ \mathrm{K} = 235 - 273 = -38\ ^\circ\mathrm{C}$

c $20\ \mathrm{mL} = 20\ \mathrm{cm}^3$

d $4{,}5\ \mathrm{dm}^3 = 4{,}5\ \mathrm{L} = 4{,}5 \cdot 10^3\ \mathrm{mL}$

e $0{,}80\ \mathrm{kg\ dm}^{-3} = 0{,}80 \cdot 10^3\ \mathrm{g} \cdot 10^{-3}\ \mathrm{cm}^{-3} = 0{,}80\ \mathrm{g\ cm}^{-3}$

f $2{,}7\ \mathrm{g\ cm}^{-3} = 2{,}7 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{kg} \cdot 10^6\ \mathrm{m}^{-3} = 2{,}7 \cdot 10^3\ \mathrm{kg\ m}^{-3}$

g $4{,}18\ \mathrm{J\ g}^{-1}\ \mathrm{K}^{-1} = 4{,}18 \cdot 10^3\ \mathrm{kg}^{-1}\ \mathrm{K}^{-1}$

3 a Verdampen

b Condenseren

c Rijpen

4 a Het gecoate oppervlak is in de vaste fase en de waterdruppel in de vloeistoffase.

b De moleculen in de waterdruppel worden bij elkaar gehouden door vanderwaalskrachten. Deze vanderwaalskrachten zijn sterker dan de vanderwaalskrachten tussen het water en de coating. Daarom vloeit de druppel niet uit over het tafelkleed.

5 a Gegeven: $V = 1{,}5\ \mathrm{L} = 1{,}5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m^3}$
$\rho_{\mathrm{alcohol}} = 0{,}80 \cdot 10^3\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$ (Binas tabel 11)

Gevraagd: $m$ in kg

Berekening: $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 0{,}80 \cdot 10^3 \times 1{,}5 \cdot 10^{-3} = 1{,}2\ \mathrm{kg}$

Antwoord: De massa van $1{,}5\ \mathrm{L}$ alcohol is $1{,}2\ \mathrm{kg}$.

b Gegeven: $V = 1{,}80 \times 1{,}0 \times 3{,}0 \cdot 10^{-2} = 0{,}054\ \mathrm{m^3}$
$\rho_{\mathrm{vurenhout}} = 0{,}58 \cdot 10^3\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$ (Binas tabel 10A)

Gevraagd: $m$ in kg

Berekening: $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 0{,}58 \cdot 10^3 \times 0{,}054 = 31{,}32\ \mathrm{kg}$

Antwoord: De massa van het tafelblad is $31\ \mathrm{kg}$.

c Gegeven: $m = 25\ \mathrm{kg}$
$\rho_{\mathrm{aluminium}} = 2{,}70 \cdot 10^3\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$ (Binas tabel 8)

Gevraagd: $V$ in $\mathrm{m^3}$

Berekening: $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{25}{2{,}70 \cdot 10^3} = 9{,}26 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m^3}$

Antwoord: Het volume van de aluminiumplaat is $9{,}3 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m^3}$.

6 a Gegeven: $m_{\mathrm{aluminium}} = 90\ \% \times 1{,}0\ \mathrm{kg} = 0{,}90\ \mathrm{kg}$
$\rho_{\mathrm{aluminium}} = 2{,}70 \cdot 10^3\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$ (Binas tabel 8)

Gevraagd: $V_{\mathrm{aluminium}}$ in $\mathrm{m^3}$

Berekening: $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{0{,}90}{2{,}70 \cdot 10^3} = 3{,}3 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^3}$

Antwoord: Het volume van het aluminium is $3 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^3}$.

b Gegeven: $m_{\mathrm{magnalium}} = 1{,}0\ \mathrm{kg}$
$V_{\mathrm{aluminium}} = 3{,}3 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^3}$
$m_{\mathrm{magnesium}} = 10\ \% \times 1{,}0\ \mathrm{kg} = 0{,}10\ \mathrm{kg}$
$\rho_{\mathrm{magnesium}} = 1{,}74 \cdot 10^3\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$ (Binas tabel 8)

Gevraagd: $\rho_{\mathrm{magnalium}}$ in $\mathrm{kg\ m^{-3}}$

Berekening: Volume magnesium:
$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{0{,}10}{1{,}74 \cdot 10^3} = 5{,}7 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m^3}$

Dichtheid magnalium:
$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_{\mathrm{aluminium}} + V_{\mathrm{magnesium}}} = \frac{1{,}0}{3{,}3 \cdot 10^{-4} + 5{,}7 \cdot 10^{-5}} = 2{,}58\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$

Antwoord: De dichtheid van magnalium is $2{,}6\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$ (eigenlijk $3\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$).

c Omdat de legering bestaat uit twee verschillende soorten atomen, verandert ook de plaats van de atomen ten opzichte van elkaar. De afstand tussen de atomen kan groter of kleiner zijn, waardoor het volume van de legering niet gelijk is aan de som van de volumes van de stoffen. Die kan dus groter of kleiner zijn, en daarmee is ook de dichtheid kleiner of groter.

7 a Gegeven: $m = 50 \text{ g} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$
$c_{\text{ijzer}} = 0{,}46 \cdot 10^{3} \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (Binas tabel 8)
$\Delta T = 25 \text{ °C}$

Gevraagd: $Q$ in $J$

Berekening: $Q = cm\Delta T = 0{,}46 \cdot 10^{3} \times 50 \cdot 10^{-3} \times 25 = 575 \text{ J}$

Antwoord: Er is $5{,}8 \cdot 10^{2}$ J aan warmte nodig.

b Gegeven: $V = 1{,}0 \text{ L} = 1{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{3}$
$\rho_{\text{olijfolie}} = 0{,}92 \cdot 10^{3} \text{ kg m}^{-3}$ (Binas tabel 11)
$c_{\text{olijfolie}} = 1{,}65 \cdot 10^{3} \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (Binas tabel 11)
$Q = 2{,}0 \text{ kJ} = 2{,}0 \cdot 10^{3} \text{ J}$

Gevraagd: $\Delta T$ in K

Berekening: Massa olijfolie:
$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 0{,}92 \cdot 10^{3} \times 1{,}0 \cdot 10^{-3} = 0{,}92 \text{ kg}$

Temperatuurstijging:
$Q = cm\Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{Q}{cm} = \frac{2{,}0 \cdot 10^{3}}{1{,}65 \cdot 10^{3} \times 0{,}92} = 1{,}32 \text{ K}$

Antwoord: De temperatuurstijging is 1,3 K.

8 a Gegeven: $V = 0{,}150 \text{ mL} = 0{,}150 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{3}$
$\rho_{\text{melk}} = 1{,}03 \cdot 10^{3} \text{ kg m}^{-3}$ (Binas tabel 11)

Gevraagd: $m$ in kg

Berekening: $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 1{,}03 \cdot 10^{3} \times 0{,}150 \cdot 10^{-3} = 0{,}1545 \text{ kg}$

Antwoord: De massa van de melk is 0,155 kg.

b Gegeven: $V = 0{,}150 \text{ mL} = 0{,}150 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{3}$
$m_{\text{melk}} = 0{,}155 \text{ kg}$
$c_{\text{melk}} = 3{,}9 \cdot 10^{3} \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$\Delta T = 80 - 5 = 75 \text{ K}$

Gevraagd: $Q_{\text{opg}}$ in J

Berekening: $Q = cm\Delta T = 3{,}9 \cdot 10^{3} \times 0{,}155 \times 75 = 4{,}53 \cdot 10^{4} \text{ J}$

Antwoord: De opgenomen warmte is $4{,}5 \cdot 10^{4}$ J.

c Gegeven: $Q_{\text{opg}} = 4{,}53 \cdot 10^{4}$
$P = 750 \text{ W}$

Gevraagd: $t$

Berekening: $E = Pt \rightarrow Q_{\text{opg}} = Pt \rightarrow t = \frac{Q_{\text{opg}}}{P} = \frac{4{,}53 \cdot 10^{4}}{750} = 60{,}4 \text{ s}$

Antwoord: De magnetron stond op 60 s.

9 a Als het water wordt gemengd, botsen de snellere moleculen van het warme water met de langzamere moleculen van het koude water. Via de botsingen wordt er bewegingsenergie overgedragen en ontstaat er een nieuwe verdeling van de bewegingsenergie over alle moleculen: de eindtemperatuur.

b Gegeven: $V_\mathrm{w} = 400\ \mathrm{L} = 400 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m^3}$
$\rho = 0{,}9982 \cdot 10^3\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$ (Binas tabel 11)
$c_\mathrm{water} = 4{,}18 \cdot 10^3\ \mathrm{J\ kg^{-1}\ K^{-1}}$
$T_\mathrm{w} = 40\ \mathrm{°C}$
$T_\mathrm{k} = 10\ \mathrm{°C}$
$T_\mathrm{eind} = 35\ \mathrm{°C}$

Gevraagd: $V_\mathrm{k}$ in L

Berekening: Massa van het warme water:
$\rho = \frac{m_\mathrm{w}}{V_\mathrm{w}} \rightarrow m_\mathrm{w} = \rho V_\mathrm{w} = 0{,}9982 \cdot 10^3 \times 400 \cdot 10^{-3} = 399{,}3\ \mathrm{kg}$

Warmte die het warme water afgeeft:
$Q_\mathrm{af} = cm_\mathrm{w}\Delta T = cm_\mathrm{w}(T_\mathrm{w} - T_\mathrm{eind}) = 4{,}18 \cdot 10^3 \times 399{,}3 \times (40 - 35) = 8{,}345 \cdot 10^6\ \mathrm{J}$

Warmte die het koude water opneemt:
$Q_\mathrm{op} = Q_\mathrm{af} \rightarrow cm_\mathrm{k}\Delta T = Q_\mathrm{af} \rightarrow$
$cm_\mathrm{k}(T_\mathrm{eind} - T_\mathrm{k}) = Q_\mathrm{af} \rightarrow 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot m_\mathrm{k} \cdot (35 - 10) = 8{,}345 \cdot 10^6$
$m_\mathrm{k} = \frac{8{,}345 \cdot 10^6}{4{,}18 \cdot 10^3 \times 25} = 79{,}86\ \mathrm{kg}$

Volume van het koude water:
$\rho = \frac{m_\mathrm{k}}{V_\mathrm{k}} \rightarrow V_\mathrm{k} = \frac{m_\mathrm{k}}{\rho} = \frac{79{,}86}{0{,}9982 \cdot 10^3} = 80{,}0 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m^3} = 80\ \mathrm{L}$

Antwoord: Je moet $80\ \mathrm{L}$ koud water bijvoegen.

Alternatieve manier:

Berekening: Het warmte water geeft warmte af en het koude water neemt warmte op:
$Q_\mathrm{op} = Q_\mathrm{af} \rightarrow cm_\mathrm{k}(T_\mathrm{eind} - T_\mathrm{k}) = cm_\mathrm{w}(T_\mathrm{w} - T_\mathrm{eind})$

Deel links en rechts door $c$ en vul de temperaturen in:
$m_\mathrm{k}(35 - 10) = m_\mathrm{w}(40 - 35) \rightarrow 25m_\mathrm{k} = 5m_\mathrm{w}$

Gebruik de formule voor de dichtheid: $m = \rho V$
$25\rho V_\mathrm{k} = 5\rho V_\mathrm{w}$

Deel links en het rechts door $\rho$:
$25V_\mathrm{k} = 5V_\mathrm{w}$
$V_\mathrm{k} = \frac{5}{25}V_\mathrm{w} = \frac{1}{5}V_\mathrm{w} = \frac{1}{5} \times 400 = 80\ \mathrm{L}$

c. Terwijl je het koude water bijvoegt, geeft het warme water warmte af aan de badkuip en aan de lucht, waardoor de temperatuur niet constant op 40 °C is maar al wat lager wordt. Je hebt dus minder dan 80 L koud water nodig.

10 a Gegeven: $V = 1{,}0\ \mathrm{L} = 1{,}0 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}^3$
$c = 4{,}18 \cdot 10^3\ \mathrm{J\ kg^{-1}\ K^{-1}}$
$\Delta T = 100 - 15 = 85\ \mathrm{K}$

Gevraagd: $Q_{\mathrm{opg}}$ in J

Berekening: $Q_{\mathrm{opg}} = cm\Delta T = 4{,}18 \cdot 10^3 \times 1{,}0 \times 85 = 3{,}55 \cdot 10^5\ \mathrm{J}$

Antwoord: De opgenomen warmte is $3{,}6 \cdot 10^5\ \mathrm{J}$.

b Gegeven: $Q_{\mathrm{opg}} = 3{,}55 \cdot 10^5\ \mathrm{J}$
$\eta = 85\ \%$
$t = 4{,}6\ \mathrm{min} = 276\ \mathrm{s}$

Gevraagd: $P$ in W

Berekening: Energie die de waterkoker gebruikt heeft:
$\eta = \frac{E_{\mathrm{nuttig}}}{E_{\mathrm{in}}} = \frac{Q_{\mathrm{opg}}}{E_{\mathrm{in}}} \rightarrow E_{\mathrm{in}} = \frac{Q_{\mathrm{opg}}}{\eta} = \frac{3{,}55 \cdot 10^5}{0{,}85} = 4{,}18 \cdot 10^5\ \mathrm{J}$
Vermogen van de waterkoker:
$E = pt \rightarrow P = \frac{E}{t} = \frac{4{,}18 \cdot 10^5}{276} = 1{,}51 \cdot 10^3\ \mathrm{W}$

Antwoord: Het vermogen van de waterkoker is $1{,}5\ \mathrm{kW}$

c De overige 15 % is niet naar het water gegaan. Deze warmte heeft de waterkoker opgenomen, de lucht, en de stroomdraden.

11 a Hoe groter de soortelijke warmte, hoe meer warmte er nodig is om de temperatuur te doen stijgen. De stof waarvan de temperatuur het langzaamst stijgt, heeft dus de grootste soortelijke warmte: stof B.

b Gegeven: $m = 100\ \mathrm{g} = 0{,}100\ \mathrm{kg}$
$c = 4{,}18 \cdot 10^3\ \mathrm{J\ kg^{-1}\ K^{-1}}$
$\Delta T = 54 - 22 = 32\ \mathrm{K}$
$\Delta t = 70 = 0 = 70\ \mathrm{s}$

Gevraagd: $Q_{\mathrm{opg}}$ per s

Berekening: De warmte die het water opneemt:
$Q_{\mathrm{opg}} = cm\Delta T = 4{,}18 \cdot 10^3 \times 0{,}1 \times 32 = 1{,}34 \cdot 10^4\ \mathrm{J}$
Het opwarmen duurt 70 s:
$\frac{Q_{\mathrm{opg}}}{\Delta t} = \frac{1{,}34 \cdot 10^4}{70} = 191\ \mathrm{J\ s^{-1}}$

Antwoord: Het water neemt $1{,}9 \cdot 10^2\ \mathrm{J}$ per seconde op.

12 a Gegeven:

$n = 370$
$Q_{\text{woning}} = 40$ GJ per jaar
$Q_{\text{asfalt}} = 0{,}75$ GJ per jaar per $m^2$
breedte $b = 6{,}0$ m (schatting)
$\eta = 80\ \%$

Gevraagd: $l$

Berekening:

Totale opbrengst van asfalt:
$Q = \eta \cdot Q_{\text{asfalt}} \cdot A = \eta \cdot Q_{\text{asfalt}} \cdot l \cdot b = 0{,}80 \times 0{,}75 \times 6{,}0 \times l = 3{,}6l$

Benodigde warmte voor wijk:
$Q_{\text{wijk}} = Q_{\text{woning}} \cdot n = 40 \times 370 = 14800$ GJ

De lengte:
$Q = Q_{\text{wijk}} \rightarrow 3{,}6l = 14800 \rightarrow l = \frac{14800}{3{,}6} = 4111$ m

Antwoord: Bij een breedte van 6,0 m moet de weg 4,1 km lang zijn.

b Gegeven:

$P_{\text{zon}} = 6{,}0 \cdot 10^2$ W per $m^2$
$d = 15$ cm $= 0{,}15$ m
$A_{\text{weg}} = 1{,}0\ m^2$
$c_{\text{asfalt}} = 0{,}92 \cdot 10^3\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$
$\rho_{\text{asfalt}} = 1{,}2 \cdot 10^3\ \text{kg m}^{-3}$ (Binas tabel 10A)

Gevraagd: $\Delta T$ per uur

Berekening:

Massa van 1,0 m$^2$ asfalt:
$V = A \cdot l = 1{,}0 \times 0{,}15 = 0{,}15\ m^3$
$m = \rho V = 1{,}2 \cdot 10^3 \times 0{,}15 = 180$ kg

Energie die op het asfalt valt per uur:
$E = Pt = 6{,}0 \cdot 10^2 \times 60 \times 60 = 2{,}16 \cdot 10^6$ J

Temperatuurstijging:
$Q = cm\Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{Q}{cm} = \frac{2{,}16 \cdot 10^6}{0{,}92 \cdot 10^3 \times 180} = 13$ K

Antwoord: De temperatuurstijging van het asfalt is 13 K.

13 a Gegeven:

$m_{\text{water}} = 1{,}5$ kg
$m_{\text{pan}} = 250$ g $= 0{,}250$ kg
$c_{\text{Al}} = 0{,}88 \cdot 10^3\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$
$c_{\text{water}} = 4{,}18 \cdot 10^3\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$
$\Delta T = 100 - 15 = 85$ K

Gevraagd: $Q$ in J

Berekening:

Warmte om het water op te warmen:
$Q_{\text{water}} = c_{\text{water}} m_{\text{water}} \Delta T = 4{,}18 \cdot 10^3 \times 1{,}5 \times 85 = 5{,}33 \cdot 10^5$ J

Warmte om de pan op te warmen:
$Q_{\text{pan}} = c_{\text{Al}} m_{\text{Al}} \Delta T = 0{,}88 \cdot 10^3 \times 0{,}250 \times 85 = 1{,}87 \cdot 10^4$ J

Totale warmte nodig:
$Q = Q_{\text{water}} + Q_{\text{pan}} = 5{,}33 \cdot 10^5 + 1{,}87 \cdot 10^4 = 5{,}52 \cdot 10^5$ J

Antwoord: Er is minimaal $5{,}5 \cdot 10^5$ J aan warmte nodig.

b Er staat ‘minimaal’ want je houdt geen rekening met de eieren die warmte opnemen, en met warmteverlies naar de omgeving.

14 Gegeven:
$m_{water} = 300 \text{ g} = 0{,}300 \text{ kg}$
$m_{pan} = 250 \text{ g} = 0{,}250 \text{ kg}$
$c_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$\Delta T = 70 - 20 = 50 \text{ K}$
$\Delta t = 3{,}0 \text{ min} = 180 \text{ s}$
$P = 500 \text{ W}$

Gevraagd: $Q_{omg}$ in J

Berekening: De energie die de dompelaar omzet:
$E = Pt = 500 \times 180 = 9{,}00 \cdot 10^4 \text{ J}$
Warmte die het water opneemt:
$Q_{water} = c_{water} m_{water} \Delta T = 4{,}18 \cdot 10^3 \times 0{,}300 \times 50 = 6{,}27 \cdot 10^4 \text{ J}$
Warmteverlies:
$E = Q_{water} + Q_{omg} \rightarrow Q_{omg} = E - Q_{water} = 9{,}00 \cdot 10^4 - 6{,}27 \cdot 10^4 = 2{,}73 \cdot 10^4 \text{ J}$

Antwoord: Er gaat $2{,}7 \cdot 10^4 \text{ J}$ warmte verloren aan de omgeving.

15 Als je in plaats van alcohol water had gemengd, dan was de eindtemperatuur 40 °C geweest. De soortelijke warmte van alcohol is kleiner dan die van water. Dat betekent dat het minder warmte hoeft op te nemen dan water om de temperatuur met 1 °C te laten stijgen. Dat betekent ook dat als de temperatuur van het water met 1 °C daalt, de temperatuur van de alcohol met meer dan 1 °C stijgt. De eindtemperatuur ligt dus boven de 40 °C.

**Examentraining**

16 a Gegeven:
$V_{steen} = 0{,}85 \text{ dm}^3 = 0{,}85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
$T_{steen} = 384 \text{ °C}$
$T_{water} = 18 \text{ °C}$
$T_{eind} = 100 \text{ °C}$

Gevraagd: $m_{water}$ in kg

Berekening: De warmte die de steen afgeeft:
$m_{steen} = \rho_{graniet} V_{steen} = 2{,}7 \cdot 10^3 \times 0{,}85 \cdot 10^{-3} = 2{,}3 \text{ kg}$
$Q_{steen} = c_{graniet} m_{steen} (T_{steen} - T_{eind})$
$Q_{steen} = 0{,}82 \cdot 10^3 \times 2{,}3 \times (384 - 100) = 5{,}36 \cdot 10^5 \text{ J}$
De warmte die het water opneemt:
$Q_{water} = c_{water} m_{water} (T_{eind} - T_{water})$
$Q_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3 \times m_{water} \times (100 - 18) = 3{,}427 \cdot 10^5 \cdot m_{water}$
Het water neemt alle warmte van de steen op:
$Q_{water} = Q_{steen} \rightarrow 3{,}427 \cdot 10^5 \cdot m_{water} = 5{,}36 \cdot 10^5 \rightarrow m_{water} = \frac{5{,}36 \cdot 10^5}{3{,}427 \cdot 10^5} = 1{,}56 \text{ kg}$

Antwoord: Je kunt met deze steen maximaal $1{,}6 \text{ kg}$ water aan de kook brengen.

b. De soortelijke warmte van basalt is iets groter dan die van graniet. Dat betekent dat als de temperatuur van 1 kg basalt met 1 °C daalt, het basalt meer warmte afgeeft dan 1 kg graniet. Om dezelfde hoeveelheid water aan de kook te brengen, mag de massa van een kooksteen van basalt dus kleiner zijn.

c. Gegeven: $Q_{\text{steen}} = 5{,}36 \cdot 10^5\ \text{J}$
$Q_{\text{pot}} = 20\ \% \cdot Q_{\text{steen}} = 5{,}36 \cdot 10^5 \times 0{,}20 = 1{,}072 \cdot 10^5\ \text{J}$
$m_{\text{pot}} = 4{,}5\ \text{kg}$

Gevraagd: $\Delta T$ van pot

Berekening: $Q_{\text{pot}} = c_{\text{eikenhout}} m_{\text{pot}} \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{Q_{\text{pot}}}{c_{\text{eikenhout}} m_{\text{pot}}} = \frac{1{,}072 \cdot 10^5}{2{,}4 \cdot 10^3 \times 4{,}5} = 9{,}93\ \text{K}$

Antwoord: De pot wordt $9{,}9\ \text{K}$ warmer.

### 6.2. Warmte

17 a Straling, stroming en geleiding zijn de drie vormen van warmtetransport.

b Omdat de pan heel warm is, trillen de moleculen heel snel. Zodra je de pan aanraakt, gaan de moleculen van je hand meetrillen met de moleculen van de pan.

c De eenheid van warmtestroom is Watt (W).

d Alle voorwerpen zenden straling uit, dus een pan kokende aardappels ook. Hoe hoger de temperatuur, hoe meer straling er wordt uitgezonden.

e De lucht is binnen warmer dan de lucht buiten dus de gemiddelde bewegingsenergie van de moleculen binnen is groter dan die van de moleculen buiten. Zodra het raam open gaat, botsen de moleculen en vindt er warmteoverdracht plaats van binnen naar buiten. De gemiddelde bewegingsenergie van de moleculen binnen daalt (er zijn steeds minder ‘snelle’ moleculen), dus de temperatuur daalt. Omdat er van buitenaf een continue stroom moleculen met een kleine bewegingsenergie is, blijven de moleculen botsen tot de temperatuur binnen gelijk is aan die van buiten: er is dan evenwicht, de temperatuur binnen is gelijk aan buiten.
Tegelijkertijd beweegt bij het raam de warmere lucht omhoog (door de kleinere dichtheid), en de koude lucht die van buiten komt omlaag (de dichtheid daarvan is groter).

f Door de lucht in de ballon te verhitten, vergroot je de gemiddelde bewegingsenergie van de moleculen. Deze botsen dus steeds harder en vaker tegen de wand van de luchtballon, waardoor deze groter wordt: het volume van de ballon neemt toe. Omdat de hoeveelheid lucht (de massa) in de ballon constant is, neemt de dichtheid af. Zodra de dichtheid van de ballon als geheel kleiner is dan de dichtheid van de buitenlucht, stijgt de ballon op.

18 a Stroming

b Geleiding

c Straling

d Straling

e Stroming

19 De warmtegeleidingscoëfficiënt van metaal is groter dan die van hout: metaal geleidt warmte beter. Dat betekent dat als je de metalen bank aanraakt, er meer warmte van je hand naar het metaal stroomt (bij een metaal van 10 °C), dan wanneer je de houten bank vastpakt. De warmtestroom van je hand naar het hout is kleiner. Daarom voelt de houten bank kouder aan dan de metalen bank.

20 Zet de stoffen in volgorde van kleinste warmtegeleidingscoëfficiënt naar grootste warmtegeleidingscoëfficiënt: lucht, piepschuim (polystyreen), baksteen, glas, staal en koper.

21 a Een infraroodcamera detecteert warmtestraling. Met name voorwerpen die warmer zijn dan de omgeving worden zichtbaar of lichten op. Als de verwarming bij een flat niet aan staat, dan zendt de ruit minder infraroodstraling uit vergeleken bij flats waar de verwarming wel aan staat. De inbreker kan dan aannemen dat de bewoner niet thuis is.

b Het kan zijn dat de bewoner toch thuis is met de verwarming uit. Het kan ook zijn dat de ruit extra goed geïsoleerd is, waardoor het slechts lijkt alsof de verwarming uit is.

22 a De warmtestroom is recht evenredig met de warmtegeleidingscoëfficiënt volgens de formule $P = \frac{\lambda A \Delta T}{d}$. Als de andere grootheden onveranderd zijn, is de warmtestroom het meest beperkt door de stof met de kleinste warmtegeleidingscoëfficiënt.

$\lambda_{\text{polystyreen}} = 0{,}08 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (Binas tabel 10A)
$\lambda_{\text{perspex}} = 1{,}9 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$\lambda_{\text{gips}} = 1{,}3 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Polystyreen zorgt dus voor de kleinste warmtestroom.

b Gegeven: $\lambda_{\text{polystyreen}} = 0{,}08 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$\lambda_{\text{perspex}} = 1{,}9 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$\lambda_{\text{gips}} = 1{,}3 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

$d_{\text{polystyreen}} = 0{,}20 \text{ cm} = 0{,}20 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
$d_{\text{perspex}} = 1{,}0 \text{ cm} = 1{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
$d_{\text{gips}} = 5{,}0 \text{ cm} = 5{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

Gevraagd: $P$ minimaal

Berekening: De warmtestroom is minimaal als $\frac{\lambda}{d}$ het kleinst is:
Polystyreen: $\frac{\lambda}{d} = \frac{0{,}08}{0{,}20 \cdot 10^{-2}} = 40 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
Perspex: $\frac{\lambda}{d} = \frac{1{,}9}{1{,}0 \cdot 10^{-2}} = 190 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
Gips: $\frac{\lambda}{d} = \frac{1{,}3}{5{,}0 \cdot 10^{-2}} = 26 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Antwoord: Gips beperkt de warmtestroom het meest.

23 a Gegeven: $\lambda = 0{,}93 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$A = 1{,}8 \times 0{,}8 = 1{,}44 \text{ m}^2$
$d = 5{,}0 \text{ mm} = 5{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
$\Delta T = 15 \text{ K}$

Gevraagd: $P$ in W

Berekening: $P = \frac{\lambda A \Delta T}{d} = \frac{0{,}93 \times 1{,}44 \times 15}{5{,}0 \cdot 10^{-3}} = 4018 \text{ W}$

Antwoord: De warmtestroom is $4{,}0 \cdot 10^3$ W.

b Gegeven: $\lambda = 237 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$A = 8{,}0 \text{ m}^2$
$d = 1{,}0 \text{ cm} = 1{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
$P = 80 \text{ kJ per s} = 80 \cdot 10^3 \text{ W}$

Gevraagd: $\Delta T$ in K

Berekening: $P = \frac{\lambda A \Delta T}{d} \rightarrow 80 \cdot 10^3 = \frac{237 \times 8{,}0 \times \Delta T}{1{,}0 \cdot 10^{-2}} \rightarrow \Delta T = \frac{80 \cdot 10^3}{189600} = 0{,}422 \text{ K}$

Antwoord: Het temperatuurverschil is $0{,}42$ K.

c Gegeven: $A = 2{,}0 \times 3{,}0 = 6{,}0\ \mathrm{m}^2$
$d = 5{,}0\ \mathrm{cm} = 5{,}0 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}$
$P = 21\ \mathrm{J\ per\ s} = 21\ \mathrm{W}$
$\Delta T = 5{,}0\ \mathrm{K}$

Gevraagd: materiaal van plaat

Berekening: $P = \frac{\lambda A \Delta T}{d} \rightarrow 21 = \frac{\lambda \times 6{,}0 \times 5{,}0}{5{,}0 \cdot 10^{-2}} \rightarrow \lambda = \frac{21}{600} = 0{,}035\ \ \mathrm{W\ m^{-1}\ K^{-1}}$

Antwoord: Het isolatiemateriaal is piepschuim.

24 a De warmtestroom gaat van hoge naar lage temperatuur, dus de warmte gaat naar buiten.

b Gegeven: $A_{\mathrm{dak}} = 3{,}0 \times 2{,}0 = 6{,}0\ \mathrm{m}^2$
$d = 3{,}0\ \mathrm{cm} = 3{,}0 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}$
$\lambda = 0{,}4\ \mathrm{W\ m^{-1}\ K^{-1}}$
$\Delta T = 15 - 9 = 6{,}0\ \mathrm{K}$

Gevraagd: $P$ in W

Berekening: $P = \frac{\lambda A_{\mathrm{dak}} \Delta T}{d} = \frac{0{,}4 \times 6{,}0 \times 6{,}0}{3{,}0 \cdot 10^{-2}} = 480\ \ \mathrm{W}$

Antwoord: De warmtestroom is $5 \cdot 10^2\ \mathrm{W}$

c Gegeven: $P_{\mathrm{dak}} = 4{,}8 \cdot 10^2\ \mathrm{W}$
$A_{\mathrm{wand}} = (3{,}0 \times 2{,}5 + 2{,}0 \times 2{,}5) \times 2 = 25\ \mathrm{m}^2$
$d = 3{,}0\ \mathrm{cm} = 3{,}0 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}$
$\lambda = 0{,}4\ \mathrm{W\ m^{-1}\ K^{-1}}$
$\Delta T = 15 - 9 = 6{,}0\ \mathrm{K}$
$P_{\mathrm{kachel}} = 2{,}0\ \mathrm{kW} = 2{,}0 \cdot 10^3\ \mathrm{W}$

Gevraagd: $P_{\mathrm{kachel}}$ voldoende?

Berekening: De warmtestroom door de wanden:
$P_{\mathrm{wand}} = \frac{\lambda A_{\mathrm{wand}} \Delta T}{d} = \frac{0{,}4 \times 25 \times 6{,}0}{3{,}0 \cdot 10^{-2}} = 2{,}0 \cdot 10^3\ \mathrm{W}$

Totale warmtestroom:
$P_{\mathrm{tot}} = P_{\mathrm{wand}} + P_{\mathrm{dak}} = 2{,}0 \cdot 10^3 + 4{,}8 \cdot 10^2 = 2{,}48 \cdot 10^3\ \mathrm{W}$
$P_{\mathrm{tot}} > P_{\mathrm{kachel}}$

Antwoord: De kachel kan de berging dus niet op 15 °C houden.

25 a Gegeven: $P_{\mathrm{dak}} = 4{,}8 \cdot 10^2\ \mathrm{W}$
$A = 0{,}90 \times 0{,}50 = 0{,}45\ \mathrm{m}^2$
$d = 8{,}0\ \mathrm{mm} = 8{,}0 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}$
$\lambda = 0{,}93\ \mathrm{W\ m^{-1}\ K^{-1}}$
$\Delta T = 28 - 15 = 13\ \mathrm{K}$
$n = 1500$

Gevraagd: $P$ in W

Berekening: $P = \frac{\lambda A_{\mathrm{wand}} \Delta T}{d} = \frac{0{,}93 \times 0{,}45 \times 13}{8{,}0 \cdot 10^{-3}} \times 1500 = 1{,}02 \cdot 10^6\ \mathrm{W}$

Antwoord: Er is minimaal $1{,}0 \cdot 10^6\ \mathrm{W}$ nodig om de temperatuur op 28 °C te houden.

b Behalve een warmtestroom door het glas, is er ook een warmtestroom door de grond. Ook wordt er geen rekening gehouden met een deur die open gaat als iemand binnenkomt.

26 a Gegeven: $A = 0{,}80\ \mathrm{m}^2$
$U_{\mathrm{enkel}} = 5{,}7\ \mathrm{W\ m^{-2}\ K^{-1}}$
‘ $\Delta T = 10\ \mathrm{K}$

Gevraagd: $P$ in W

Berekening: $P = U \cdot A \cdot \Delta T = 5{,}7 \times 0{,}80 \times 10 = 45{,}6\ \mathrm{W}$

Antwoord: De warmtestroom door het enkelvoudig glas is $46\ \mathrm{W}$.

b Gegeven: $A = 0{,}80\ \mathrm{m}^2$
$U_{3-\mathrm{voudig}} = 0{,}5\ \mathrm{W\ m^{-2}\ K^{-1}}$
‘ $\Delta T = 10\ \mathrm{K}$

Gevraagd: $P$ in W

Berekening: $P = U \cdot A \cdot \Delta T = 0{,}5 \times 0{,}80 \times 10 = 4\ \mathrm{W}$

Antwoord: De warmtestroom door het drievoudig glas is $4\ \mathrm{W}$.

c Gegeven: $P_{\mathrm{enkel}} = 46\ \mathrm{W}$
$P_{3-\mathrm{voudig}} = 4\ \mathrm{W}$
‘ $1\ \mathrm{kWh} = 0{,}20\ €$
$\mathrm{kosten} = 60\ €$

Gevraagd: $t$

Berekening: Energie die bespaard wordt:
$\frac{60}{0{,}20} = 300\ \mathrm{kWh} = 300 \times 3{,}6 \cdot 10^6 = 1{,}08 \cdot 10^9\ \mathrm{J}$
Verschil in warmtestroom:
$\Delta P = P_{\mathrm{enkel}} - P_{3-\mathrm{voudig}} = 46 - 4 = 42\ \mathrm{W}$
De tijd:
$E = Pt \rightarrow t = \frac{E}{P} = \frac{1{,}08 \cdot 10^9}{42} = 2{,}57 \cdot 10^7\ \mathrm{s} = 297\ \mathrm{d}$

Antwoord: Het duurt $3{,}0 \cdot 10^2\ \mathrm{d}$ om de investering terug te verdienen.

d Het dunne metalen laagje werkt als spiegel en zorgt ervoor dat er warmteverlies door straling wordt tegengegaan.

27 a Het warmteafgifte van de beer $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ moet zo klein mogelijk zijn, dus moet $k \cdot \Delta T$ ook zo klein mogelijk zijn. De constante $k$ moet dus zo klein mogelijk zijn.

b De grootte van $k$ wordt beïnvloed door bijvoorbeeld het volgende:
- de dikte van de isolerende vetlaag van de beer
- de dikte van de isolerende vacht van de beer
- de houding van de beer: hoe meer hij opgerold ligt, hoe meer hij zijn eigen warmte weer opneemt
- de beweeglijkheid van de beer tijdens zijn slaap

c Gegeven: $P = 3{,}0 \cdot 10^2\ \mathrm{J\ s^{-1}} = 3{,}0 \cdot 10^2\ \mathrm{W}$
$E_{\mathrm{vet}} = 33\ \mathrm{MJ} = 33 \cdot 10^6\ \mathrm{J}$ per kg
$t = 120\ \mathrm{d}$

Gevraagd: $m$ in kg

Berekening: Energie die beer produceert:
$E = Pt = 3{,}0 \cdot 10^2 \times 120 \cdot 24 \cdot 3600 = 3{,}11 \cdot 10^9\ \mathrm{J}$

Massa vet die de beer moet verbranden:
$m = \frac{3{,}11 \cdot 10^9}{33 \cdot 10^6} = 94{,}2\ \mathrm{kg}$

Antwoord: De beer verbrandt 94 kg vet.

28 Gegeven: $\lambda_{\mathrm{shirt}} = 0{,}040\ \mathrm{W\ m^{-1}\ K^{-1}}$
$d_{\mathrm{shirt}} = 2{,}0\ \mathrm{mm} = 2{,}0 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}$
‘ $\Delta T = 37 - 23 = 14\ \mathrm{K}$

$\lambda_{\mathrm{trui}} = 0{,}018\ \mathrm{W\ m^{-1}\ K^{-1}}$
$d_{\mathrm{trui}} = 5{,}0\ \mathrm{mm} = 5{,}0 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}$
‘ $\Delta T = 37 - 16 = 21\ \mathrm{K}$

Gevraagd: $P$ in W

Berekening: $P_{\mathrm{shirt}} = \frac{\lambda_{\mathrm{shirt}} A \Delta T}{d_{\mathrm{shirt}}} = \frac{0{,}040 \times A \times 14}{2{,}0 \cdot 10^{-3}} = 280 \cdot \mathrm{A}$

$P_{\mathrm{trui}} = \frac{\lambda_{\mathrm{trui}} A \Delta T}{d_{\mathrm{trui}}} = \frac{0{,}018 \times A \times 21}{5{,}0 \cdot 10^{-3}} = 75{,}6 \cdot \mathrm{A}$

De oppervlakte $A$ is gelijk, dus $P_{\mathrm{shirt}} > P_{\mathrm{trui}}$

Antwoord: Je bovenlichaam verliest meer warmte op de warme dag.

## Examentraining

29 a De formule voor de warmtestroom is $P = \frac{\lambda A \Delta T}{d}$. Daarin zie je dat de warmtestroom recht evenredig is met de het temperatuurverschil. Tijdens de winterslaap is $\Delta T$ veel kleiner dan anders. De warmtestroom tijdens de winterslaap is dus ook kleiner.

b $m_{\mathrm{vet}} = \frac{\text{Benodigde warmte}}{\text{Verbrandingswarmte}} = \frac{1{,}1 \cdot 10^3}{4{,}0 \cdot 10^7} = 2{,}75 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{kg} = 27{,}5\ \mathrm{mg}$
De vleermuis verbrandt 28 mg vet tijdens het opwarmen.

c Alle warmte die door de vetlaag stroomt, stroomt ook door de vacht want anders zou er zich ergens tussen vacht en vetlaag warmte ophopen, en dat kan niet.

d Gegeven: $d_{\text{vet}} = 2{,}0 \text{ mm} = 2{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
‘ $\Delta T_{\text{vet}} = 37 - 35{,}6 = 1{,}4 \text{ K}$
$d_{\text{vacht}} = 7{,}0 \text{ mm} = 7{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
‘ $\Delta T_{\text{vacht}} = 35{,}6 - 5 = 30{,}6 \text{ K}$

Gevraagd: $\frac{\lambda_{\text{vet}}}{\lambda_{\text{vacht}}}$

Berekening: $P_{\text{vet}} = \frac{\lambda_{\text{vet}} A \Delta T_{\text{vet}}}{d_{\text{vet}}} = \frac{\lambda_{\text{vet}} A \cdot 1{,}4}{2{,}0 \cdot 10^{-3}} = 700A \cdot \lambda_{\text{vet}}$

$P_{\text{vacht}} = \frac{\lambda_{\text{vacht}} A \Delta T_{\text{vacht}}}{d_{\text{vacht}}} = \frac{\lambda_{\text{vacht}} A \cdot 30{,}6}{7{,}0 \cdot 10^{-3}} = 4371A \cdot \lambda_{\text{vacht}}$

De warmtestromen zijn aan elkaar gelijk:

$700A \cdot \lambda_{\text{vet}} = 4371A \cdot \lambda_{\text{vacht}} \rightarrow \lambda_{\text{vet}} = \frac{4371A \cdot \lambda_{\text{vacht}}}{700A} = 6{,}24\lambda_{\text{vacht}}$

$\frac{\lambda_{\text{vet}}}{\lambda_{\text{vacht}}} = 6{,}24$

Antwoord: $\frac{\lambda_{\text{vet}}}{\lambda_{\text{vacht}}} = 6{,}2$

e Bij de vorige vraag heb je aangetoond dat $\frac{\lambda_{\text{vet}}}{\lambda_{\text{vacht}}} = 6{,}2$.
De warmtegeleidingscoëfficiënt van vet is dus 6,2 keer zo groot als die van vacht.
Dit betekent dat een vetlaag 6,2 keer zo slecht isoleert als een laag vacht.
Als je dus de vacht vervangt door een vetlaag moet deze 6,2 keer zo dik zijn.
De vacht is 7,0 mm dik, dus de vetlaag moet $6{,}2 \times 7{,}0 = 43{,}4 \text{ mm} = 43 \text{ mm}$ dik zijn.

## 6.3 Gas en vloeistofstromen

30 a $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ en $Q = Av$

b $[Q] = \frac{[\Delta V]}{[\Delta t]} = \frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{s}} = \mathrm{m^3\ s^{-1}}$
$[Q] = [A][v] = \mathrm{m^2\ m\ s^{-1}} = \mathrm{m^3\ s^{-1}}$

c Het volume van een buis is: $V = As$. Hierin is $A$ de doorsnede en $s$ de lengte:
$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A\Delta s}{\Delta t}$ met $\frac{\Delta s}{\Delta t} = v$, dus $Q = Av$.

31 a Het volume van 20 druppels is 3,4 mL. Het volume van 1 druppel is dus: $V = \frac{3{,}4}{20} = 0{,}17\ \mathrm{mL}$.

b Gegeven: $V_{\mathrm{druppel}} = 0{,}17\ \mathrm{mL} = 0{,}17 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m^3}$
$\Delta t = 3{,}0\ \mathrm{s}$

Gevraagd: $Q$ in $\mathrm{m^3\ s^{-1}}$

Berekening: Er valt elke 3 seconde 1 druppel uit de kraan:
$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{0{,}17 \cdot 10^{-6}}{3{,}0} = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$

Antwoord: Het debiet is $5{,}7 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$.

c Gegeven: $V_{\mathrm{druppel}} = 0{,}17\ \mathrm{mL} = 0{,}17 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m^3}$
1 druppel per 3,0 s

Gevraagd: $V$ in L per jaar

Berekening: Het aantal druppels per jaar:
$n = \frac{365{,}25 \times 24 \times 3600}{3{,}0} = 1{,}05 \cdot 10^7$
Het volume per jaar:
$V = 1{,}05 \cdot 10^7 \times 0{,}17 \cdot 10^{-6} = 1{,}79\ \mathrm{L}$

Antwoord: Er stroomt $1{,}8\ \mathrm{L}$ per jaar weg.

32 a $A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \times \left(\frac{1{,}0 \cdot 10^{-2}}{2}\right)^2 = 7{,}85 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m^2} = 7{,}9 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m^2}$

b Gegeven: $v = 750\ \mathrm{L\ h^{-1}}$
$A = 7{,}85 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m^2}$

Gevraagd: $v$ in $\mathrm{m\ s^{-1}}$

Berekening: Het debiet:
$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{750 \cdot 10^{-3}}{3600} = 2{,}08 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$
De snelheid:
$Q = Av \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{2{,}08 \cdot 10^{-4}}{7{,}85 \cdot 10^{-5}} = 2{,}65\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

Antwoord: De snelheid is $2{,}6\ \mathrm{m\ s^{-1}}$.

c Gegeven: $Q = 2{,}08 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$
$A = 7{,}1\ \mathrm{mm^2} = 7{,}1 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m^2}$
$v_{\mathrm{kraan}} = 2{,}65\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

Gevraagd: $v_{\mathrm{spuit}}$ in $\mathrm{m\ s^{-1}}$

Berekening: Q= $Av \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{2{,}08 \cdot 10^{-4}}{7{,}1 \cdot 10^{-6}} = 29{,}3\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

Antwoord: De snelheid is $29\ \mathrm{m\ s^{-1}}$.

d De pomp verhoogt de druk binnen de spuit zodat er het water door de kleine opening van de spuit wordt geperst.

33 a $Q_{\mathrm{max}} = 6\ \mathrm{m^3\ h^{-1}} = \frac{6}{3600} = 1{,}7 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$

b Gegeven: $Q_{\mathrm{max}} = 1{,}7 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$
$A = 3{,}14\ \mathrm{cm^2} = 3{,}14 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^2}$

Gevraagd: $v_{\mathrm{max}}$ in $\mathrm{m\ s^{-1}}$

Berekening: $Q = Av \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{1{,}7 \cdot 10^{-3}}{3{,}14 \cdot 10^{-4}} = 5{,}41\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

Antwoord: De maximale snelheid is $5\ \mathrm{m\ s^{-1}}$.

c Een dunnere gasleiding leidt tot een grotere snelheid van het toegevoerde gas. Dat is nodige om een constante vlam uit de gaspit te krijgen.

d Bij een hogere temperatuur is de gemiddelde snelheid van de moleculen hoger. De druk wordt daarmee groter en dus bewegen er meer moleculen per seconde door de meter.

e Volgens de formule $Q = Av$ wordt het debiet groter als de snelheid van de moleculen groter is. De meter moet het debiet dus verlagen bij een hogere temperatuur.

34 a $[v] = \mathrm{m\ s^{-1}}$
$\sqrt{2[g][h]} = \sqrt{\mathrm{m\ s^{-2}\ m}} = \sqrt{\mathrm{m^2 s^{-2}}} = \mathrm{m\ s^{-1}}$

b Het uitstroomdebiet is: $Q = Av$. Bij een constante uitstroomsnelheid, neemt het debiet toe als de doorsnede toeneemt.

c Gegeven: $V = 4000\ \mathrm{L} = 4{,}000\ \mathrm{m^3}$
$d = 2{,}00\ \mathrm{m}$

Gevraagd: $h$ in m

Berekening: De doorsnede van het vat:
$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \times \left(\frac{2{,}00}{2}\right)^2 = 3{,}14\ \mathrm{m^2}$

De hoogte:
$V = Ah \rightarrow h = \frac{V}{A} = \frac{4{,}000}{3{,}14} = 1{,}274\ \mathrm{m}$

Antwoord: De hoogte van het water is $1{,}27\ \mathrm{m}$.

d $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 1{,}27} = 4{,}99\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

e Gegeven: $A = 4{,}0\ \mathrm{cm^2} = 4{,}0 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^2}$
$v = 4{,}99\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

Gevraagd: $h$ in m

Berekening: $Q = Av = 4{,}0 \cdot 10^{-4} \times 4{,}99 = 2{,}0 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}} = 2{,}0\ \mathrm{L\ s^{-1}}$

Antwoord: Het debiet is $2{,}0\ \mathrm{L\ s^{-1}}$.

f Gegeven: $v = 2{,}50\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

Gevraagd: $h$ in m

Berekening: $v = \sqrt{2gh} \rightarrow \sqrt{h} = \frac{v}{\sqrt{2g}} = \frac{2{,}50}{\sqrt{2 \times 9{,}81}} = 0{,}564\ \mathrm{m} \rightarrow h = 0{,}564^2 = 0{,}319\ \mathrm{m}$

Antwoord: De hoogte is $0{,}31\ \mathrm{m}$ als de snelheid is gehalveerd.

g Als de uitstroomsnelheid constant is, en het debiet dus ook, dan duurt het leeglopen:
$t = \frac{V}{Q} = \frac{4000}{2{,}0} = 2000\ \mathrm{s}$.

De uitstroomsnelheid neemt echter af (want de hoogte van het water neemt af), dus het debiet ook. De snelheid is in het begin 2,0 L $s^{-1}$ en op het einde 0 L $s^{-1}$. Je komt dan uit op een gemiddelde uitstroomsnelheid van 1,0 L $s^{-1}$. Het leeglopen duurt dan: $t = \frac{V}{Q} = \frac{4000}{1{,}0} = 4000\ \mathrm{s}$.

Optie B is dus goed.

*Opmerking: de uitstroomsnelheid neemt afhankelijk van de hoogte niet geleidelijk af, maar als functie van de tijd wel.*

35 a Gegeven: $Q = 5\ \mathrm{L\ min^{-1}}$

Gevraagd: $Q$ in $\mathrm{m^3\ s^{-1}}$

Berekening: $Q = 5\ \mathrm{L\ min^{-1}} = 5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m^3} \times \frac{1}{60}\mathrm{s^{-1}} = 8{,}3 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$

Antwoord: Het debiet is $8{,}3 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$.

b Gegeven: $d = 2{,}5\ \mathrm{cm} = 2{,}5 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}$
$Q = 8{,}3 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$

Gevraagd: $v$ in $\mathrm{m\ s^{-1}}$

Berekening: De doorsnede:

$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \times \left(\frac{2{,}5 \cdot 10^{-2}}{2}\right)^2 = 4{,}91 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^2}$

De stroomsnelheid:

$Q = Av \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{8{,}3 \cdot 10^{-5}}{4{,}91 \cdot 10^{-4}} = 0{,}169\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

Antwoord: De stroomsnelheid in de aorta is $0{,}17\ \mathrm{m\ s^{-1}}$.

c De formule voor het debiet is $Q = Av$. Aangezien het debiet niet verandert nadat het bloed zich verspreidt door de kleine adertjes en de stroomsnelheid door de adertjes veel kleiner is, moet $A$ groter geworden zijn. De doorsnede van één adertje is niet groter dan die van de aorta, maar de doorsnede van alle adertje samen wel.

36 a Gegeven: $d = 1{,}22$ m
$Q = 3{,}996 \cdot 10^5\ \mathrm{m^3\ d^{-1}} = 3{,}996 \cdot 10^5 \times \frac{1}{24 \times 3600} = 4{,}625\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$

Gevraagd: $v$ in $\mathrm{m\ s^{-1}}$

Berekening: De doorsnede:
$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \times \left(\frac{1{,}22}{2}\right)^2 = 1{,}169\ \mathrm{m^2}$

De stroomsnelheid:
$Q = Av \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{4{,}625}{1{,}169} = 3{,}956\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

Antwoord: De stroomsnelheid in de pijplijn is $3{,}96\ \mathrm{m\ s^{-1}}$.

b Gegeven: $A = 1{,}169\ \mathrm{m^2}$
$l = 1287\ \mathrm{km} = 1287 \cdot 10^3\ \mathrm{m}$

Gevraagd: $V$ in $\mathrm{m^3}$

Berekening: $V = Al = 1{,}169 \times 1287 \cdot 10^3 = 1{,}50 \cdot 10^6\ \mathrm{m^3}$

Antwoord: Het volume olie in de pijplijn is $1{,}50 \cdot 10^6\ \mathrm{m^3}$.

37 a Gegeven: $v = 5{,}4\ \mathrm{km\ h^{-1}} = 1{,}5\ \mathrm{m\ s^{-1}}$
$Q = 2200\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$

Gevraagd: $A$ in $\mathrm{m^2}$

Berekening: $Q = Av \rightarrow A = \frac{Q}{v} = \frac{2200}{1{,}5} = 1{,}47 \cdot 10^3\ \mathrm{m^2}$

Antwoord: De doorsnede is $1{,}5 \cdot 10^3\ \mathrm{m^2}$.

b Gegeven: $b = 340$ m
$h = 7{,}5$ m
$A_{\mathrm{droog}} = 1{,}47 \cdot 10^3\ \mathrm{m^2}$

Gevraagd: $A_{\mathrm{regen}}$ in $\mathrm{m^2}$

Berekening: $A_{\mathrm{regen}} = A_{\mathrm{droog}} + bh = 1{,}47 \cdot 10^3\ \mathrm{m^2} + 340 \times 7{,}5 = 4{,}02 \cdot 10^3\ \mathrm{m^2}$

Antwoord: De doorsnede bij regen is $4{,}0 \cdot 10^3\ \mathrm{m^2}$.

c Gegeven: $A_{\mathrm{regen}} = 4{,}02 \cdot 10^3\ \mathrm{m^2}$
$Q_{\mathrm{regen}} = 16 \cdot 10^3\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$

Gevraagd: $v_{\mathrm{regen}}$ in $\mathrm{m\ s^{-1}}$

Berekening: $Q = Av \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{16 \cdot 10^3}{4{,}02 \cdot 10^3} = 3{,}98\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

Antwoord: De snelheid bij regen is $4{,}0\ \mathrm{m\ s^{-1}}$.

d De breedte van de rivier is niet constant: naarmate het water stijgt, wordt de rivier breder. Daarmee wordt ook de doorsnede groter, met als gevolg dat de stroomsnelheid afneemt.

38 a De moleculen van het gas bewegen los van elkaar alle kanten op. Daardoor botsen zij op alle voorwerpen in de omgeving. Bij elke botsing wordt een kracht uitgeoefend op het voorwerp, en de kracht van alle moleculen samen op een oppervlak is de druk. Hoe groter de gemiddelde bewegingsenergie van de moleculen (een maat voor de temperatuur) hoe harder de botsingen en dus hoe hoger de druk.

b De druk van een gas is recht evenredig met het aantal gasmoleculen als het volume en de temperatuur gelijk blijven. Als de druk 40 keer zo groot is, is het aantal moleculen ook 40 keer zo groot.

c Bij een hoge druk vervoer je meer gasmoleculen per volume-eenheid, en de stroomsnelheid is groter.

d Debiet bij een druk van 1 bar: $Q = 5{,}0 \cdot 10^3\ \mathrm{N\ m^3}$ per dag.

De druk in de pijpleiding is 40 keer zo groot, dus het volume van het gas is 40 keer zo klein:

Debiet bij een druk van 40 bar: $Q = \frac{5{,}0 \cdot 10^3}{40} = 125\ \mathrm{m^3}$ per dag.

Debiet in standaardeenheden:
$Q = 125\ \mathrm{m^3}$ per dag $= \frac{125}{24 \times 3600} = 1{,}4 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$.

**Examentraining**

39 a Gegeven: $V_{\mathrm{afvoer}} = 215\ \mathrm{m^3}$ per uur

Gevraagd: $Q$ in $\mathrm{m^3\ s^{-1}}$

Berekening: $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{215}{3600} = 5{,}972 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$

Antwoord: Het debiet is $5{,}97 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$.

b Gegeven: $V_{\mathrm{afvoer}} = 215\ \mathrm{m^3}$ per uur
$A = 44\ \mathrm{m^2}$
$h = 2{,}44\ \mathrm{m}$

Gevraagd: ventilatievoud

Berekening: Het volume van de kamer:
$V = Ah = 44 \times 2{,}44 = 107{,}36\ \mathrm{m^3}$

Het ventilatievoud:
$\frac{215}{107{,}36} = 2{,}00$

Antwoord: Het ventilatievoud is $2{,}0$.

c Gegeven: $Q = 5{,}972 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$
$v_{\mathrm{max}} = 4{,}0\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

Gevraagd: $d_{\mathrm{min}}$ in mm

Berekening: De minimale doorsnede:

$Q = A_{\mathrm{min}} v_{\mathrm{max}} \rightarrow A_{\mathrm{min}} = \frac{Q}{v_{\mathrm{max}}} = \frac{5{,}972 \cdot 10^{-2}}{4{,}0} = 0{,}01493\ \mathrm{m^2}$

Er zijn twee ventilatiekanalen:

$A_{\mathrm{min}} = \frac{0{,}01493}{2} = 0{,}007465\ \mathrm{m^2}$

De minimale diameter:

$A = \pi r^2 \rightarrow r^2 = \frac{A}{\pi} \rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \rightarrow \frac{d}{2} = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \rightarrow d = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2 \times \sqrt{\frac{0{,}007465}{\pi}} = 0{,}0975\ \mathrm{m}$

$d_{\mathrm{min}} = 97{,}5\ \mathrm{mm}$

Antwoord: Er moet minimaal de buis van 100 mm gebruikt worden.

d Gegeven: $Q_{\mathrm{verbranding}} = 32 \cdot 10^6\ \mathrm{J\ per\ m^3}$
$c_{\mathrm{lucht}} = 1{,}00 \cdot 10^3\ \mathrm{J\ kg^{-1}\ K^{-1}}$
$\Delta T = 19{,}0 - 5{,}1 = 13{,}9\ \mathrm{K}$
$m_{\mathrm{toevoer}} = 255\ \mathrm{kg\ per\ uur}$

Gevraagd: $V_{\mathrm{aardgas}}$ in $\mathrm{m^3}$ per uur

Berekening: De lucht wordt opgewarmd:
$Q_{\mathrm{opg}} = c_{\mathrm{lucht}} m_{\mathrm{toevoer}} \Delta T = 1{,}00 \cdot 10^3 \times 255 \times 13{,}9 = 3{,}54 \cdot 10^6\ \mathrm{J}$

Het volume aardgas:

$Q_{\mathrm{opg}} = Q_{\mathrm{verbranding}} \times V_{\mathrm{aardgas}} \rightarrow V_{\mathrm{aardgas}} = \frac{Q_{\mathrm{opg}}}{Q_{\mathrm{verbranding}}} = \frac{3{,}54 \cdot 10^6}{32 \cdot 10^6} = 0{,}11\ \mathrm{m^3}$

Antwoord: Er moet $0{,}11\ \mathrm{m^3}$ aardgas worden verbrand.

## 6.4 Functionele materialen

40 a De meest gangbare constructiematerialen zijn hout, staal, beton, kalkzandsteen en kunststof.

b Voorbeelden van eigenschappen: composieten moeten een kleine dichtheid hebben: dat vermindert het brandstofverbruik.
De composieten moeten zeer sterk zijn vanwege de krachten en trillingen die ontstaan bij het opstijgen.
De composieten moet hittebestendig zijn (voor de terugkeer in de atmosfeer), en weerstand bieden tegen kosmische straling.

c Binas tabel 67 E: hexagonaal lonsdaleïet

d Transparant aluminium is doorzichtig, hard en licht.

e Een buckyball, ofwel $C_{60}$ heeft 60 koolstofatomen.

f Plastic flessen zijn lichter dan glazen flessen.
Ze zijn niet breekbaar.
Na gebruik is het kostbaar om een glazen fles te reinigen, makkelijker is om een plastic fles te smelten en een nieuwe maken.

41 a Transparant aluminium heeft een sterkere atoombinding dan ijzer want het smeltpunt is hoger: er is meer energie nodig om de bindingen te verbreken.

b In afbeelding A zie je hoe het rooster van ijzeratomen vervormd wordt: de atomen zijn één plek ten opzichte van elkaar verschoven.
In figuur 6.15 zie je hoe zuurstof- en stikstofatomen zijn verweven met het rooster van aluminiumatomen: er worden piramidale structuren gevormd (de grijze vlakken). Om transparant aluminium te vervormen moet zo'n hele structuur worden verschoven.
Ook de atoombinding van transparant aluminium zijn sterker (zie vraag a).
Dit maakt dat transparant aluminium veel harder is dan ijzer.

c Gegeven:
$l = 1{,}8\ \text{m}$
$b = 0{,}80\ \text{m}$
$d = 34 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$
$m = 122\ \text{kg}$
$\rho_{\text{tr Al}} = 3{,}7\ \text{g cm}^{-3} = 3{,}7 \cdot 10^{3}\ \text{kg m}^{3}$

Gevraagd: $m$ in kg van transparant aluminium

Berekening: Het volume van de transparant aluminium deur:
$V = lb \cdot \frac{1}{5} d = 1{,}8 \times 0{,}80 \times \frac{34 \cdot 10^{-3}}{5} = 9{,}79 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^{3}$
De massa van de transparant aluminium deur:
$m = \rho V = 3{,}7 \cdot 10^{3} \times 9{,}79 \cdot 10^{-3} = 36{,}2\ \text{kg}$

Antwoord: De massa van de transparant aluminium deur is $36\ \text{kg}$.

42 a Volgens Binas tabel 9 bestaat roestvrijstaal uit 85 % ijzer, 13 % chroom en 2 % koolstof.

b Het chroom vormt een beschermlaagje zodat de het ijzer minder snel roest.

c Nikkel heeft van chroom, ijzer en koolstof de grootste dichtheid. Als je dit dus toevoegt, neemt de dichtheid toe.

d Goud is een zacht materiaal dat makkelijk te vervormen is. Het moet dus eerst verhard worden met een ander materiaal om er een sieraad van te kunnen maken.

e Gegeven: $m = 4{,}0 \text{ g} = 4{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$
$\rho_{\text{goud}} = 19{,}3 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
$\rho_{\text{koper}} = 8{,}96 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

Gevraagd: $\rho$ in $\text{kg m}^{-3}$

Berekening: 18 karaats goud bestaat voor 75 % uit goud en 25 % uit koper. De volumes:
$m_{\text{goud}} = m_{\text{ring}} \times 75\% = 4{,}0 \cdot 10^{-3} \times 0{,}75 = 3{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$
$V_{\text{goud}} = \frac{m_{\text{goud}}}{\rho_{\text{goud}}} = \frac{3{,}0 \cdot 10^{-3}}{19{,}3 \cdot 10^3} = 1{,}55 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$
$m_{\text{koper}} = m_{\text{ring}} \times 5\% = 4{,}0 \cdot 10^{-3} \times 0{,}25 = 1{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$
$V_{\text{koper}} = \frac{m_{\text{koper}}}{\rho_{\text{koper}}} = \frac{1{,}0 \cdot 10^{-3}}{8{,}96 \cdot 10^3} = 1{,}12 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$
De dichtheid van de ring:
$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_{\text{goud}} + V_{\text{koper}}} = \frac{4{,}0 \cdot 10^{-3}}{1{,}55 \cdot 10^{-7} + 1{,}12 \cdot 10^{-7}} = 1{,}50 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

Antwoord: De dichtheid van de ring is $1{,}5 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

43 a Allotropen zijn stoffen die uit dezelfde atoomsoort bestaan, maar een andere kristalstructuur hebben. Daardoor hebben de stoffen andere eigenschappen. Grafiet en grafeen zijn dus beide allotropen van koolstof.

b Gegeven: $\rho_{\text{grafeen}} = 2{,}5 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
$m_{\text{grafeen}} = 4{,}3 \cdot 10^{-7} \text{ kg per m}^2$

Gevraagd: $V$ in $\text{m}^3$

Berekening: $\rho = \frac{m \text{ per m}^2}{V \text{ per m}^2} \rightarrow V \text{ per m}^2 = \frac{m \text{ per m}^2}{\rho} = \frac{4{,}3 \cdot 10^{-7}}{2{,}5 \cdot 10^3} = 1{,}72 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3$

Antwoord: Het volume van één vierkante meter grafeen is $1{,}7 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3$.

c Gegeven: $V_{\text{grafeen}} = 1{,}72 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3 \text{ per m}^2$
Gevraagd: $d$ in mm

Berekening: $V = Ad \rightarrow d = \frac{V}{A} = \frac{1{,}72 \cdot 10^{-10}}{1{,}0} = 1{,}72 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 1{,}72 \cdot 10^{-7} \text{ mm}$

Antwoord: De dikte van een laag grafeen is $1{,}7 \cdot 10^{-7} \text{ mm}$.

44 a Allotropen zijn stoffen die uit dezelfde atoomsoort bestaan, maar een andere kristalstructuur hebben.

b Van $C_{60}$ naar $C_{70}$: De massa wordt 7/6 keer zo groot, dus het oppervlak wordt ook 7/6 keer zo groot want de afstand tussen de koolstofatomen blijft gelijk. Het volume wordt dan $(7/6)^{3/2}$ keer zo groot. Aangezien $\rho = m/V$ en het volume meer toeneemt dan de massa, wordt de dichtheid kleiner.

45 a Een nanobuisje bevat lege ruimte. Een nanobuisje heeft dus een groter volume dan een stuk grafeen met dezelfde massa, en dus een kleinere dichtheid.

b Gegeven: $d = 1{,}0 \text{ nm} = 1{,}0 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

Gevraagd: $A$ in $\text{m}^2$

Berekening: $A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \times \frac{(1{,}0 \cdot 10^{-9})^2}{4} = 7{,}85 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$

Antwoord: De doorsnede van het nanobuisje is $7{,}9 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$.

c Gegeven: $\text{treksterkte} = 50 \text{ GPa} = 50 \cdot 10^9 \text{ Pa (N m}^{-2})$
$A = 7{,}85 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$

Gevraagd: $F_{\text{max}}$ in N

Berekening: $\text{treksterkte} = \frac{F_{\text{max}}}{A} \rightarrow F_{\text{max}} = \text{treksterkte} \cdot A = 50 \cdot 10^9 \times 7{,}85 \cdot 10^{-19} =$
$3{,}93 \cdot 10^{-8} \text{ N}$

Antwoord: De maximale kracht die je op dit nanobuisje kunt uitoefenen is $3{,}9 \cdot 10^{-8}$ N.

d Volgens Binas tabel 10B heeft staal een treksterkte in de orde van $500 \cdot 10^6$ Pa.
De treksterkte van het nanobuisje is $50 \cdot 10^9$ Pa.
Een nanobuisje is dus $\frac{50 \cdot 10^9}{500 \cdot 10^6} = 100$ keer zo sterk als staal.

46 a Koolstof heeft vier bindingselektronen. In de kristalstructuur van diamant maken alle vier de bindingselektronen een binding met een buuratoom. Daarom is diamant erg hard.

b Omdat bij diamant alle vier de bindingselektronen ook daadwerkelijk bindingen vormen met buuratomen zijn er geen vrije elektronen die door het rooster bewegen. Diamant is dus een elektrische isolator.
In de kristalstructuur van grafiet zie je dat er maar drie bindingselektronen een binding aangaan met een buuratoom. Één elektron blijft ongebonden en is vrij om door het rooster te bewegen. Grafiet is dus een elektrische geleider.

c Bij een metaalrooster zijn de atomen gestapeld. Bij diamant is de rangschikking van de atomen complexer.

47 a De dichtheid

b Volgens Binas tabel 10 B:
$\text{treksterkte aluminium} = 310 \cdot 10^6 \text{ Pa}$
$\text{treksterkte carbonfiber} = 2390 \cdot 10^6 \text{ Pa}$
Carbon fiber is dus $\frac{2390 \cdot 10^6}{310 \cdot 10^6} = 7{,}7$ keer sterker dan aluminium.

c De formule voor de elasticiteitsmodulus is $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$;
In het experiment zijn beide frames even dik en wordt er met dezelfde kracht aan de frames getrokken, dus $\sigma$ heeft dezelfde waarde voor beide materialen.
Het aluminium rekt meer uit, dus $\epsilon$ van aluminium heeft een grotere waarde dan die van carbon fiber.
Hieruit volgt dat de elasticiteitsmodulus van aluminium kleiner is dan die van carbon fiber.

48 a Aerogel is een poreus materiaal dat voor een groot deel uit lucht bestaat.
De dichtheid van aerogel is dus klein.

b De bloem is onbeschadigd dus aerogel is een goede isolator. Het heeft dus een kleine warmtegeleidingscoëfficiënt.

49 a Gegeven: $l = 29{,}7 \text{ cm} = 0{,}297 \text{ m}$
$b = 21 \text{ cm} = 0{,}21 \text{ m}$
$m = 2{,}0 \text{ g} = 2{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$
$\rho_{\text{papier}} = 0{,}7 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \rightarrow 1{,}2 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

Gevraagd: $d$ in mm

Berekening: $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} \rightarrow lbd = \frac{m}{\rho} \rightarrow$
$d_{\text{max}} = \frac{m}{\rho lb} = \frac{2{,}0 \cdot 10^{-3}}{0{,}7 \cdot 10^3 \times 0{,}297 \times 0{,}21} = 4{,}58 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 4{,}58 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$
$d_{\text{min}} = \frac{m}{\rho lb} = \frac{2{,}0 \cdot 10^{-3}}{1{,}2 \cdot 10^3 \times 0{,}297 \times 0{,}21} = 2{,}67 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 2{,}67 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$

Antwoord: De dikte van een A4-tje is dus tussen $2{,}7 \cdot 10^{-2}$ mm en $4{,}6 \cdot 10^{-2}$ mm.

b Gegeven: $\text{treksterkte staal} = 4{,}2 \cdot 10^8 \text{ Pa (N m}^{-2})$
$b = 2{,}0 \text{ cm} = 2{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
$d = 4{,}6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

Gevraagd: $F_{\text{max}}$ in N

Berekening: De doorsnede van het braeön:
$A = \text{bd} = 2{,}0 \cdot 10^{-2} \times 4{,}6 \cdot 10^{-5} = 9{,}2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$
De maximale kracht:
$\text{treksterkte} = \frac{F_{\text{max}}}{A} \rightarrow F_{\text{max}} = \text{treksterkte} \cdot A = 4{,}2 \cdot 10^8 \times 9{,}2 \cdot 10^{-7} = 386 \text{ N}$

Antwoord: De maximale kracht waarmee je kunt trekken is $3{,}9 \cdot 10^2$ N.

c Bij het wegtrekken van een auto is de resulterende kracht groter dan de rolweerstandskracht.
Voor de rolweerstandskracht geldt $F_{\text{w,r}} = fF_{\text{n}}$:
hierin is $f$ een constante: schat deze op 0,01
De normaalkracht is: $F_{\text{n}} = mg = 1000 \times 10 = 10\,000 \text{ N}$ (schatting: $m = 1000$ kg)
De weerstandskracht is dus: $F_{\text{w,r}} = fF_{\text{n}} = 0{,}01 \times 10000 = 100 \text{ N}$. Dit komt overeen met waarden die je in hoofdstuk 3 bent tegengekomen: de rolweerstand heeft een constante waarde en is altijd vrij klein in vergelijking met de schuifweerstandskracht en de luchtweerstandskracht.

Je moet dus met 100 N trekken. Dit is kleiner is dan de treksterkte van braeön.

d Braeön is net zo sterk als staal en makkelijk te vervormen als je het verwarmt. Daarmee is het geschikt voor mechanische doeleinden zoals kabels en haken, maar ook gereedschap zoals klinknagels, spijkers etc.

**Examentraining**

50 a Gegeven: $h = 3{,}0$ m
$b = 1{,}0$ m
$d = 1{,}0$ cm $= 1{,}0 \cdot 10^{-2}$ m
$\rho_{\text{gips}} = 2{,}32 \cdot 10^3$ kg m$^{-3}$

Gevraagd: $m$ in kg

Berekening: $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 2{,}32 \cdot 10^3 \times 3{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-2} = 69{,}6$ kg

Antwoord: De massa van de gipsplaat is 70 kg.

b Gegeven: $\Delta T = 833 - 53 = 780$ K
$\lambda = 0{,}020$ W m$^{-1}$ K$^{-1}$
$A = 3{,}0 \times 1{,}0 = 3{,}0$ m$^2$
$d = 1{,}0$ cm $= 1{,}0 \cdot 10^{-2}$ m

Gevraagd: $P$ in W

Berekening: $P = \frac{\lambda A \Delta T}{d} = \frac{0{,}020 \times 3{,}0 \times 780}{1{,}0 \cdot 10^{-2}} = 4{,}68 \cdot 10^3$ W

Antwoord: De warmtestroom door de plaat is $4{,}7 \cdot 10^3$ W.

c Temperatuurverschil bij spouw van aerogel: $\Delta T = 17 - -9 = 26$ °C
Temperatuurverschil bij spouw van polystyreen: $\Delta T = 16 - -8 = 24$ °C

Het temperatuurverschil bij de spouw van aerogel is groter: uitspraak 2 is niet waar.

De spouwen zijn even groot en even dik. Toch is het temperatuurverschil bij de spouw van aerogel groter. De warmtestroom is dus niet gelijk: uitspraak 3 is niet waar.

Als polystyreen beter zou isoleren dan aerogel dan zou het temperatuurverschil bij de spouw van polystyreen juist groter zijn dan bij aerogel: uitspraak 4 is dus niet waar.

Een grotere warmtegeleidingscoëfficiënt betekent dat het materiaal warmte beter geleidt, en dat leidt tot een kleiner temperatuurverschil. Uitspraak 1 is dus waar.

**Toetsvoorbereiding**

1 a Gegeven:
$m_{\text{pan}} = 2{,}0\ \text{kg}$
$T_{\text{pan}} = 20\ °\text{C}$
$c_{\text{rvs}} = 0{,}46 \cdot 10^3\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$
$T_{\text{water}} = 5{,}0\ °\text{C}$
$c_{\text{water}} = 4{,}18 \cdot 10^3\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$
$T_{\text{eind}} = 7{,}0\ °\text{C}$

Gevraagd: $V_{\text{water}}$ in L

Berekening: De warmte die de pan afstaat:
$Q_{\text{af}} = c_{\text{rvs}} m_{\text{pan}} \left(T_{\text{pan}} - T_{\text{eind}}\right) = 0{,}46 \cdot 10^3 \times 2{,}0(20 - ,70) = 1{,}20 \cdot 10^4\ \text{J}$
De warmte die het water opneemt:
$Q_{\text{op}} = c_{\text{water}} m_{\text{water}} (T_{\text{eind}} - T_{\text{water}}) = 4{,}18 \cdot 10^3 \times m_{\text{water}}(7{,}0 - 5{,}0) \rightarrow$
$Q_{\text{op}} = 8{,}36 \cdot 10^3 \cdot m_{\text{water}}$
Er gaat geen warmte naar de omgeving:
$Q_{\text{op}} = Q_{\text{af}} \rightarrow 8{,}36 \cdot 10^3 \cdot m_{\text{water}} = 1{,}20 \cdot 10^4 \rightarrow m_{\text{water}} = \frac{1{,}20 \cdot 10^4}{8{,}36 \cdot 10^3} = 1{,}44\ \text{kg}$

Antwoord: De volume water in de pan is $1{,}4\ \text{L}$.

b Als de omgeving op kamertemperatuur is, draagt deze bij aan het opwarmen van het water. Bovendien koelt de pan minder snel af, omdat deze ook warmte opneemt uit de omgeving. De uitkomst bij vraag a is dus groter.

c Gegeven:
$m_{\text{pan}} = 2{,}0\ \text{kg}$
$c_{\text{rvs}} = 0{,}46 \cdot 10^3\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$
$c_{\text{water}} = 4{,}18 \cdot 10^3\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$
$m_{\text{water}} = 1{,}4\ \text{kg}$
$\Delta T = 100 - 7{,}0\ °\text{C} = 93\ °\text{C}$

Gevraagd: $Q$ in J

Berekening: Warmte die de pan opneemt:
$Q_{\text{pan}} = c_{\text{rvs}} m_{\text{pan}} \Delta T = 0{,}46 \cdot 10^3 \times 2{,}0 \times 93 = 8{,}56 \cdot 10^4\ \text{J}$
Warmte die het water opneemt:
$Q_{\text{water}} = c_{\text{water}} m_{\text{water}} \Delta T = 4{,}18 \cdot 10^3 \times 1{,}4 \times 93 = 5{,}44 \cdot 10^5\ \text{J}$
De energie die nodig is:
$E = Q_{\text{pan}} + Q_{\text{water}} = 8{,}56 \cdot 10^4 + 5{,}44 \cdot 10^5 = 6{,}30 \cdot 10^5\ \text{J}$

Antwoord: Er is minimaal $6{,}3 \cdot 10^5\ \text{J}$ aan energie nodig.

d Koper heeft van de metalen in Binas tabel 8 een van de grootste warmtegeleidingscoëfficiënten. Als de bodem van de pan van koper was, zou het water dus sneller opwarmen.

2 a Gegeven: $V_{\text{glas}} = 250\ \text{ml} = 250 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^3$
$t = 5{,}0$ s

Gevraagd: $Q$ in $\text{m}^3\ \text{s}^{-1}$

Berekening: $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{250 \cdot 10^{-6}}{5{,}0} = 5{,}0 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^3\ \text{s}^{-1}$

Antwoord: Het debiet van de uitstromende cola is $5{,}0 \cdot 10^{-5}$ $\text{m}^3$ $\text{s}^{-1}$.

b Gegeven: $Q = \text{m}^3\ \text{s}^{-1}$
$d_{\text{tap}} = 0{,}75\ \text{cm} = 0{,}75 \cdot 10^{-2}\ \text{m}$

Gevraagd: $v$ in $\text{m s}^{-1}$

Berekening: Doorsnede van de tap:
$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{0{,}75 \cdot 10^{-2}}{2}\right)^2 = 4{,}42 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^2$
De snelheid van de cola:
$Q = Av \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{5{,}0 \cdot 10^{-5}}{4{,}42 \cdot 10^{-5}} = 1{,}13\ \text{m s}^{-1}$

Antwoord: De snelheid van de uitstromende cola is 1,1 m $\text{s}^{-1}$.

c Gegeven: $V_{\text{glas}} = 250\ \text{ml} = 250 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^3$
$t = 10$ s
$d_{\text{slokdarm}} = 12\ \text{mm} = 12 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$

Gevraagd: $v$ in $\text{m s}^{-1}$

Berekening: Het debiet:
$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{250 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^3}{10} = 2{,}5 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^3\ \text{s}^{-1}$
Doorsnede van de slokdarm:
$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{12 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 = 1{,}13 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2$
De snelheid van de cola in de slokdarm
$Q = Av \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{2{,}5 \cdot 10^{-5}}{1{,}13 \cdot 10^{-4}} = 0{,}221\ \text{m s}^{-1}$

Antwoord: De snelheid van de cola in de slokdarm is cola is $0{,}22\ \text{m s}^{-1}$.

3 a Het temperatuurverloop verandert bij de overgang van P naar Q.

b De stoffen zijn even dik. De stof die warmte het beste geleidt, heeft de grootste warmtegeleidingscoëfficiënt. Bij een goede warmtegeleiding is het temperatuurverschil aan weerszijde van de stof kleiner. Dat is het geval bij stof Q. Stof Q heeft dus de grootste warmtegeleidingscoëfficiënt.

c Gegeven: $\lambda_{\text{poly}} = 0{,}035\ \text{W m}^{-1}\ \text{K}^{-1}$
$\Delta T_{\text{poly}} = 25 - 18 = 7{,}0\ ^\circ\text{C}$
$\Delta T_{\text{P}} = 18 - 4 = 14\ ^\circ\text{C}$

Gevraagd: $\lambda_{\text{P}}$ in $\text{W m}^{-1}\ \text{K}^{-1}$

Berekening: De warmtestroom is door beide stoffen gelijk:
$P_{\text{poly}} = P_{\text{P}} \rightarrow \frac{\lambda_{\text{poly}} A \Delta T_{\text{poly}}}{d} = \frac{\lambda_{\text{P}} A \Delta T_{\text{P}}}{d} \rightarrow \lambda_{\text{poly}} \Delta T_{\text{poly}} = \lambda_{\text{P}} \Delta T_{\text{P}}$
$\lambda_{\text{P}} = \frac{\lambda_{\text{poly}} \Delta T_{\text{poly}}}{\Delta T_{\text{P}}} = \frac{0{,}035 \times 7{,}0}{14} = 0{,}0175\ \text{W m}^{-1}\ \text{K}^{-1}$

Antwoord: De warmtegeleidingscoëfficiënt van stof P is $0{,}018\ \text{W m}^{-1}\ \text{K}^{-1}$.

d Gegeven: $\lambda_{poly} = 0{,}035 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$\Delta T_{poly} = 25 - 18 = 7{,}0 \text{ °C}$
$A = 1{,}0 \text{ m}^2$
$d_A = d_B = \frac{d_{muur}}{2} = \frac{12}{2} = 6{,}0 \text{ cm} = 0{,}060 \text{ m}$

Gevraagd: $P$ in W

Berekening: De warmtestroom door de muur is gelijk aan de warmtestroom door de stoffen:
$P_{muur} = P_{poly} = \frac{\lambda_{poly} A \Delta T_{poly}}{d} = \frac{0{,}035 \times 1{,}9 \times 7{,}0}{0{,}060} = 4{,}08 \text{ W}$

Antwoord: De warmtestroom door de muur is $4{,}1$ W.

4 -273 °C is het absolute nulpunt, 0 K. Omdat de temperatuur een maat is van de gemiddelde bewegingsenergie van de moleculen, staan de moleculen bij het absolute nulpunt stil. De temperatuur kan dus niet nog verder dalen.

b In de vaste fase zitten de moleculen dicht op elkaar en trillen zij op een vaste plek. In de vloeibare fase, is de ruimte tussen de moleculen groter en bewegen zij langs elkaar heen. De dichtheid is daarom kleiner.

c Als je een gas verwarmt, bewegen de moleculen in het gas sneller waardoor de onderling afstand toeneemt. Het volume neemt dus toe en de dichtheid neemt af. Als de dichtheid van het gas kleiner wordt dan die van lucht stijgt het gas op.

5 a Een voordeel van een houten poolstok is dat hij makkelijk te maken is en dus goedkopen dan een aluminium poolstok. Een nadeel is dat hij zwaarder is en minder elastisch.

b Het materiaal van een poolstok moet sterk, elastisch en licht zijn.

c De vezels moeten in de lengterichting staan. Zo benut je de elasticiteit en sterkte van het materiaal.

6 a Gegeven: $P = 350 \text{ W per m}^2$
$t = 9{,}5 \text{ h}$

Gevraagd: $E$ in J per m$^2$

Berekening: $E = Pt = 350 \times 9{,}5 \cdot 3600 = 1{,}20 \cdot 10^7 \text{ J} = 12 \text{ MJ}$

Antwoord: Er valt 12 MJ aan warmte per vierkante meter water.

b Gegeven: $V = 2{,}0 \times 1{,}5 \times 0{,}60 = 1{,}8\ \mathrm{m^3}$
$A = 2{,}0 \times 1{,}5 = 3{,}0\ \mathrm{m^2}$
$T_{\mathrm{water}} = 6{,}0\ °\mathrm{C}$
$c_{\mathrm{water}} = 4{,}18 \cdot 10^3\ \mathrm{J\ kg^{-1}\ K^{-1}}$
$\rho_{\mathrm{water}} = 0{,}998 \cdot 10^3\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$
$Q = 12\ \mathrm{MJ} = 12 \cdot 10^6\ \mathrm{J}$ per $\mathrm{m^2}$

Gevraagd: $\Delta T$ in °C

Berekening: Totale warmte die het water opneemt:
$Q_{\mathrm{tot}} = Q \cdot A = 12 \cdot 10^6 \times 3{,}0 = 36 \cdot 10^6\ \mathrm{J}$
De massa van het water:
$m_{\mathrm{water}} = \rho V = 0{,}998 \cdot 10^3 \times 1{,}8 = 1{,}80 \cdot 10^3\ \mathrm{kg}$
De temperatuurstijging:
$Q_{\mathrm{tot}} = c_{\mathrm{water}} m_{\mathrm{water}} \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{Q_{\mathrm{tot}}}{c_{\mathrm{water}} m_{\mathrm{water}}} = \frac{36 \cdot 10^6}{4{,}18 \cdot 10^3 \times 1{,}80 \cdot 10^3} = 4{,}78\ °\mathrm{C}$

Antwoord: De temperatuur van het water is met $4{,}8\ °\mathrm{C}$ gestegen.

7 a Gegeven: $V = 25{,}5 \cdot 10^9\ \mathrm{m^3}$ per jaar

Gevraagd: $Q$ in $\mathrm{m^3\ s^{-1}}$

Berekening: $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{25{,}5 \cdot 10^9}{1 \times 365{,}25 \times 24 \times 3600} = 808{,}0\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$

Antwoord: Het debiet is $808\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$.

b Het gas wordt samengeperst, waardoor het volume 250 keer kleiner wordt. De volume gas dat per seconde door de leiding gaat, het debiet, is dus ook 250 kleiner.

c Gegeven: $Q = \frac{808}{250} = 3{,}232\ \mathrm{m^3\ s^{-1}}$ bij 250 bar
$d = 1{,}12\ \mathrm{m}$

Gevraagd: $v$ in $\mathrm{m\ s^{-1}}$

Berekening: De doorsnede van de pijpleiding:
$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{1{,}12}{2}\right)^2 = 0{,}9852\ \mathrm{m^2}$
De snelheid:
$Q = Av \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{3{,}232}{0{,}9852} = 3{,}281\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

Antwoord: De snelheid van het gas door de pijpleiding is $3{,}28\ \mathrm{m\ s^{-1}}$.

d Gegeven: $l = 1287\ \mathrm{km} = 1287 \cdot 10^3\ \mathrm{m}$
$A = 0{,}9852\ \mathrm{m^2}$
$\rho = 180\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$

Gevraagd: $m$ in kg

Berekening: Het volume van de pijpleiding
$V = Al = 0{,}9852 \times 1287 \cdot 10^3 = 1{,}268 \cdot 10^6\ \mathrm{m^3}$
De massa gas:
$m = \rho V = 180 \times 1{,}268 \cdot 10^6 = 2{,}282 \cdot 10^8\ \mathrm{kg}$

Antwoord: De massa van het gas is $2{,}28 \cdot 10^8\ \mathrm{kg}$.

8 a Een koolstofatoom heeft vier bindingselektronen. Bij de fullerenen is de structuur zo dat elk atoom maar drie bindingen aangaat met een buuratoom. Er is dus per koolstofatoom één vrij elektron. Het meest geschikt voor stroomgeleiding is dus $C_{540}$.

b $C_{540}$ heeft de grootste binnenruimte en is dus het meest geschikt om grote moleculen te vervoeren.