

## Uitwerkingen opgaven leerboek

### 3.1 INTRODUCTIE

#### Opgave 1

- a Een molecuul is opgebouwd uit atomen. Een atoom bestaat uit een kern met daaromheen elektronen.
- b Er zijn met de ruim 100 verschillende atomen heel veel combinaties te maken, en dus heel veel verschillende moleculen te 'bouwen'.

#### Opgave 2

- a De fasen waarin een stof kan voorkomen zijn vast, vloeibaar en gasvormig.
- b Het water in sneeuw en ijs is in de vaste fase.
- c In vloeibaar water kunnen de watermoleculen langs elkaar bewegen, in sneeuw en ijs zitten ze aan elkaar vast. Maar de watermoleculen zijn in beide fasen wel gelijk.

#### Opgave 3

- a Bij mist is het water in de vloeibare fase.
- b Bij wolken zie je de vloeibare fase (waterdruppels) en de vaste fase (sneeuw).
- c Voorbeelden uit de natuur waarbij water in vaste toestand aanwezig is zijn ijs, sneeuw en rijp.

### 3.2 FASEOVERGANGEN EN DICHTHEID

#### Opgave 4

- a Niet waar: Zelfs grote moleculen kun je niet zien met een lichtmicroscop.
- b Waar
- c Waar
- d Niet waar: Verdampen is de faseovergang van vloeibaar naar gasvormig. Van vast naar gasvormig heet sublimeren.
- e Niet waar, net andersom: De dichtheid van een stof is de massa (in kg) van 1 kubieke meter van die stof.
- f Waar
- g Waar
- h Waar
- i Waar
- j Niet waar: Door de kristalstructuur van ijs is de dichtheid van ijs kleiner dan die van water, en blijft ijs drijven op water.
- k Niet waar: De moleculen blijven intact maar komen een beetje los van elkaar, waardoor ze in de gesmolten fase makkelijk langs elkaar kunnen bewegen.
- l Niet waar: Lucht bestaat uit verschillende gassen en elk gas bestaat uit moleculen. Tussen de moleculen van een gas zit helemaal niets.
- m Niet waar: Moleculen in een vaste stof trillen om een vaste positie.

#### Opgave 5

- a De temperatuur daalt dus er wordt energie onttrokken aan de stof.
- b Bij de laagste temperatuur staan de moleculen stil, en langzamer dan stilstaan kan niet. Er is geen hoogste temperatuur, omdat de moleculen altijd nog sneller kunnen bewegen. (In theorie dan, want in werkelijkheid gaan de moleculen stuk door onderlinge botsingen als de temperatuur van het gas te hoog is.)
- c Het absolute nulpunt ligt bij  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- d Ja, die bewering klopt. Een graad kelvin is even 'lang' als een graad Celsius.

## Opgave 6

- a De vloeistof in een vloeistofthermometer zet uit, waardoor het vloeistofniveau in de gewone vloeistofthermometer omhoog gaat.
- b Het volume wordt groter en de massa blijft gelijk. Dan is de dichtheid van de stof kleiner.
- c De uitzetting van het glas is kleiner dan de uitzetting van de vloeistof, want het vloeistofniveau in de buis stijgt.
- d Als de temperatuur stijgt, zet de vloeistof in de buis uit (de dichtheid neemt af). De glazen bollen zetten minder uit en worden relatief zwaarder, waardoor ze naar beneden zakken.

## Opgave 7

- a Door de kristalstructuur zitten de watermoleculen bij ijs op een zodanige manier aan elkaar vast dat er meer ruimte tussen de moleculen zit dan bij water. Daardoor is het volume groter en de dichtheid kleiner.
- b Bij waterdamp is de afstand tussen de moleculen veel groter dan die bij water in de vloeistoffase. Tussen de moleculen in waterdamp bevindt zich veel lege ruimte, dus is de dichtheid van waterdamp veel kleiner dan die van water.
- c Bij ijs zitten de moleculen stevig aan elkaar vast. Voor het verbreken van die kracht is energie nodig.
- d Bij verdampen is de snelheid van de moleculen zo groot dat ze uit het wateroppervlak 'ontsnappen'. Er is energie voor nodig om de moleculen die grote snelheid te geven.

## Opgave 8

- a In de band botsen meer luchtmoleculen per  $\text{cm}^2$  tegen de wand omdat er ook meer luchtmoleculen in één  $\text{cm}^3$  zitten dan in de buitenlucht. Dus is de dichtheid van de lucht in de band is groter dan de dichtheid van de buitenlucht.
- b Als de temperatuur stijgt, gaan de moleculen sneller bewegen. Ze botsen daardoor vaker en harder tegen de binnenkant van de band en dat betekent dat de druk groter wordt.
- c Meer lucht in de band betekent dat er op elke  $\text{cm}^2$  van de band meer moleculen botsen. Dan neemt de kracht (de druk) op de band toe.

## Opgave 9

- a Bij smelten worden de vaste verbindingen tussen de deeltjes verbroken en gaan de deeltjes langs elkaar bewegen. Voor het verbreken van die verbindingen is energie nodig. Bij verdampen is veel energie nodig om de aantrekkende krachten tussen de deeltjes te verbreken en de deeltjes een hogere snelheid te geven. De snellere moleculen hebben dan genoeg snelheid om uit de vloeistof te ontsnappen.
- b Stollen en condenseren zijn de omgekeerde processen van smelten en verdampen. De energie die eerder aan de stof is toegevoegd komt nu vrij.
- c Bij een gas is er veel lege ruimte tussen de moleculen. Een  $\text{m}^3$  gas bevat dan minder moleculen, en heeft een kleinere massa dan een  $\text{m}^3$  vloeistof, dus is de dichtheid van een gas veel kleiner dan die van een vloeistof.

## Opgave 10

- a  $293 - 273 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- b  $-70 + 273 = 203 \text{ K}$
- c Het temperatuurverschil is  $20 - 12 = 8 \text{ }^\circ\text{C} = 8 \text{ K}$ .

## Opgave 11

- a  $1 \text{ m}^3$  koper heeft een massa van  $8,96 \cdot 10^3 \text{ kg}$  en  $1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$ . Dan is de massa van  $1 \text{ cm}^3$  koper:  
$$\frac{8,96 \cdot 10^3}{10^6} = 8,96 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 8,96 \text{ g}$$
- b  $\rho_{\text{koper}} = 8,96 \text{ g/cm}^3$  en  $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V_{\text{koper}} = \frac{m_{\text{koper}}}{\rho_{\text{koper}}} = \frac{150}{8,96} = 16,74 = 16,7 \text{ cm}^3$

- c Het zilveren beeldje heeft hetzelfde volume en  $\rho_{\text{zilver}} = 10,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 = 10,5 \text{ g/cm}^3$ , de dichtheid is  $\frac{10,5}{8,96} \times$  zo groot, dus is de massa dat ook:  $m_{\text{zilver}} = \frac{10,5}{8,96} \times 150 = 176 \text{ g}$   
 Of:  $m_{\text{zilver}} = V_{\text{zilver}} \cdot \rho_{\text{zilver}} = 16,74 \times 10,5 = 176 \text{ g}$

### Opgave 12

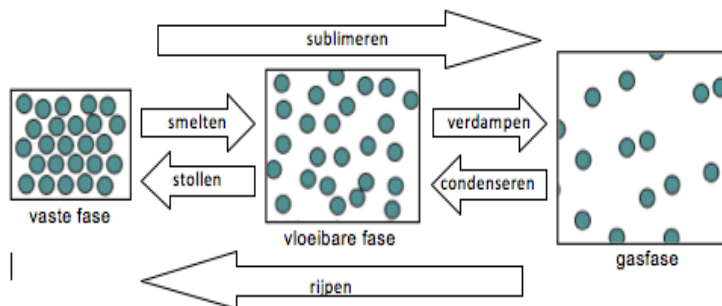
- a  $V = 0,30 \times 0,30 \times 0,30 = 0,027 \text{ m}^3$   
 b  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,675}{0,027} = 25 \text{ kg/m}^3$   
 c  $\rho_{\text{water}} = 0,9982 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  dus  $m = \rho \cdot V = 998,2 \times 0,027 = 27 \text{ kg}$

### Opgave 13

- a  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  is hetzelfde als  $\text{kg/m}^3$ . De massa van  $1 \text{ m}^3$  is 600 kg.  
 b Er geldt:  $1 \text{ m}^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3$ . De massa van  $1 \text{ cm}^3$  chips is  $\frac{600}{1\,000\,000} = 0,000600 \text{ kg} = 0,600 \text{ gram}$   
 c  $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V_{\text{chips}} = \frac{m_{\text{chips}}}{\rho_{\text{chips}}} = \frac{0,300}{600} = 5,00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 500 \text{ cm}^3$   
 d Dan zit er  $5,0 \cdot 10^3 - 500 = 4,5 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$  lucht in de zak, dat is  $\frac{4,5 \cdot 10^3}{5,0 \cdot 10^3} \times 100\% = 90\%$ .

### Opgave 14

a



- b Ijs, sneeuw, rijp en ijzel zijn vast. Mist en stoom zijn vloeibaar.  
 c Bij de faseovergang 'rijpen' ontstaan sneeuw en rijp.  
 d Bij de faseovergang 'stollen' ontstaan ijs en ijzel.  
 e Bij de faseovergang 'condenseren' ontstaat mist.  
 f Bij de faseovergang 'sublimeren' gaat ijs rechtstreeks over in waterdamp.

### Opgave 15

- a De waterdruppels ontstaan uit waterdamp in de lucht.  
 b De waterdruppels ontstaan door 'condenseren'.  
 c De warmte wordt opgenomen door het koude glas limonade. Dat warmt daardoor langzaam op.

### Opgave 16

- a  $\text{m}^{-3} = \frac{1}{\text{m}^3}$  dus  $\text{kg m}^{-3} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Een dichtheid van  $2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  betekent dat elke kubieke meter van die stof een massa van 2 kg heeft, of een halve kubieke meter heeft een massa van 1 kg.  
 b 1 liter =  $1 \text{ dm}^3 = 0,001 \text{ m}^3$ . Je deelt nu de gewogen massa in kg door  $0,001 \text{ m}^3$ .  
 c  $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{5,0}{0,92 \cdot 10^3} = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 5,4 \text{ L}$   
 d Bijvoorbeeld: lengte lokaal 10 m, breedte lokaal 10 m, hoogte lokaal 2,5 m.  
 Het volume is dan  $V = 10 \times 10 \times 2,5 = 250 \text{ m}^3$  en de massa is  $m = \rho \cdot V = 1,3 \times 250 = 3,3 \cdot 10^2 \text{ kg}$ .

## Opgave 17

- a Bij de faseovergangen condenseren en stollen komt warmte vrij.
- b Verdamping zorgt voor de koeling van de producten in de koelkast.
- c De vloeibare fase van de koelstof is na de compressor, dus aan de buitenkant van de koelkast.
- d Bij condenseren komt warmte vrij, dus is de temperatuur van de koelstof in de vloeibare fase hoger dan die in de gasfase (daarnaast voegt de compressor tijdens het samenpersen energie toe).

## Opgave 18

- a  $E = P \cdot t$  geeft:  $500 \cdot 10^3 = 1700 \times t \rightarrow t = \frac{500 \cdot 10^3}{1700} = 294$  s. Dat is bijna vijf minuten.
- b  $E = P \cdot t = 1,5 \times 2,26 = 3,4$  MJ =  $3,4 \cdot 10^6$  J
- c  $E = P \cdot t$  geeft:  $3,39 \cdot 10^6 = 1700 \times t \rightarrow t = \frac{3,39 \cdot 10^6}{1700} = 1994$  s. Dat is 33 minuten.

## 3.3 VERWARMEN

### Opgave 19

- a Waar
- b Niet waar. Bij een warmtepomp wordt warmte van buiten naar binnen verplaatst met een koelmiddel.
- c Niet waar. De eenheid van soortelijke warmte is joule per kilogram per kelvin: J/(kg·K).
- d Waar
- e Niet waar. De eenheid van debiet is kubieke meter per seconde.
- f Waar
- g Niet waar. Bij een zonnepaneel wordt stralingsenergie omgezet in elektriciteit.

### Opgave 20

- a  $\text{kg}^{-1} = \frac{1}{\text{kg}}$  en  $\text{K}^{-1} = \frac{1}{\text{K}}$ . De soortelijke warmte van een stof is de energie (in joule) die je moet toevoeren aan 1 kg van die stof om deze stof een temperatuurstijging van 1 K te geven.
- b Dat kost 50x zoveel energie als voor 1 graad temperatuurstijging bij 1 kg, dus:  
 $50 \times 0,75 \cdot 10^3 = 3,8 \cdot 10^4$  J = 38 kJ
- c Dat kost 5,0x zoveel energie als voor 1 graad temperatuurstijging bij 50 kg, dus:  $5,0 \times 3,8 \cdot 10^4 = 1,9 \cdot 10^5$  J.

### Opgave 21

- a  $\text{m}^3 \text{s}^{-1} = \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ . De eenheid  $\text{m}^3/\text{s}$  geeft aan hoeveel kubieke meter water per seconde door een buis stroomt.
- b 0,36 L/s is elke seconde 0,36 liter water. Een uur heeft 3600 seconden, dus moet je het debiet vermenigvuldigen met 3600 om te berekenen hoeveel liter warm water de ketel in een uur levert.
- c Bij een goed geïsoleerd huis hoeft de verwarming minder warmte te leveren. Dan hoeft er ook minder warm water door de leidingen te stromen, dus mag het debiet lager zijn
- d Bij lage-temperatuur-verwarming is de temperatuur van het water lager. Dan transporteert het water minder energie per liter en is dus een groter debiet nodig om per seconde evenveel warmte te verplaatsen.

### Opgave 22

- a Het kampvuur verwarmt de lucht. De convectieve stroming ontstaat doordat de warme lucht lichter is en opstijgt.
- b De mensen bij het kampvuur worden met stralingswarmte verwarmd.
- c Bij radiatorenverwarming stroomt de warmte via de leidingen naar de radiatoren. Boven de radiator stijgt warme lucht op. Die lucht circuleert door de hele kamer.
- d Als je je hand voor de radiator houdt, dan voel je de stralingswarmte aan de ene zijde van je hand. Net zoals wanneer je je hand in het zonlicht houdt.

## Opgave 23

- a De camera meet de infraroodstraling. Een hogere lichaamstemperatuur betekent meer infraroodstraling.
- b Een slecht geïsoleerde woning heeft aan de buitenzijde een hogere temperatuur. De plekken die slecht geïsoleerd zijn, zullen op het camerabeeld een andere kleur hebben. Bovendien zie je op welke plaatsen warmte naar buiten lekt.

## Opgave 24

- a Voor verdampen is energie nodig, dus dat wordt gebruikt om warmte op te nemen. Dat is aan de opnamekant.
- b Voor verdampen is energie nodig om de krachten tussen de moleculen te verbreken. Die energie komt weer vrij als de moleculen dicht bij elkaar worden geperst en condenseren. Bij condenseren komt dus warmte vrij.

## Opgave 25

- a Koelmiddel wordt gebruikt als transportmiddel in de warmtepomp. Water is het transportmiddel in de cv-installatie in huis.
- b In de warmtewisselaar wordt de warmte van het koelmiddel afgestaan aan het water.

## Opgave 26

- a De ingaande energie is de elektrische energie om de pomp te laten draaien. De nuttige energie is de warmte die afgegeven wordt aan de cv-installatie.
- b De geleverde warmte bestaat uit de omgezette elektrische energie plus de warmte uit de buitenlucht en is dus groter dan de ingaande (elektrische) energie.

## Opgave 27

- a Bij een zonnepaneel wordt stralingsenergie omgezet in elektrische energie. Bij een zonneboiler wordt stralingsenergie omgezet in warmte.
- b Bij een zonnepaneel wordt slechts een klein deel van de energie omgezet in elektriciteit. Bij een zonneboiler wordt een groot deel van de energie omgezet in warmte. Het rendement van een zonneboiler is dus groter dan dat van een zonnepaneel.
- c Bij een zonneboiler wordt de energie opgeslagen in het water.
- d Bij een zonneboiler wordt het warme water pas later gebruikt om bijvoorbeeld te douchen. Bij een zonnepaneel kan de elektriciteit direct terug geleverd worden aan het elektriciteitsnet.

## Opgave 28

- a Met de soortelijke warmte van een stof kun je berekenen hoeveel energie er nodig is om deze stof op te warmen. Je moet dan de soortelijke warmte vermenigvuldigen met de massa van de stof en de te bereiken temperatuurstijging.
- b Het debiet hangt af van de stroomsnelheid en de oppervlakte van de doorsnede van de buis.
- c Voor verdampen is energie nodig. Daarmee kan warmte opgeslagen worden. Bij condenseren komt die warmte weer vrij. Daarmee kan warmte getransporteerd worden.

## Opgave 29

- a  $E = P \cdot t = 1,7 \cdot 10^3 \times 4,5 \times 60 = 4,6 \cdot 10^5 \text{ J}$
- b  $1,50 \text{ L water} = 1,50 \text{ kg}$ .  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \times 1,50 \times (88 - 20) = 4,3 \cdot 10^5 \text{ J}$ .
- c Elektrische energie =  $4,6 \cdot 10^5 \text{ J} = 100\%$ . Dan is het rendement  $\frac{4,3 \cdot 10^5}{4,6 \cdot 10^5} \times 100\% = 93 \%$ .
- d De waterkoker warmt zelf ook op, dus niet alle warmte wordt nuttig gebruikt (voor het water verwarmen).

## Opgave 30

- a  $r = \frac{d}{2} = \frac{0,018}{2} = 0,0090 \text{ m} \rightarrow A = \pi \cdot r^2 = \pi \times 0,0090^2 = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- b  $Q = A \cdot v = 2,5 \cdot 10^{-4} \times 0,50 = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 0,13 \text{ L/s}$

- c Er kan geen water weglekken, dus door de smalle buis stroomt per seconde evenveel water als door de brede buis. Het debiet is dus gelijk.
- d Nu is  $A = \pi \cdot r^2 = \pi \times \left(\frac{0,012}{2}\right)^2 = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ . Invullen in  $Q = A \cdot v$  geeft  $v = \frac{Q}{A} = \frac{1,3 \cdot 10^{-4}}{1,13 \cdot 10^{-4}} = 1,1 \text{ m/s}$

### Opgave 31

- a  $0,12 \text{ L} = 0,00012 \text{ m}^3$  dus er stroomt  $0,00012 \text{ m}^3$  water per seconde door de buis.
- b  $Q = A \cdot v \rightarrow 0,00012 = A \times 0,50 \rightarrow A = \frac{0,00012}{0,50} = 0,00024 \text{ m}^2$ . Invullen bij  $A = \pi \cdot r^2 \rightarrow$   
 $r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,00024}{\pi}} = 0,00874 \text{ m} \rightarrow d = 2 \times 0,00874 = 0,018 \text{ m} = 18 \text{ mm}$
- c De dichtheid van water is  $1,0 \text{ kg/L}$  dus de massa van  $0,12 \text{ L}$  water is  $m = 0,12 \text{ kg}$ .  
 Dan is  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \times 0,12 \times 50 = 2,5 \cdot 10^4 \text{ J}$ . Het vermogen is dus  $2,5 \cdot 10^4 \text{ W}$  (25 kW).

### Opgave 32

- a  $Q_{\text{staal}} = c_{\text{staal}} \cdot m \cdot \Delta T = 0,50 \cdot 10^3 \times 0,80 \times (100 - 20) = 3,2 \cdot 10^4 \text{ J} = 32 \text{ kJ}$
- b De soortelijke warmte van water is  $4180 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$  en  $1,8 \text{ L}$  water heeft een massa van  $1,8 \text{ kg}$ .  
 $Q_{\text{water}} = c_{\text{water}} \cdot m \cdot \Delta T = 4180 \times 1,8 \times (100 - 20) = 6,02 \cdot 10^5 \text{ J}$   
 De totale benodigde warmte is  $Q_{\text{staal}} + Q_{\text{water}} = 3,2 \cdot 10^4 + 6,02 \cdot 10^5 = 6,34 \cdot 10^5 \text{ J} = 0,63 \text{ MJ}$
- c Bij een rendement van 40% is er  $\frac{6,34 \cdot 10^5}{0,40} = 1,58 \cdot 10^6 \text{ J}$  energie nodig om de pan met water te verwarmen.  
 Dat duurt dus  $t = \frac{E}{P} = \frac{1,58 \cdot 10^6}{3,6 \cdot 10^3} = 440 \text{ s} = 7,3 \text{ min}$
- d Als Jaap een deksel op de pan doet, kan het verdampende water niet ontsnappen uit de pan. Het condenseert tegen het deksel en valt terug in het water, zodat de warmte in de pan blijft.

### Opgave 33

- a De dichtheid van ijzer is  $7,87 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  en  $V = 0,10 \times 0,10 \times 0,0010 = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$   
 dus  $m = 7,87 \cdot 10^3 \times 1,0 \cdot 10^{-5} = 0,0787 \text{ kg} = 7,9 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$ .
- b  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \times 0,050 \cdot 10^{-3} \times 80 = 17 \text{ J}$
- c De totaal benodigde warmte is:  $Q = 10 \times (17 + 113) = 1300 \text{ J}$ . De soortelijke warmte van ijzer is  $460 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ .  
 Invullen in  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T \rightarrow 1300 = 460 \times 0,0787 \times \Delta T$  dus  $\Delta T = \frac{1300}{460 \times 0,0787} = 36 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Opgave 34

- a Een warmtepomp levert water met een minder hoge temperatuur dan een gasgestookte ketel, hierdoor kan het huis met dezelfde radiatoren minder goed verwarmd worden.
- b De radiatoren moeten evenveel warmte kunnen uitstralen, maar de temperatuur is lager. Dan moet het oppervlak groter zijn.
- c Bij vloerverwarming en muurverwarming is er een groot oppervlak dat bij lagere temperatuur warmte afgeeft aan de ruimte.
- d Als het buiten stevig gaat vriezen is het temperatuurverschil groter en wordt de COP kleiner.
- e Als de woning niet goed geïsoleerd is, is het moeilijk de woning warm te krijgen als het vriest. Want dan is de COP kleiner en levert de pomp minder warmte, terwijl bij strenge vorst juist meer warmte nodig is.

### Opgave 35

- a De COP staat voor *Coefficient of Performance*, ofwel de prestatiecoëfficiënt. De waarde 4,0 geeft aan dat de geleverde warmte 4,0 keer zo groot is als de gebruikte elektrische energie.
- b Een  $\text{m}^3$  aardgas levert  $30 \text{ MJ}$  warmte. Een warmtepomp verbruikt daarvoor  $\frac{30 \text{ MJ}}{4,0} = 7,5 \text{ MJ}$  elektrische energie.
- c  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ , dus  $7,5 \text{ MJ} = \frac{7,5}{3,6} = 2,08 \text{ kWh}$ . Dat kost  $2,08 \times \text{€ } 0,46 = \text{€ } 0,96$  euro.  $1 \text{ m}^3$  aardgas kost  $\text{€ } 2,20$  dus is verwarmen met een warmtepomp goedkoper dan met aardgas.
- d Als het vriest is de warmteafgifte minder (lagere COP). Dan verbruikt de warmtepomp meer elektrische energie voor dezelfde hoeveelheid warmte.

## Opgave 36

- a Een COP van 5,0 betekent dat de afgegeven warmte 5,0 keer zo groot is als de gebruikte elektrische energie. De pomp verbruikt maximaal 4,0 kJ per seconde, dus de afgegeven warmte is maximaal  $5,0 \times 4,0 = 20$  kJ/s.
- b Bij een groter temperatuurverschil werkt de warmtepomp minder efficiënt. De COP is dan lager.
- c Het maximale elektrische vermogen van de pomp is 4,0 kW en de COP is bij  $-10$  °C gedaald naar 2,5, dus de maximale warmte die de pomp kan leveren is  $2,5 \times 4,0 = 10$  kJ/s.
- d Bij  $-10$  °C moet het (geleverde) vermogen twee keer zo groot zijn dan bij een buitentemperatuur van 5 °C. Dat is  $2 \times 8,0 = 16$  kW. Het maximale geleverde vermogen van deze warmtepomp bij  $-10$  °C is 10 kW, terwijl 16 kW nodig is. De woning kan dus niet warm gehouden worden.

## 3.4 ISOLEREN

### Opgave 37

- a Waar
- b Niet waar: De eenheid van warmtestroom is joule per seconde (watt = joule per seconde).
- c Waar
- d Waar
- e Waar. Goede geleiders geven veel warmte naar buiten door.
- f Waar
- g Waar
- h Niet waar: Bij het verwarmen van een kamer met een radiator wordt de warmte door straling, stroming en geleiding getransporteerd naar de kamer.

### Opgave 38

- a Metaal is een betere warmtegeleider dan hout. De warmte van je hand wordt dan sneller afgevoerd. Dan daalt de temperatuur van de huid sneller en dat voel je.
- b Je tong vriest vast aan de ijzeren brugleuning door de grote warmtegeleiding van ijzer. Hierdoor wordt de warmte van je tong zo snel afgevoerd dat het water in en op je tong snel befrist. De bloedvaten in je tong kunnen de warmte niet snel genoeg aanvoeren om je tong te ontdooien. De warmtegeleiding van steen is veel kleiner.

### Opgave 39

- a Het materiaal van de koelbox is een slechte warmtegeleider. Het is de bedoeling dat er geen warmte naar binnen 'lekt'.
- b Het materiaal van het dekbed is een slechte warmtegeleider. Het is de bedoeling dat er geen lichaamswarmte 'weglekt'.
- c In lucht zitten de deeltjes ver van elkaar, waardoor ze de warmte moeilijk doorgeven. Lucht is dus een goede isolator, die voorkomt dat de warmte wordt doorgegeven.
- d Je kunt deze materialen het best vergelijken met de vacht van een ijsbeer, daar zit ook veel lucht in.
- e Bij spek zijn de onderlinge krachten tussen de deeltjes zwak en dan worden de trillingen minder goed doorgegeven.

### Opgave 40

- a Bij een heteluchtoven is stroming de belangrijkste vorm van warmtetransport.
- b Bij een magnetron is (radio)straling de belangrijkste vorm van warmtetransport.
- c Bij een broodrooster is (warmte)straling de belangrijkste vorm van warmtetransport.
- d Bij een pan op het vuur is geleiding van de bodem van de pan de belangrijkste vorm van warmtetransport.

### Opgave 41

- a Het neopreen geleidt de warmte slecht door de vele kleine luchtbelletjes in het materiaal.
- b Als het wetsuit te ruim is, zal er veel koud water in het pak op je huid komen. En de afsluiting bij handen, voeten en hals zal ook minder goed zijn, waardoor er alsmaar nieuw koud water binnen kan komen.

## Opgave 42

- a Metalen zijn goede warmtegeleiders. Dan wordt de warmte vanuit de processor snel afgevoerd.
- b Als de heatsink warm wordt, zal deze warmtestraling afgeven. Ook stroomt er lucht tussen de ribbels van de heatsink, waarbij de heatsink zijn warmte afgeeft aan de lucht.

## Opgave 43

- a Door de aluminiumfolie wordt de warmtestraling van de atleet direct weer gereflecteerd naar de atleet toe. Zo verliest de atleet geen warmte door straling. Bovendien houdt de folie verdamping van zweet tegen, waardoor ook die afkoeling tegengegaan wordt.
- b In de winter zorgt dit metaallaagje ervoor dat de infrarode uitstraling van de binnenste ruit teruggekaatst wordt, zodat de buitenste ruit minder warm wordt en daardoor minder warmte uitstraalt dan zonder de coating. En in de zomer weerkaatst het de metaalcoating de straling van de zon, waardoor het binnenshuis minder warm wordt dan zonder coating.
- c Glaswol voorkomt vooral warmteverlies door geleiding. Het laagje aluminium houdt ook warmtestraling tegen.

## Opgave 44

- a Een voorbeeld van warmteverlies door stroming is een openstaand raam. Of de kieren bij deuren en ramen.
- b Warmteverlies door stroming is te verminderen door tochtstrips aan te brengen bij kieren.
- c Warmteverlies door geleiding vindt bijvoorbeeld plaats bij (massieve) muren
- d Warmteverlies door geleiding is te verminderen door het aanbrengen van isolatiematerialen.
- e Als de totale warmtestroom groter is dan het vermogen van de verwarming, verdwijnt er netto energie uit de woning en daalt de temperatuur.

## Opgave 45

- a De warmtestroom is de hoeveelheid energie (in joule) die er per seconde weglekt door bijvoorbeeld een muur.
- b Er lekt die dag gemiddeld 5,5 kJ per seconde weg, dus om uit te rekenen wat er op de hele dag weglekt moet je dit vermenigvuldigen met het aantal seconden dat er in een dag zit.
- c De verwarming moet die dag evenveel warmte aanleveren als er weglekt op die dag.  
Dus:  $24 \times 60 \times 60 \times 5,5 \cdot 10^3 = 4,8 \cdot 10^8 \text{ J}$

## Opgave 46

- a
  - Bij warmtegeleiding wordt de trillingsenergie van een deeltje doorgegeven aan naburige deeltjes.
  - Bij warmtestroming bewegen de deeltjes gemiddeld eenzelfde kant op en nemen de warmte (als extra bewegingsenergie) met zich mee.
  - Bij warmtestraling wordt de warmte niet doorgegeven of meegenomen door de deeltjes; warmtestraling is elektromagnetische straling.
- b De warmtegeleiding is kleiner als de onderlinge binding tussen de deeltjes kleiner is. Zachte materialen zijn slechtere warmtegeleiders. En stilstaande lucht (of een ander gas) is een slechte geleider.
- c Een coating of een aluminium laag spiegelt de warmtestraling terug de ruimte in en vermindert zo het verlies aan warmtestraling. Een coating weerkaatst infraroodstraling, maar laat licht door.
- d De warmtestroom is de warmte die per seconde de woning verlaat (door het dak, de ramen en de muren).
- e De warmtestroom door een muur bereken je met de formule  $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$ . Daarbij is  $P$  de warmtestroom (in W),  $\lambda$  de warmtegeleidingscoëfficiënt (in  $\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ ),  $A$  de oppervlakte van de wand (in  $\text{m}^2$ ),  $\Delta T$  het temperatuurverschil (in K of  $^{\circ}\text{C}$ ) tussen beide zijden van de wand en  $d$  de dikte van de wand (in m).



## Opgave 47

- a Bij warmtestroom door een wand gaat het om geleiding.
- b Als het buiten kouder is, dan is  $\Delta T$  groter, en dan is de warmtestroom  $P$  groter. Dan verdwijnt er elke seconde meer energie naar buiten. Om de temperatuur constant te houden, moet de verwarming ook meer warmte afgeven (namelijk evenveel als dat er verdwijnt).
- c Als de warmtestroom door de muur drie keer zo klein wordt, dan is het benodigde vermogen van de kachel ook drie keer zo klein. De kosten dalen dan tot 33% van de oorspronkelijke kosten. De besparing is 67%.

## Opgave 48

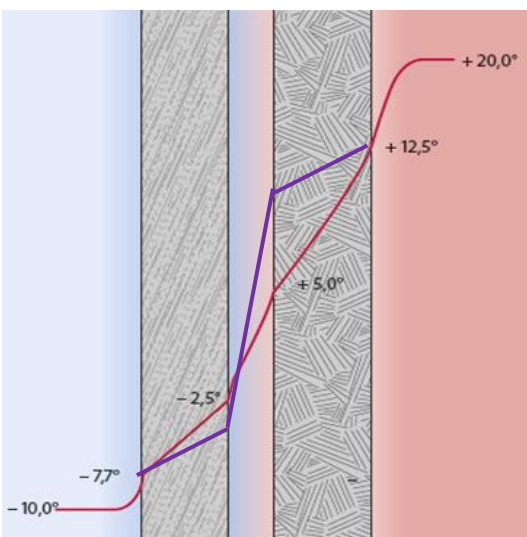
- a Een niet geïsoleerde wand geleidt de warmte goed, dus de warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  is groot.
- b In de formule  $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$  is  $P$  groter, maar  $\lambda$  is ook groter. Dan kan  $\Delta T$  kleiner zijn.
- c De warmteafgifte aan de buitenkant van de muur gaat vooral via straling. Geleiding via de lucht gaat langzaam (tenzij het flink waait).

## Opgave 49

- a 0,50 L water heeft een massa van 0,50 kg dus de warmte die uit het water is verdwenen is:  
 $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \times 0,50 \times 4,0 = 8360 \text{ J}$ .  
 Per seconde is dat  $\frac{8360}{5,0 \times 60} = 28 \text{ J}$ . De gemiddelde warmtestroom is dus 28 W.
- b Als het water verder is afgekoeld is  $\Delta T$  kleiner, daardoor neemt de warmtestroom af.

## Opgave 50

- a De warmtestroom is in de richting van de lagere temperatuur, dus van rechts naar links (van binnen naar buiten).
- b De warmte kan zich niet tussen twee lagen in 'verzamelen', de lucht in de spouw wordt niet warmer of kouder. De instroom van warmte in de spouw is elke seconde even groot als de uitstroom, dus moet de warmtestroom door elke laag even groot zijn.
- c Schuim isoleert, dus het heeft een kleine warmtegeleidingscoëfficiënt.
- d Door de isolatie wordt de warmtestroom  $P$  kleiner.
- e De warmtestroom  $P$  is kleiner, terwijl  $\lambda$ ,  $d$  en  $A$  bij de andere lagen gelijk blijven.  $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$  dus dan moet  $\Delta T$  kleiner zijn.
- f Het temperatuurverschil over de spouwmuur zal groter zijn, dus loopt de lijn in de spouwmuur steiler. De lijnen lopen minder steil in de andere lagen.



## Opgave 51

- a In de buitenste muur is  $\Delta T = -2,5 - (-7,7) = 5,2 \text{ }^\circ\text{C}$  en we nemen  $A = 1 \text{ m}^2 \rightarrow$   

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 0,6 \times 1 \times \frac{5,2}{0,105} = 30 \text{ W per vierkante meter.}$$
- b Er kan tussen de muur en de spouw geen warmte bijkomen of verdwijnen, dus moet de warmtestroom door de luchtlaag ook  $30 \text{ W/m}^2$  zijn.
- c Volgens figuur 21 is voor de luchtlaag:  $\Delta T = 5,0 - (-2,5) = 7,5 \text{ }^\circ\text{C}$  dus groter dan bij de bakstenen muur. Ook is duidelijk te zien dat de dikte  $d$  van de spouw kleiner is dan de dikte van de bakstenen muur. Dus is  $\left(\frac{\Delta T}{d}\right)$  groter bij de spouw. Om in de formule  $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$  voor een oppervlakte  $A$  van  $1 \text{ m}^2$  dezelfde warmtestroom  $P$  te behouden, zal de warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  van lucht kleiner moeten zijn dan die van baksteen.

## Opgave 52

- a De warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  van glas is  $0,93 \text{ W/(K} \cdot \text{m)}$ , de oppervlakte  $A$  van het raam is  $2,5 \times 1,0 = 2,5 \text{ m}^2$ , het temperatuurverschil  $\Delta T$  is  $(15,0 - 12,0) = 3,0 \text{ }^\circ\text{C}$  en de dikte  $d$  is  $0,0040 \text{ m}$ .  
 De warmtestroom is dus:  $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 0,93 \times 2,5 \times \frac{3,0}{0,0040} = 1,7 \cdot 10^3 \text{ W} = 1,7 \text{ kW}$
- b Nee, het vermogen van het kacheltje is niet genoeg, want het kacheltje levert maar  $1 \text{ kW}$  terwijl er bijna  $2 \text{ kW}$  aan warmte verdwijnt.
- c De warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  van lucht is  $0,024 \text{ W/(K} \cdot \text{m)}$ , de oppervlakte  $A$  van het raam is weer  $2,5 \text{ m}^2$ , het temperatuurverschil  $\Delta T$  is  $6,0 \text{ }^\circ\text{C}$  en de dikte  $d$  is  $0,0010 \text{ m}$ .  $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 0,024 \times 2,5 \times \frac{6,0}{0,0010} = 36 \text{ W}$
- d De warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  van lucht is  $0,024 \text{ W/(K} \cdot \text{m)}$  en die van glas  $0,93 \text{ W/(K} \cdot \text{m)}$ , bijna  $40\times$  zo groot. Bovendien is de dikte van de luchtlaag ook nog eens  $2,5\times$  zo groot als de dikte van een ruit. De luchtlaag isoleert bijna  $100\times$  beter dan een enkele ruit.

## Opgave 53

- a Aluminium geleidt de warmte vele malen beter naar buiten dan hout. Hout isoleert dus veel beter. Aluminium gaat echter langer mee dan hout, tenzij het hout heel goed geïmpregneerd is en goed onderhouden wordt. (En aluminium kozijnen hebben tegenwoordig een binnenkant en een buitenkant die met kunststof aan elkaar zitten)
- b De oppervlakte van het kozijn is  $(2,5 + 1,0 + 2,5 + 1,0) \times 0,010 = 0,070 \text{ m}^2$ .
- c De warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  van aluminium is  $237 \text{ W/(K} \cdot \text{m)}$ , de oppervlakte  $A$  van het kozijn is  $0,070 \text{ m}^2$ , het temperatuurverschil  $\Delta T$  is  $(22,0 - 3,0) = 19 \text{ }^\circ\text{C}$  en de dikte  $d$  is  $0,030 \text{ m}$ .  
 De warmtestroom door het getekende aluminium kozijn is dan:  $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 237 \times 0,070 \times \frac{19}{0,030} = 11 \text{ kW}$ .

## Opgave 54

- a Bij dezelfde oppervlakte en hetzelfde temperatuurverschil hangt de warmtestroom alleen af van de warmtegeleidingscoëfficiënt en de dikte. Stel dat de oppervlakte  $1 \text{ m}^2$  is en het temperatuurverschil  $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
 Dan is de warmtestroom bij de  $0,50 \text{ m}$  dikke granieten muur:  

$$P_{\text{graniet}} = \lambda_{\text{graniet}} \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 3,5 \times 1 \times \frac{1}{0,50} = 7 \text{ W}$$
 en die van de  $0,1 \text{ m}$  dikke muur van baksteen:  

$$P_{\text{baksteen}} = \lambda_{\text{baksteen}} \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 0,6 \times 1 \times \frac{1}{0,10} = 6 \text{ W}$$
 De bakstenen muur isoleert dus beter.
- b Beide muren geleiden bijna dezelfde hoeveelheid warmte. Maar beide muren moeten ook zelf opwarmen. De granieten muur, die veel dikker is, een grotere soortelijke warmte heeft en een grotere dichtheid, zal veel meer warmte zelf opnemen dan de bakstenen muur. Hierdoor blijft het huis overdag langer koel (en langer warm zodra het buiten afkoelt).

## 3.5 FUNCTIONELE MATERIALEN

### Opgave 55

- a Niet waar: Glasvezels zijn sterk en buigzaam, met een zeer grote treksterkte.
- b Waar
- c Niet waar: Een composiet is een materiaal dat is opgebouwd uit verschillende soorten materialen, dat hoeven niet per se vezels te zijn.
- d Niet (helemaal) waar: Er is ook nog een tweede betekenis van biomaterialen: producten of voorwerpen die volledig gemaakt zijn van biologische producten.
- e Waar
- f Waar

### Opgave 56

- a Een mengsel van verschillende metalen noemen we een legering.
- b Een legering is een mengsel van metalen. Staal is ijzer waaraan koolstof is toegevoegd, dat is geen metaal.
- c In de praktijk wil je de eigenschappen van metalen combineren met (complementaire) eigenschappen van andere soorten materialen.
- d Titanium is een metaal dat niet reageert met menselijk weefsel en wordt daarom in bijvoorbeeld kunstledematen gebruikt. Het moet dan zo zuiver mogelijk zijn.

### Opgave 57

- a Goud:  $\rho = 19,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ , koper:  $\rho = 8,96 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
- b Goud:  $m = \rho \cdot V = 19,3 \cdot 10^3 \times 18 \cdot 10^{-6} = 0,35 \text{ kg}$   
Koper:  $m = \rho \cdot V = 8,96 \cdot 10^3 \times 6 \cdot 10^{-6} = 0,05 \text{ kg}$
- c  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,35 + 0,05}{24 \cdot 10^{-6}} = 17 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

### Opgave 58

- a Het onzuivere goud zal harder zijn en de dichtheid zal meetbaar kleiner zijn (omdat de dichtheden van koper en nikkel ongeveer de helft van de dichtheid van goud zijn). Bovendien zal de kleur anders zijn.
- b Uranium is lastig te verkrijgen en daardoor duur, en het is (meetbaar) radioactief.
- c Wolfram heeft de hoogste smeltemperatuur, dus zal het een harde metaalsoort zijn.
- d Wolfram heeft een heel andere kleur dan goud.
- e Breng aan de buitenkant van de vervalste goudstaaf een laagje echt goud aan.

### Opgave 59

- a Een composiet is een materiaal dat is opgebouwd uit verschillende soorten materialen. MDF is opgebouwd uit verpulverd hout en lijm, dus is het een composiet.
- b De houtstof wordt onder hoge druk samengeperst. Hierdoor zal de dichtheid groter worden dan de dichtheid van het oorspronkelijke hout.
- c Een voordeel is dat MDF geen nerf heeft, het is in alle richtingen even sterk. Een nadeel is dat MDF minder goed op trek belast kan worden. Bovendien ziet MDF er niet uit als hout en is het geen natuurproduct meer door het toevoegen van chemische lijm.

### Opgave 60

- a Voorbeelden van vezels in composietmateriaal zijn: glasvezels, koolstofvezels en aramidevezels.
- b De vezels zorgen voor een grotere trekkracht dan in het oorspronkelijke materiaal.
- c Een voorbeeld van een composietmateriaal zonder vezels is een composiet aanrechtblad. Een ander voorbeeld is de vulling die de tandarts (tegenwoordig) aanbrengt.
- d Glasvezel heeft een grote treksterkte en een lage dichtheid.

## Opgave 61

- a Voorbeelden van biomaterialen zijn roestvast staal, titanium, polyethyleen, bioglas en apatiet.
- b Het materiaal van het implantaat moet niet met de omgeving reageren, anders wordt het implantaat aangetast en verzwakt en kun je ook afstotingsverschijnselen van het lichaam krijgen.

## Opgave 62

- a Voorbeelden van smart materials zijn een piëzo-elektrisch kristal, geheugenmetaal, kleurveranderende materialen en magnetische vloeistoffen.
- b Een piëzo-elektrisch kristal vervormt onder invloed van elektrische spanning.  
Geheugenmetaal vervormt onder invloed van temperatuur.  
Kleurveranderende materialen kunnen van kleur veranderen onder invloed van licht of warmte.  
Als over magnetische vloeistoffen een magneetveld wordt aangebracht, vormen de microscopisch kleine magneetdeeltjes in de vloeistof ketens waardoor de viscositeit groter wordt.
- c Een piëzo-elektrisch kristal vervormt door een elektrische spanning en omgekeerd geeft het een elektrische spanning af als het wordt vervormd. Geluid brengt de lucht in trilling, waardoor een piëzo-elektrisch kristal gaat bewegen. Deze beweging zorgt voor een elektrische spanning. De spanningsveranderingen kun je vastleggen op een computer. Om het geluid dan weer af te spelen, breng je met de opgeslagen spanningsveranderingen een piëzo-elektrisch kristal in beweging. Op die manier kun je de lucht weer in beweging brengen, zodat er geluid ontstaat.

## Opgave 63

De vrij bewegende elektronen in zuiver silicium helpen mee om de warmte te transporteren. In glas gebeurt dit (bijna) niet.

## 3.6 VERDIEPING

### Opgave 64

Door het zweten wordt je huid nat. Dit water verdampt en daarvoor is energie nodig, waardoor je het koud krijgt.

### Opgave 65

De dikke laag stilstaande lucht in de fleece trui zorgt voor een geringe warmtegeleiding.

### Opgave 66

De warmtegeleidingscoëfficiënt van water is veel groter dan die van lucht. De warmte van je huid wordt door het water dus veel sneller afgevoerd dan door lucht.

### Opgave 67

Als de warmteproductie groter zou zijn dan de warmtestroom, zou je steeds warmer worden en oververhit raken. Is de warmtestroom groter dan de warmteproductie, dan zou je juist onderkoeld kunnen raken.

### Opgave 68

Door de wind wordt het laagje opgewarmde lucht rondom je huid afgevoerd en voortdurend vervangen door koude lucht. De lucht voelt daardoor kouder aan dan bij windstille.

### Opgave 69

- a Oriëntatie: Zoek in Binas de verdampingswarmte van water op:  $2,26 \cdot 10^6$  J/kg.

Uitwerking:

Per seconde moet er 700 J warmte worden afgevoerd. Het verdampen van 1 kg water kost  $2,26 \cdot 10^6$  J, dus voor 700 J is  $\frac{700}{2,26 \cdot 10^6} = 3,1 \cdot 10^{-4}$  kg water nodig. Dat is  $3,1 \cdot 10^{-4}$  L = 0,31 mL water per seconde.

- b  $0,31 \times 3600 = 1,1 \cdot 10^3$  mL = 1,1 L water per uur

## 3.7 AFSLUITING

### Opgave 70

- a** De grootte van de aantrekkende krachten tussen de atomen of moleculen bepaalt de sterkte van het materiaal. De dichtheid van een stof wordt vooral bepaald door de massa's van de atomen. Hoe groter de gemiddelde (tril)snelsnelheid van de deeltjes van een stof is, des te hoger is de temperatuur van die stof. Bij de geleiding van warmte in een vaste stof wordt de extra energie (trilling) van het ene deeltje doorgegeven aan het andere deeltje. Bij metalen helpen de vrije elektronen ook mee om de warmte te transporteren. Metalen zijn daardoor (behalve goede elektriciteitsgeleiders) ook goede warmtegeleiders. Stroming van warmte treedt op als een warmere vloeistof of gas als geheel ergens heen beweegt of gepompt wordt, zoals van de cv-ketel naar een radiator. Convectiestroming treedt op als een vloeistof of gas onderin wordt verwarmd. Daar gaan de deeltjes dan sneller bewegen, waardoor ze vaker en harder tegen elkaar botsen en de stof daar zal uitzetten. Hierdoor wordt de dichtheid van de stof daar kleiner en wordt de stof opgetild door de koelere omgeving. De warmere stof zal naar boven bewegen. Bij straling van warmte wordt de energie met de lichtsnelheid verzonden zonder tussenkomst van materie. Bij het smelten van een vaste stof trillen de deeltjes hard genoeg om de verbindingen ertussen te verbreken. Dit kost energie. De deeltjes kunnen in de vloeistoffase langs elkaar heen bewegen. Bij afkoeling van een vloeistof kan deze tot een vaste stof stollen. Als een vloeistof wordt verwarmd, komt het vaker voor dat vloeistofdeeltjes aan het oppervlak zoveel snelheid krijgen (bewegingsenergie) door onderlinge botsingen, dat ze kunnen ontsnappen uit de vloeistof en vrij in de ruimte gaan bewegen. De vloeistof verdampt. Omgekeerd worden aan een vloeistofoppervlak dampdeeltjes 'ingevangen'. Is de vloeistof, bijvoorbeeld een wateroppervlak, koud en is de concentratie waterdamp boven het water niet te klein, dan gaat er netto water van de gasfase over in de vloeistoffase. Dat heet condensatie. Bij sublimeren gaat de vaste fase rechtstreeks over in de gasfase. Het omgekeerde heet rijpen.
- b** Wat we nog niet kunnen verklaren met behulp van atomen of moleculen is de sterkte van vezels en composietmaterialen, waarom sommige materialen meer interactie met hun omgeving aangaan dan andere materialen, de werking van smart materials en vloeibare kristallen en de nanotechnologie.

### Opgave 71

- a** Stoffen zijn opgebouwd uit moleculen en atomen.
- b** De dichtheid is de massa van een hoeveelheid stof gedeeld door het volume. Dichtheid is een stoffeigenschap, massa niet.
- c** Deeltjes staan stil bij 0 K, dat is  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- d** Om een temperatuur in graden Celsius om te rekenen naar graden kelvin, moet je er 273 bij optellen.
- e** Als de temperatuur stijgt, gaan de deeltjes in een stof sneller bewegen.
- f** De drie vormen van warmtetransport zijn geleiding, stroming en straling.
- g** De zes faseovergangen zijn: stollen en smelten, verdampen en condenseren, rijpen en sublimeren.
- h** Bij een warmtepomp worden de faseovergangen verdampen en condenseren gebruikt.
- i** Bij een warmtepomp wordt energie opgeslagen bij verdampen, want daar is energie voor nodig.
- j** De formule voor warmte is  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ . Hierin is  $Q$  de warmte (in J),  $c$  de soortelijke warmte (in  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  of  $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ),  $m$  de massa (in kg) en  $\Delta T$  de temperatuursverandering (in K of  $^{\circ}\text{C}$ )
- k** De formule voor debiet is  $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = A \cdot v$ . Hierin is  $Q$  het debiet (in  $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $A$  de oppervlakte van de doorsnede van de buis (in  $\text{m}^2$ ) en  $v$  de stroomsnelheid van de vloeistof (in  $\text{m}/\text{s}$ ).
- l** Om het afgegeven vermogen van een verwarming te berekenen, bereken je eerst de massa die per seconde door de buis stroomt (debiet  $\times$  dichtheid =  $\text{m}^3/\text{s} \times \text{kg}/\text{m}^3$ ). Bereken dan het afgegeven vermogen door die massa in te vullen in de formule voor soortelijke warmte  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ .

- m** De formule voor warmtestroom is  $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$ . Hierin is  $P$  de warmtestroom (in  $W = J/s$ ),  $\lambda$  de warmtegeleidingscoëfficiënt (in  $W/(K \cdot m)$ ),  $A$  de oppervlakte van de wand (in  $m^2$ ),  $\Delta T$  het temperatuurverschil (in  $K$  of  $^{\circ}C$ ) tussen binnen en buiten en  $d$  de dikte van de wand (in  $m$ ).
- n** In een composietmateriaal worden de voordelen van één of meer materialen gecombineerd. Het resultaat is een materiaal dat meerdere gunstige eigenschappen heeft.

## Opgave 72

- a** De formule voor warmtestroom is  $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$  en de formule voor dichtheid is  $\rho = \frac{m}{V}$ . Een grote ijsbeer zal relatief meer volume ( $V$ ) en dus meer massa ( $m$ ) hebben ten opzichte van de oppervlakte ( $A$ ) van zijn vacht (oppervlakte groeit kwadratisch en volume tot de macht 3). Hij verliest dus door zijn grootte relatief minder van de door hem geproduceerde warmte via zijn vacht.
- b** De warmtegeleidingscoëfficiënt van water is groter dan die van lucht. Water zal de warmte dus beter afvoeren. Een ijsbeer die het warmt heeft, moet dus gaan zwemmen.
- c** Als je het water uitkomt verdampt het water op je huid en onttrekt daarbij warmte aan je huid, waardoor je het koud krijgt. Afdrogen helpt daartegen.

## Opgave 73

- a** Zoek de dichtheden op in Binas: koper:  $\rho = 8,96 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  ijzer:  $\rho = 7,87 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  zilver:  $\rho = 10,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Het volume van de blokjes is gelijk, dus zilver heeft de grootste massa, ijzer de kleinste.
- b** Zoek de soortelijke warmte op in Binas: koper:  $c = 387 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$  ijzer:  $c = 460 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$  en zilver:  $c = 240 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$  IJzer heeft de grootste soortelijk warmte en zilver de kleinste.
- c** Voor de energie geldt:  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ , waarbij  $\Delta T$  voor alle blokjes gelijk is. De massa bereken je met  $m = \rho \cdot V$ . Dat geeft  $Q = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T$  met  $V$  en  $\Delta T$  voor alle blokjes gelijk.  
Het gaat hier dus om  $(c \cdot \rho)$ , dat is voor de drie materialen:  
koper:  $\rho = 8,96 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  en  $c = 387 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$   $\rightarrow (c \cdot \rho) = 3,5 \cdot 10^6 \text{ J/(m}^3 \cdot \text{K)}$   
ijzer:  $\rho = 7,87 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  en  $c = 460 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$   $\rightarrow (c \cdot \rho) = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J/(m}^3 \cdot \text{K)}$   
zilver:  $\rho = 10,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  en  $c = 240 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$   $\rightarrow (c \cdot \rho) = 2,5 \cdot 10^6 \text{ J/(m}^3 \cdot \text{K)}$   
De juiste volgorde, van minste naar meeste benodigde energie, is: zilver – koper – ijzer.

## Opgave 74

- a** Oriëntatie:  
Het toegevoerde vermogen door het verwarmingselement moet gelijk zijn aan de warmtestroom door de wanden van het aquarium. (De warmtestroom door de bodem en de onderkant is verwaarloosbaar, want die zijn perfect geïsoleerd.) De warmtestroom is te berekenen met  $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$  waarbij  $\lambda$  de warmtegeleidingscoëfficiënt van glas is:  $0,93 \text{ W/(K} \cdot \text{m)}$ .
- Uitwerking:  
De oppervlakte  $A$  is te berekenen als de som van de oppervlakte van de lange zijanten, en de oppervlakte van de korte zijanten:  
 $A = 1,0 \times 0,40 \times 2 + 0,50 \times 0,40 \times 2 = 1,2 \text{ m}^2$   
Met  $\Delta T = 35 - 20 = 15 \text{ }^{\circ}C$  vind je dan voor het vermogen:  $P = 0,93 \times 1,2 \times \frac{15}{0,040} = 4,2 \cdot 10^2 \text{ W}$   
Dit is minder dan het vermogen van het verwarmingselement, dus het vermogen van het verwarmingselement is voldoende om het aquarium op temperatuur te houden.
- b** Het volume van het water is  $V = 1,0 \times 0,40 \times 0,50 = 0,20 \text{ m}^3 = 200 \text{ L}$  dus de massa is  $200 \text{ kg}$ .  
Om dit water  $30^{\circ}$  te verwarmen, is  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4180 \times 200 \times 30 = 25 \text{ MJ}$  nodig.
- c** Met het eigen verwarmingselement zou dat  $t = \frac{E}{P} = \frac{25 \cdot 10^6}{1,0 \cdot 10^3} = 25 \cdot 10^3 \text{ s} = 7,0 \text{ uur}$  duren.

## Opgave 75

### Oriëntatie:

$P = k \cdot A \cdot \Delta T$  met  $\Delta T = 20 - 11,5 = 8,5 \text{ }^\circ\text{C}$  en  $A = 1,0 \text{ m}^2$ .

Voor enkelglas is  $k = 5,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  en voor HR++-glas is  $k = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Het verschil in warmtestroom  $P$  wordt dus bepaald door het verschil in  $k$ :

$\Delta P = \Delta k \cdot A \cdot \Delta T$  met  $\Delta k = 5,7 - 1,2 = 4,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

### Uitwerking:

$\Delta P = 4,5 \times 1,0 \times 8,5 = 38,3 \text{ W}$  per vierkante meter.

De energiebesparing per jaar is dus  $\Delta E = \Delta P \cdot t = 38,3 \times 365 \times 24 \times 3600 = 1,21 \text{ GJ}$  per vierkante meter.

De kostenbesparing per jaar is  $1,21 \cdot 10^3 \times \text{€ } 0,038 = \text{€ } 46$  per vierkante meter.

De extra investeringskosten worden terugverdiend in  $\frac{82}{46} = 1,8$  jaar, dus het HR++ glas is zeker rendabel.

## Opgave 76

a  $1800 \text{ m}^3$  aardgas levert  $1800 \times 32 = 75.600 \text{ MJ}$  warmte.

Met het rendement wordt dat  $0,95 \times 75600 \times 10^6 = 5,5 \cdot 10^{10} \text{ J}$ .

Een halfjaar is  $\frac{365}{2} \times 24 \times 3600 = 1,58 \cdot 10^7 \text{ s}$ .

Dat geeft:  $P = \frac{E}{t} = \frac{5,5 \cdot 10^{10}}{1,58 \cdot 10^7} = 3,5 \cdot 10^3 \text{ W}$

b Het maximale vermogen is berekend op zeer strenge vorst. Daardoor is het gemiddelde veel lager.

c Het elektrisch vermogen van de pomp is gemiddeld:  $\frac{3,5 \text{ kW}}{4,5} = 0,78 \text{ kW}$ . Een half jaar is  $\frac{365}{2} \times 24 = 4380$  uur.

$E = P \cdot t$  geeft  $E = 0,78 \text{ kW} \times 4380 \text{ uur} = 3416 = 3,4 \cdot 10^3 \text{ kWh}$

d COP = 4,5 is een gemiddelde. Bij strenge vorst, als het temperatuurverschil dat de pomp moet overbruggen groot is, is de COP lager. Dan neemt het maximale vermogen met een kleinere factor af.

## Opgave 77

a In 1 seconde levert de ketel  $12 \text{ kJ}$ , en  $\Delta T = 50 \text{ K}$ . Invullen in  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$  geeft:

$12 \cdot 10^3 = 4,18 \cdot 10^3 \times m \times 50 \rightarrow m = 0,057 \text{ kg}$ .

De dichtheid van water is  $0,9982 \cdot 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Dat geeft  $V = \frac{0,057}{0,9982 \cdot 10^3} = 5,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ .

b  $Q = A \cdot v \rightarrow 5,8 \cdot 10^{-5} = A \times 0,25 \rightarrow A = \frac{5,8 \cdot 10^{-5}}{0,25} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ . Invullen bij  $A = \pi \cdot r^2 \rightarrow$

$2,3 \cdot 10^{-4} = \pi \times r^2 \rightarrow r = 0,0086 \text{ m} \rightarrow d = 17 \text{ mm}$

c Voor de warmtepomp geldt dat  $\Delta T = 15 \text{ K}$ , terwijl voor de cv-ketel geldt  $\Delta T = 50 \text{ K}$ . De in het water opgeslagen warmte daalt met een factor  $\frac{15}{50} = 0,30$ . Het debiet moet dan toenemen met een factor  $\frac{1}{0,30} = 3,3$ .

d Het water stroomt met een veel grotere snelheid door de radiatoren. Bovendien stralen de radiatoren minder warmte uit doordat de temperatuur lager is. Het oppervlak van de radiatoren moet dan flink groter worden.