

Hoofdstuk 5 Warmte en temperatuur

5.1 Het molecuulmodel

Opgave 1

- Of een uitspraak natuurkundig gezien goed of fout is, leid je af met molecuulmodel en de begrippen warmte en temperatuur.

a Fout

Er is warmte de kamer uitgegaan.

Toelichting: kou is geen energievorm.

b Fout

De moleculen in de lucht bewegen overdag sneller dan 's nachts.

Toelichting: de temperatuur is overdag hoger dan 's nachts. Hoe hoger de temperatuur, hoe sneller de moleculen bewegen.

c Goed

d Goed

e Fout

De gemiddelde afstand tussen de moleculen in de lucht is 's nachts even groot als overdag.

Toelichting: de ruimte is afgesloten. Het aantal moleculen lucht verandert dus niet tijdens afkoelen.

Opgave 2

- Een temperatuur reken je om met de formule voor temperatuur.

$$T_{\text{Celsius}} = T_{\text{kelvin}} - 273,15$$

a $25 = T_{\text{kelvin}} - 273,15$

$$T_{\text{kelvin}} = 298,15 \text{ K}$$

Afgerond: 298 K.

b $-4 = T_{\text{kelvin}} - 273,15$

$$T_{\text{kelvin}} = 269,15 \text{ K}$$

Afgerond: 269 K.

c $T_{\text{Celsius}} = 4 - 273,15$

$$T_{\text{Celsius}} = -269,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Afgerond: $-269 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

d $T_{\text{Celsius}} = 293 - 273,15$

$$T_{\text{Celsius}} = 19,85 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Afgerond: $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Opgave 3

- Dat je de deodorant na een tijdje ruikt, leg je uit door het molecuulmodel toe te passen op fasen en faseovergangen.

De deodorant verdampt en is dan gasvormig. De moleculen bewegen vrij in alle richtingen. Na een tijdje bereiken de moleculen je neus en dan ruik je ze.

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

Opgave 4

- a ► Het ontstaan van ijs verklaar je met de aanwezigheid van waterdamp in de lucht. Als je het vriesvak opent, gaat er warmere lucht met waterdamp naar binnen. Als je het vriesvak weer sluit, koelt de waterdamp in het vriesvak zo snel af dat de waterdamp direct overgaat in de vaste stof ijs.
- b Twee van de volgende manieren:
- De deur zo kort mogelijk openen.
 - De deur zo min mogelijk openen.
 - Warm voedsel eerst laten afkoelen voor je het in de vriezer doet: warme lucht bevat meer waterdamp dan koude lucht.

Opgave 5

- a ► Wat er gebeurt met de gemiddelde kinetische energie van de moleculen, leg je uit met het verband tussen de gemiddelde snelheid van de moleculen en de temperatuur.
De temperatuur is een maat voor de gemiddelde snelheid van de moleculen. Als de temperatuur daalt, daalt de (gemiddelde) snelheid van de moleculen. Dus neemt de gemiddelde kinetische energie af.
- b $\Delta T_{\text{Celsius}} = 63 - (-80) = 143 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- c ► Bij omrekenen van temperaturen gebruik je de formule voor temperatuur.
 $T_{\text{Celsius}} = T_{\text{kelvin}} - 273,15$
 Hieruit volgt: $T_{\text{kelvin}} = T_{\text{Celsius}} + 273,15$
 $\Delta T_{\text{kelvin}} = (63 + 273,15) - (-80 + 273,15) = 143 \text{ K}$
- d ► Dat een temperatuur van -80 K niet mogelijk is, leg je uit met het begrip absolute nulpunt. Als de temperatuur daalt, dan daalt de snelheid van de moleculen. Bij het absolute nulpunt staan de moleculen stil. Dan is de temperatuur 0 K . Een lagere temperatuur dan 0 K is dus niet mogelijk.

Opgave 6

- a ► Of de spleten smaller of breder worden, beredeneer je met de gevolgen van warmtetoevoer aan een stof.
Stijgt de temperatuur, dan wordt de afstand tussen de deeltjes in het wegdek groter. De brug zet uit. De spleten worden smaller.
- b ► Waarom het wegdek niet aan de pijlers vastzit, beredeneer je met de gevolgen van het uitzetten van het wegdek.
Bij temperatuurstijging zet het wegdek uit. Zit het wegdek vast aan een pijler, dan duwt het wegdek de bovenkant van de pijlers naar rechts. Dan kan een pijler breken.
- c ► Waardoor rol B niet in het midden ligt, leg je uit met het verschil in uitzetten van stukken wegdek. Als het wegdek uitzet, dan wordt de rol naar rechts verplaatst. Hoe groter de afstand tot het beginpunt, hoe meer het bijbehorende wegdek uitzet. Bij de rechterpijler is de afstand tot het beginpunt van de brug groter dan bij de linker pijler. Dus bij de rechterpijler moet de rol zich meer kunnen verplaatsen dan bij de linker pijler. Daarom ligt rol B wat meer naar links.

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

Opgave 7

- a Water kookt als overal in de vloeistof dampbellen ontstaan.
- b ► Of er meer water verdampt, leg je uit met het verband tussen (gemiddelde) snelheid en temperatuur.
Bij 60 °C zal er meer water verdampen dan bij 20 °C. Om te kunnen ontsnappen moet een molecuul voldoende snelheid hebben. Bij 60 °C is de gemiddelde snelheid van de watermoleculen groter dan bij 20 °C. Dus is het aantal moleculen met voldoende snelheid om te ontsnappen bij 60 °C groter dan bij 20 °C.
- c ► Of er meer of minder druppels ontstaan, beredeneer je met het verband tussen de oppervlakte en de hoeveelheid water die verdampt.
Bij een groter oppervlak zijn meer moleculen met voldoende snelheid bij het oppervlak om te ontsnappen dan bij een klein oppervlak. Dus bij een groter oppervlak verdampt meer water en daardoor ontstaan meer druppels dan bij een klein oppervlak. Dus in de brede pan ontstaan tijdens het verwarmen meer waterdruppels aan de onderkant van de deksel dan in de smalle pan.

Opgave 8

- a ► Het volume bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = 1,00 \text{ kg}$$

IJs

$$\rho = 0,917 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \text{ (zie Binas tabel 10A)}$$

$$\text{Invullen levert: } 0,917 \cdot 10^3 = \frac{1,00}{V}$$

$$V = \frac{1,00}{0,917 \cdot 10^3} = 1,0905 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Afgerond: } V = 1,09 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Water

$$\rho = 0,9982 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \text{ (zie Binas tabel 11)}$$

$$\text{Invullen levert: } 0,9982 \cdot 10^3 = \frac{1,00}{V}$$

$$V = \frac{1,00}{0,9982 \cdot 10^3} = 1,0018 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Afgerond: } V = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Waterdamp

$$\rho = 0,598 \text{ kg m}^{-3} \text{ (zie Binas tabel 12)}$$

$$\text{Invullen levert: } 0,598 = \frac{1,00}{V}$$

$$V = \frac{1,00}{0,598} = 1,6722 \text{ m}^3$$

$$\text{Afgerond: } V = 1,67 \text{ m}^3.$$

- b ► Wat er gebeurt met de toegevoerde warmte beredeneer je met de twee mogelijke gevolgen bij een toename van de energie van de stof.
Door de warmtetoevoer neemt de energie van de stof toe. De kinetische energie blijft gelijk, omdat de temperatuur niet verandert. Dat betekent dat de warmte wordt gebruikt om de afstand tussen de moleculen te vergroten.
- c Bij 100 °C gaat water over in waterdamp, maar tegelijkertijd gaat ook waterdamp over in water. Dat kan alleen als de moleculen elkaar nog steeds (een beetje) aantrekken.

Opgave 9

- a ► De grotere dichtheid van het vaste kaarsvet beredeneer je met het verschil in afstand tussen de moleculen.

In de vaste fase is de afstand tussen de moleculen kleiner dan in de vloeibare fase. Hierdoor heeft 1 cm^3 vaste stof een grotere massa dan 1 cm^3 vloeistof.

De dichtheid van vast kaarsvet is groter dan die van vloeibaar kaarsvet.

- b ► Of de kinetische energie verandert, leg je uit met het verband tussen de kinetische energie van de moleculen en de temperatuur van de stof.

De gemiddelde kinetische energie van de moleculen is een maat voor de temperatuur van de stof.

In gebied A en C stijgt de temperatuur en neemt de kinetische energie dus toe.

In gebied B verandert de temperatuur niet, dus de kinetische energie ook niet.

- c ► Of de afstand tussen de moleculen verandert, leg je uit met de gevolgen van warmtetoevoer.

In elk gebied wordt energie toegevoerd. In gebied A en C neemt de temperatuur toe en gaan de moleculen sneller bewegen. Hierdoor wordt de gemiddelde afstand tussen de moleculen groter.

In gebied B wordt de energie gebruikt om alleen de afstand tussen de moleculen te vergroten.

Dus in elk gebied neemt de afstand tussen de moleculen toe.

- d ► Of de temperatuur van het kaarsvet na 19 minuten verandert, leg je uit met het verschil in temperatuur van het kaarsvet en de temperatuur van de omgeving.

De temperatuur van het kaarsvet zal na 19 minuten afnemen, omdat de omgevingstemperatuur lager is dan 71°C .

5.2 Transport van warmte

Opgave 10

- a ► Waardoor je onder het dekbed warm blijft, leg je uit met de eigenschappen van de lucht in het dekbed.

Lucht is een slechte warmtegeleider.

Door de vulling is nauwelijks stroming van lucht mogelijk.

De buitenkant van het dekbed heeft een glanzend oppervlak, waardoor een deel van de warmtestraling teruggekaatst wordt richting je lichaam.

- b ► Waardoor een dekbed met compartimenten je beter warm houdt dan een dekbed zonder compartimenten, verklaar je met een verschil in warmtetransport.

In een dekbed zonder compartimenten kunnen de veertjes zich verplaatsen, als je je bijvoorbeeld omdraait in je slaap. Daardoor verplaatst ook de lucht tussen de veertjes zich en is er warmtestroming mogelijk. In een dekbed met compartimenten is geen warmtetransport door stroming mogelijk. Daardoor houdt zo'n dekbed je beter warm.

Opgave 11

- 1 In het water is er warmtetransport door stroming.
- 2 In het glas is er warmtetransport door geleiding.
- 3 In de lucht is er warmtetransport door straling en stroming.

Opgave 12

- a ► Welke vorm van warmtetransport het zilverkleurig glas tegengaat, leid je af uit het gevolg dat glimmende voorwerpen hebben op het warmteverlies.
Het zilverkleurige oppervlak is glanzend. De warmtestraling wordt teruggekaatst richting de vloeistof. Het zilverkleurige glas gaat dus warmtetransport door straling tegen.
- b ► Welke vorm van warmtetransport het vacuüm tegengaat, leid je af uit het feit dat voor sommige soorten warmtetransport een medium (tussenstof) nodig is.
Het vacuüm gaat warmtegeleiding en warmtestroming tegen, want voor deze twee soorten warmtetransport is een tussenstof nodig.
- c Rubber geleidt de warmte slecht.
- d ► Of je een thermoskan kunt gebruiken om dranken koud te houden, leg je uit met het warmtetransport bij een thermosfles.
Bij gebruik van een thermosfles vindt nauwelijks warmtetransport plaats. Dat geldt niet alleen voor warmteverlies van binnen naar buiten, maar ook voor warmteopname van buiten naar binnen. Dus koude dranken blijven koud in een thermosfles.

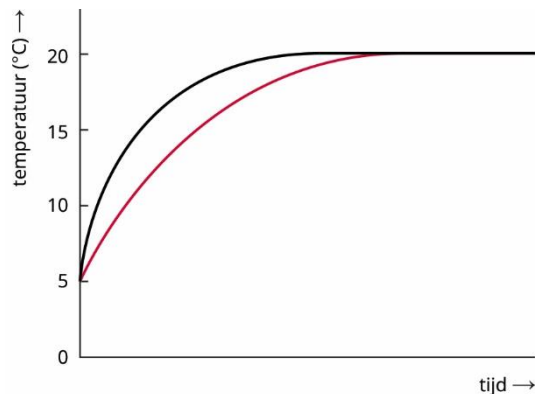
Opgave 13

- A warmtestroming
B warmtestraling
C warmtegeleiding

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

Opgave 14

- a De warmtegeleiding is kleiner, doordat het gas tussen de platen slechter geleidt dan glas.
Warmtestroming tussen de twee glasplaten is er nauwelijks, doordat de afstand tussen de twee glasplaten zo klein is dat het gas bijna niet kan stromen.
De warmtestraling is kleiner, doordat op hr++-glas een reflecterend laagje zit.
- b ► De grafiek schets je door te beredeneren:
- wat de begin- en eindtemperatuur is bij het dubbelglas;
 - wat het gevolg is van de warmtetoevoer op de snelheid van de temperatuurstijging bij dubbel glas in vergelijking met enkel glas.
- Zie de uitwerking in figuur 5.1.

**Figuur 5.1**

De begin- en eindtemperatuur zijn bij dubbel glas hetzelfde als bij enkel glas.
Omdat er bij dubbel glas minder warmte verloren gaat, is de eindtemperatuur eerder bereikt.
Dus de zwarte grafiek voor dubbel glas in figuur 5.1 stijgt sneller dan de rode grafiek voor enkel glas.

Opgave 15

- a ► De snelheid v van de lucht in de buis bereken je met de formules voor debiet.

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = A \cdot v$$

$$\Delta V = 5 \times 6,0 = 30,0 \text{ m}^3$$

$$\Delta t = 1 \text{ uur} = 3600 \text{ s}$$

- De oppervlakte A van de dwarsdoorsnede bereken je met de diameter van de buis.

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = 100 \text{ mm} = 0,100 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } A = \frac{1}{4} \pi (0,100)^2 = 7,854 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

- Invullen van ΔV , Δt en A in de formule $\frac{\Delta V}{\Delta t} = A \cdot v$:

$$\frac{30,0}{3600} = 7,854 \cdot 10^{-3} \cdot v$$

$$v = \frac{30,0}{3600 \times 7,854 \cdot 10^{-3}} = 1,0610 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v = 1,1 \text{ m s}^{-1}.$$

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

- b ► Of de snelheid v door de kier verandert, beredeneer je met een van de formules voor debiet.

$$Q = A \cdot v$$

Q blijft gelijk, want de lucht moet ook dan vijf keer per uur worden vervangen.

- A schat je met de oppervlakte van de opening onder de deur.

$$A = b \cdot h$$

$b = 80 \text{ cm} = 0,80 \text{ m}$; dit is de breedte van de deur.

$h = 1,0 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$; dit is de hoogte van de kier onder de deur.

Invullen levert: $A = 0,01 \times 0,80 = 0,0080 \text{ m}^2$

A is dus groter.

- Invullen van de veranderingen van Q en A in de formule $Q = A \cdot v$:

(Q blijft gelijk) = (A is groter) $\cdot v$

Dus de snelheid van de lucht door de kier onder de deur is kleiner dan die in de buis met de ventilator.

Opgave 16

- a Het temperatuurverschil tussen beide zijden van de muur is zeer klein.

- b ► De hoeveelheid V aan aardgas (Gronings) bereken je met de formule voor chemische energie.

$$E_{\text{ch}} = r_V \cdot V$$

$$r_V = 32 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 28B})$$

- De bespaarde chemische energie E_{ch} bereken je met de afname van het warmteverlies per seconde en de tijd van een jaar.

Q_{afname} per seconde is $120 - 70 = 50 \text{ J}$.

$1,0 \text{ jaar} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$ (zie Binas tabel 5)

$$E_{\text{ch}} = 3,15 \cdot 10^7 \times 50 = 1,58 \cdot 10^9 \text{ J}$$

- Invullen van E_{ch} en r_V in de formule $E_{\text{ch}} = r_V \cdot V$:

$$1,58 \cdot 10^9 = 32 \cdot 10^6 \times V$$

$$V = \frac{1,58 \cdot 10^9}{32 \cdot 10^6} = 49,38 \text{ m}^3$$

Afgerond: $V = 49 \text{ m}^3$.

- c ► Of Geert gelijk heeft, toon je aan door de energiebesparing per jaar te vergelijken met de hoeveelheid energie voor de productie van 40 kg glaswol.

Om 40 kg glaswol te produceren is $40 \times 25 \text{ MJ} = 1000 \text{ MJ} = 1,0 \cdot 10^9 \text{ J}$ nodig.

De besparing aan energie per jaar is $49 \times 32 \cdot 10^6 = 1,57 \cdot 10^9 \text{ J}$.

Dat is meer dan $1,0 \cdot 10^9 \text{ J}$.

Geert heeft dus gelijk.

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

Opgave 17

- a ► De stookwaarde r_m van spiritus bereken je met de formule voor de chemische energie als de hoeveelheid spiritus wordt uitgedrukt in kg.

$$E_{\text{ch}} = r_m \cdot m$$

- De chemische energie E_{ch} bepaal je met de de formule voor de chemische energie als de hoeveelheid spiritus wordt uitgedrukt in m^3 .

$$E_{\text{ch}} = r_V \cdot V$$

$$r_V = 18 \cdot 10^9 \text{ J m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 28B})$$

$$E_{\text{ch}} = 18 \cdot 10^9 \text{ J als het volume } V \text{ gelijk is aan } 1,0 \text{ m}^3$$

- De massa m bereken je met de formule voor dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho \text{ (van spiritus)} = 0,85 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 11})$$

$$V = 1,0 \text{ m}^3$$

$$\text{Invullen levert: } 0,85 \cdot 10^3 = \frac{m}{1,0}$$

$$m = 1,0 \times 0,85 \cdot 10^3 \text{ kg} = 0,850 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

- Invullen van E_{ch} en m in de formule $E_{\text{ch}} = r_m \cdot m$:

$$18 \cdot 10^9 = r_m \times 0,850 \cdot 10^3$$

$$r_m = \frac{18 \cdot 10^9}{0,850 \cdot 10^3} = 2,118 \cdot 10^7 \text{ J kg}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } r_m = 2,1 \cdot 10^7 \text{ J kg}^{-1}.$$

- b ► De hoeveelheid warmte per minuut Q_{min} bereken je met het percentage van de warmte dat ten goede komt aan de pan met kaasfondue en de hoeveelheid chemische energie die ontstaat bij de verbranding van spiritus.

$$Q_{\text{min}} = 0,65 \cdot E_{\text{ch}}$$

- De chemische energie E_{ch} die ontstaat bij de verbranding van spiritus bereken je met de formule voor chemische energie.

$$E_{\text{ch}} = r_m \cdot m$$

$$r_m = 2,1 \cdot 10^7 \text{ J kg}^{-1}$$

$$m = 1,5 \text{ g} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$E_{\text{ch}} = 2,1 \cdot 10^7 \times 1,5 \cdot 10^{-3} = 3,15 \cdot 10^4 \text{ J}$$

- Invullen van E_{ch} in de formule $Q_{\text{min}} = 0,65 \cdot E_{\text{ch}}$:

$$Q_{\text{min}} = 0,65 \times 3,15 \cdot 10^4 = 2,048 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } Q_{\text{min}} = 2,0 \cdot 10^4 \text{ joule.}$$

5.3 Warmtestroom en warmte-uitwisseling

Opgave 18

- De hoeveelheid warmte Q bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$m = 0,49 \text{ g} = 0,49 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$c = 2,43 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 11})$$

$$\Delta T_{\text{kelvin}} = 65 - 22 = 43 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$\text{Invullen levert: } Q = 0,49 \cdot 10^{-3} \times 2,43 \cdot 10^3 \times 43 = 51,20 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } Q = 51 \text{ J.}$$

Opgave 19

- a ► De thermische geleidbaarheid bereken je met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

$$P = 110 \text{ J s}^{-1}$$

$$A = 1,8 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 37 - 26 = 11 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$d = 5,0 \text{ mm} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } 110 = \lambda \cdot 1,8 \times \frac{11}{5,0 \cdot 10^{-3}}$$

$$\lambda = \frac{110 \times 5,0 \cdot 10^{-3}}{1,8 \times 11} = 2,777 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } \lambda = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}.$$

- Of je huid een goede warmtegeleider is vergeleken met metalen, leg je uit door gegevens in Binas te vergelijken met het antwoord op vraag a.

De λ van metalen is meer dan 100 keer groter dan $2,8 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Zie Binas tabel 8.

De huid is geen goede warmtegeleider vergeleken met metalen.

- b Bij verdampen ontsnappen de snelste moleculen uit het zweet. Daardoor daalt de temperatuur van het zweet. De warmte die nodig is om te verdampen, wordt onttrokken uit de omgeving en dat is dus je lichaam. Daardoor wordt het lichaam gekoeld.

Opgave 20

- a ► Welke stof de kleinste soortelijke warmte heeft, beredeneer je met de formule voor soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

m blijft gelijk.

- Het verband tussen de veranderingen van Q en ΔT bepaal je met de grafieken in figuur 25, waarbij je een van de twee grootheden gelijk houdt.

Als Q gelijk blijft in figuur 25, dan is ΔT_A groter dan ΔT_B .

of

Als ΔT in figuur 25 gelijk blijft, dan is Q_A kleiner dan Q_B .

- Invullen van Q , m en ΔT in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$(Q \text{ blijft gelijk}) = c \cdot (m \text{ blijft gelijk}) \cdot (\Delta T_A \text{ is groter dan } \Delta T_B)$$

Dus is de soortelijke warmte van stof A kleiner dan die van stof B.

of

$$(Q_A \text{ is kleiner dan } Q_B) = c \cdot (m \text{ blijft gelijk}) \cdot (\Delta T \text{ is gelijk})$$

Dus is de soortelijke warmte van stof A kleiner dan die van stof B.

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

- b ► Welke stof water is, toon je aan door de soortelijke warmte van water te vergelijken met de soortelijke warmte van stof A (of stof B).

$$c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 11})$$

- De soortelijke warmte c van stof A bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$m = 200 \text{ g} = 200 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

- Het verband tussen Q en ΔT bepaal je met figuur 25, waarbij je de twee grootheden zo groot mogelijk kiest.

$$\text{Als } Q_A = 15 \text{ kJ} = 15 \cdot 10^3 \text{ J dan is } \Delta T_A = 50 - 20 = 30 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

- Invullen van Q_A , m en ΔT_A in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$15 \cdot 10^3 = c \times 200 \cdot 10^{-3} \times 30$$

$$c = \frac{15 \cdot 10^3}{200 \cdot 10^{-3} \times 30} = 2,50 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Deze waarde is niet gelijk aan $4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Dus stof A is geen water. Dan moet stof B water zijn.

Opgave 21

- a ► De hoeveelheid warmte om de lucht in de huiskamer op te warmen bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 1,00 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 12})$$

$$\Delta T = 19,0 - 16,0 = 3,0 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

- De massa van de lucht in de huiskamer bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = 1,293 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 12})$$

- Het volume van de lucht in de huiskamer bereken je met de formule voor een balk.

$$V = \ell \cdot b \cdot h = 8,20 \times 3,60 \times 2,60 = 76,75 \text{ m}^3$$

- Invullen van ρ en V in de formule $\rho = \frac{m}{V}$:

$$1,293 = \frac{m}{76,75}$$

$$m = 1,293 \times 76,75 = 99,238 \text{ kg}$$

- Invullen van c , m en ΔT in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$Q = 99,238 \times 1,0 \cdot 10^3 \times 3,0 = 2,977 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } Q = 3,0 \cdot 10^5 \text{ J.}$$

- b ► Het volume V aan aardgas (Gronings) dat minstens nodig is, bereken je met de formule voor de chemische energie.

$$E_{\text{ch}} = r_V \cdot V$$

$$E_{\text{ch}} = Q = 3,0 \cdot 10^5 \text{ J} \quad (\text{zie antwoord vraag a})$$

$$r_V = 32 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3}. \quad (\text{zie Binas tabel 28B})$$

$$\text{Invullen levert: } 3,0 \cdot 10^5 = 32 \cdot 10^6 \cdot V$$

$$V = \frac{3,0 \cdot 10^5}{32 \cdot 10^6} = 9,375 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Afgerond: } V = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

- c Voorbeelden van juiste antwoorden zijn:
- Er verdwijnt warmte via het rookgasafvoerkanaal van de cv-ketel.
 - Er verdwijnt warmte via kleine openingen in de woning.
 - Er wordt warmte gebruikt voor het opwarmen van de leidingen.
 - Er wordt warmte gebruikt om de muren op te warmen.
 - Er wordt warmte gebruikt voor het opwarmen van de spullen in het huis.

Opgave 22

- a ► Welk metaal het best warmte geleidt, leid je af uit de thermische geleidbaarheid. Een metaal geleidt de warmte beter naarmate de thermische geleidbaarheid groter is. λ_{Cu} is het grootst (aflezen in de tabel van figuur 27) Koper geleidt de warmte dus het best.
- b ► De formule leid je af met de formules voor soortelijke warmte en dichtheid.
 $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ en $\rho = \frac{m}{V}$
 Uit $\rho = \frac{m}{V}$ volgt $m = \rho \cdot V$.
 Invullen van $m = \rho \cdot V$ in $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ levert:
 $Q = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T$
- c ► Dat bij aluminium de minste warmte nodig is, beredeneer je met de gegeven formule.
 $Q = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T$
 Q is kleinst.
 V is gelijk.
 ΔT is gelijk, want $\Delta T = 1,0 \text{ K}$.
 Invullen levert: (Q is kleinst) = $(c \cdot \rho) \cdot (V \text{ is gelijk}) \cdot (\Delta T \text{ is gelijk})$
 Dus de stof met de kleinste waarde voor het product $c \cdot \rho$ bepaalt voor welke stof de minste warmte nodig is.
- Welke stof de kleinste waarde heeft voor het product $c \cdot \rho$ bereken je met de gegevens in de tabel van figuur 27.
 Zie de uitwerking in de tabel.

	Dichtheid ρ ($\cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$)	Soortelijke warmte c ($\cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	$c \cdot \rho$ ($\cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$)
Koper	8,96	0,387	3,5
Aluminium	2,70	0,88	2,4
IJzer	7,87	0,46	3,6
Messing	8,5	0,38	3,2

Aluminium heeft het kleinste product $c \cdot \rho$ en daarom is voor aluminium de minste warmte nodig voor één graad temperatuurstijging.

- d ► Dat de koeling beter is leg je uit met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

De oppervlakte A van een koellichaam met ribben is veel groter dan dat van een massief blok (met dezelfde massa).

Bij een grotere oppervlakte A en dezelfde waarden voor λ , ΔT en d is de warmtestroom P groter en daardoor de koeling ook.

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

- e ► Dat de koeling beter is leg je uit met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

Door de lucht weg te blazen vervang je de opgewarmde lucht door lucht met een lagere temperatuur. Het temperatuurverschil tussen het koelelement en de omgeving blijft dan het grootst.

Bij een groter temperatuurverschil ΔT en dezelfde waarden voor λ , A en d is de warmtestroom P groter en daardoor de koeling ook.

Opgave 23

- a De twee grafieken in figuur 29 beginnen in hetzelfde punt, omdat de begintemperatuur hetzelfde is. De twee grafieken vallen uiteindelijk samen, omdat de eindtemperatuur van de vloeistoffen gelijk wordt aan de temperatuur van de omgeving.
- b ► Waardoor een grafiek in het (T, t) -diagram in het begin steiler omlaag loopt dan aan het eind leg je uit met het temperatuurverschil.
 ΔT is het temperatuurverschil tussen de temperatuur van de beker en de omgevingstemperatuur. Hoe groter het temperatuurverschil, hoe meer warmte naar de omgeving gaat. In figuur 29 is ΔT in het begin groter dan op een later tijdstip.
 Dus de hoeveelheid warmte die per seconde wordt afgestaan is in het begin het grootst, waardoor de temperatuur in het begin sneller daalt.
- c ► Welke beker hoort bij lijn P leg je uit met de contactoppervlakte met de lucht.
 De warmteafgifte is groter als het (contact)oppervlak met de lucht groter is.
 Lijn P is in het begin minder steil dan lijn Q. Dus bij P is de warmteafgifte in het begin kleiner dan bij lijn Q.
 Het contactoppervlak met lucht is het kleinst bij het hoge, smalle kopje.
 Dus hoort grafiek P bij het hoge, smalle kopje.
- d ► Welke vloeistof het snelst afkoelt, beredeneer je aan de hand van de temperatuurdalingen van de vloeistoffen.
 De vloeistof met de grootste temperatuurdaling koelt het snelst af.

- De temperatuurdaling van een vloeistof bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c_{\text{melk}} = 3,9 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \text{ (zie Binas tabel 11)}$$

$$c_{\text{melk}} < c_{\text{water}}$$

$$m_{\text{melk}} = m_{\text{water}}$$

- De hoeveelheid warmte Q die in één seconde door de wand van een beker gaat, beredeneer je met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

λ , A en d zijn hetzelfde (want de bekervallen zijn precies hetzelfde).

ΔT aan weerszijden van de beker is hetzelfde (aan het begin).

Dus P is hetzelfde en dus is de hoeveelheid warmte Q die in één seconde door de wand gaat in het begin bij elke beker hetzelfde.

$$Q_{\text{melk}} = Q_{\text{water}}$$

- Invullen van de verschillen in Q , c en m in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$(Q_{\text{melk}} \text{ gelijk aan } Q_{\text{water}}) = (c_{\text{melk}} \text{ kleiner dan } c_{\text{water}}) \times (m_{\text{melk}} \text{ gelijk aan } m_{\text{water}}) \times \Delta T$$

Dus ΔT_{melk} is groter dan ΔT_{water} .

Bij dezelfde warmtestroom is de temperatuurdaling van melk groter dan die van water.

Dus melk koelt sneller af dan water.

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

Opgave 24

- a ► De massa m van het stuk ijzer bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q_{\text{ijzer}} = c_{\text{ijzer}} \cdot m_{\text{ijzer}} \cdot \Delta T_{\text{ijzer}}$$

$$c_{\text{ijzer}} = 0,46 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 8})$$

$$\Delta T_{\text{ijzer}} = 100 - 35 = 65 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

- De warmte Q_{ijzer} die het stuk ijzer afstaat, bereken je met de warmte die het water opneemt.

$$Q_{\text{water}} = Q_{\text{ijzer}}$$

- De warmte Q_{water} die het water opneemt, bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q_{\text{water}} = c_{\text{water}} \cdot m_{\text{water}} \cdot \Delta T_{\text{water}}$$

$$c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 11})$$

$$m_{\text{water}} = 120 \text{ g} = 120 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{water}} = 35 - 18 = 17 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$\text{Invullen levert: } Q_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \times 120 \cdot 10^{-3} \times 17 = 8,527 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\text{Dus } Q_{\text{ijzer}} = 8,527 \cdot 10^3 \text{ J}$$

- Invullen van Q_{ijzer} , c_{ijzer} en ΔT_{ijzer} in de formule $Q_{\text{ijzer}} = c_{\text{ijzer}} \cdot m_{\text{ijzer}} \cdot \Delta T_{\text{ijzer}}$:

$$8,527 \cdot 10^3 = 0,46 \cdot 10^3 \cdot m_{\text{ijzer}} \times 65$$

$$m_{\text{ijzer}} = \frac{8,527 \cdot 10^3}{0,46 \cdot 10^3 \times 65} = 0,2852 \text{ kg}$$

$$\text{Afgerond: } m_{\text{ijzer}} = 0,29 \text{ kg.}$$

- b ► De massa $m_{\text{messaging}}$ van het blokje messaging beredeneer je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q_{\text{messaging}} = c_{\text{messaging}} \cdot m_{\text{messaging}} \cdot \Delta T_{\text{messaging}}$$

$Q_{\text{messaging}}$ is gelijk, want de hoeveelheid water is hetzelfde en het water krijgt dezelfde eindtemperatuur.

$\Delta T_{\text{messaging}}$ is gelijk, want de begin- en eindtemperatuur van het blokje messaging is gelijk.

$c_{\text{messaging}}$ is kleiner dan c_{ijzer} , want $c_{\text{messaging}} = 0,38 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (zie Binas tabel 9)

Invullen van de veranderingen levert:

$$(Q_{\text{messaging}} \text{ is gelijk}) = (c_{\text{messaging}} \text{ is kleiner dan } c_{\text{ijzer}}) \cdot m_{\text{messaging}} \cdot (\Delta T_{\text{messaging}} \text{ is gelijk})$$

Dus is $m_{\text{messaging}}$ groter om dezelfde hoeveelheid water op te warmen naar 35 °C.

- c ► De warmtestroom P bereken je met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

$$\lambda = 0,93 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 10A})$$

$$A = 95 \text{ cm}^2 = 95 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 35 - 20 = 15 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$d = 2,0 \text{ mm} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } P = 0,93 \times 95 \cdot 10^{-4} \times \frac{15}{2,0 \cdot 10^{-3}} = 66,26 \text{ W}$$

$$\text{Afgerond: } P = 66 \text{ W.}$$

5.4 Warmte zonder gas

Opgave 25

- a Warmtewisselaar 1 is de **verdampelaar**. Op deze plek wordt warmte **onttrokken** aan de lucht **binnen** de koelkast.

Warmtewisselaar 2 is de **condensor**. Op deze plek wordt warmte **afgegeven** aan de lucht **buiten** de koelkast.

Het koelmiddel stroomt in de koelkast van **B naar A**.

Toelichting:

De vloeistof in warmtewisselaar 1 verdampt door de warmte in de koelkast. Het ontstane gas wordt naar de compressor (zwarte 'ketel') geleid om samengeperst te worden. De leiding die hiernaartoe loopt komt van A. Dus het koelmiddel loopt van B naar A.

- b Zie de uitwerking in de tabel.

	Warmtepomp koelkast		Warmtepomp centrale verwarming	
	E_{in}	E_{nuttig}	E_{in}	E_{nuttig}
Elektrische energie in	x		x	
Warmte in		x		
Warmte uit				x

Toelichting

Bij de koelkast is het nuttig dat 'warmte in' die naar de pomp gaat uit de koelkast gehaald wordt.

Bij de warmtepomp is het nuttig dat 'warmte uit' het huis in gaat.

- ► Of het rendement η verandert, bereken je met de formule voor rendement.

$$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}}$$

Bij een koelkast is het uiteindelijke resultaat dat 'warmte in' de koelkast uit gaat.

Voor de koelkast geldt dus: $\eta = \frac{\text{warmte in}}{\text{elektrische energie in}}$

Bij een centrale verwarming wordt zowel 'warmte in' als 'elektrische energie in' omgezet in warmte die in de centrale verwarming wordt gebruikt.

Voor de centrale verwarming geldt dus: $\eta = \frac{\text{warmte in} + \text{elektrische energie in}}{\text{elektrische energie in}}$

Dus het rendement van de warmtepomp van de koelkast is kleiner dan dat van de warmtepomp van de centrale verwarming.

Opgave 26

- a Zand is lastiger door buizen te transporteren dan water en olie.

- b ► Dat water de laagste eindtemperatuur krijgt bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q_{\text{water}} = c_{\text{water}} \cdot m_{\text{water}} \cdot \Delta T_{\text{water}}$$

Q is gelijk

c_{water} is groter dan c_{aardolie} (zie tabel van figuur 38)

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

- De massa m bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ_{water} is groter dan ρ_{aardolie} (zie tabel van figuur 38)

V is gelijk, want het gaat om 1 m^3 .

Invullen levert: (ρ_{water} is groter dan ρ_{aardolie}) $= \frac{m}{V \text{ is gelijk}}$

Dus m_{water} is groter dan m_{aardolie} .

- Invullen van de veranderingen van Q , c en m in de formule $Q_{\text{water}} = c_{\text{water}} \cdot m_{\text{water}} \cdot \Delta T_{\text{water}}$:

(Q is gelijk) $= (c_{\text{water}}$ is groter dan $c_{\text{aardolie}}) \cdot (m_{\text{water}}$ is groter dan $m_{\text{aardolie}}) \cdot \Delta T_{\text{water}}$

ΔT_{water} is dus kleiner dan die van aardolie.

Water krijgt de laagste eindtemperatuur.

- c ► Waardoor een kleiner temperatuurverschil ΔT met de omgeving gunstig is leg je uit met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

De waarden λ , A en d zijn gelijk.

ΔT is kleiner.

Invullen levert: $P = (\lambda \text{ is gelijk}) \cdot (A \text{ is gelijk}) \cdot \frac{(\Delta T \text{ is kleiner})}{(d \text{ is gelijk})}$

Dus de warmtestroom naar de omgeving is kleiner. Hierdoor is de opgeslagen warmte groter.

- d Als er een lek ontstaat in het systeem, is water niet schadelijk voor het milieu en aardolie wel.

- e Er wordt op twee manieren energie bespaard:

- 1 Het koude grondwater wordt in de zomer als koeling gebruikt voor het huis.
(Het water wordt dan verwarmd en teruggepompt in de grond.)
- 2 Het opgewarmde water kan in de winter weer gebruikt worden om het huis te verwarmen.

Opgave 27

- a ► Dat de warmtestromen in figuur 39 horen bij de wintermaanden leid je af van de waterstromen uit en naar het gebouw.

In figuur 39 stroomt koud water uit het gebouw en stroomt warm water terug naar het gebouw. Het gebouw wordt dus opgewarmd en dat gebeurt in de wintermaanden.

- b ► Dat de warmteoverdracht P beter is bereken je met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

De warmteoverdracht is beter als de warmtestroom groter is.

- 1 Hoe groter de oppervlakte A , hoe groter de warmtestroom is. Een spiraalvormige leiding is langer dan een rechte leiding en heeft dan een groter oppervlak.
- 2 Hoe groter de thermische geleidbaarheid λ (de warmtegeleidingscoëfficiënt), hoe groter de warmtestroom is. Koper heeft een grotere thermische geleidbaarheid dan plastic.
- 3 Er is een warmtestroom als er een temperatuurverschil is tussen het water in de spiraalvormige leiding en het water in de warmtewisselaar. Bij een tegenstroomprincipe is er ook nog een warmtestroom als het warme water in de spiraalvormige leiding bijna de warmtewisselaar verlaat. Er is dan daar nog een klein temperatuurverschil tussen het water in de spiraalvormige leiding en het instromende warme water uit de bodem.

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

Opgave 28

- a ► De buisdiameter d bereken je met de formule voor de oppervlakte van een cirkel.

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

- De (minimale) oppervlakte A bereken je met de formule voor debiet.

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = A \cdot v$$

$$\Delta V = 156 \text{ m}^3$$

$$\Delta t = 1 \text{ uur} = 3600 \text{ s}$$

$$v = 3,8 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } \frac{156}{3600} = A \cdot 3,8$$

$$A = \frac{156}{3600 \times 3,8} = 1,14 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

- Invullen van A in de formule $A = \frac{1}{4} \pi d^2$

$$1,14 \cdot 10^{-2} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 1,14 \cdot 10^{-2}}{\pi}} = 0,12048 \text{ m}$$

De buis moet dus minstens een diameter van $0,120 \text{ m} = 120 \text{ mm}$ hebben.

De aannemer moet dus de buis met diameter 125 mm kiezen.

- b ► Het temperatuurverschil ΔT_{af} van de afgevoerde lucht bereken je met de formule voor de soortelijke warmte voor de opgenomen warmte en voor de afgevoerde warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Q is gelijk, want de warmte die wordt afgestaan is gelijk aan de warmte die de buitenlucht opneemt.

c is gelijk, want het gaat in beide gevallen om lucht.

m is gelijk, want de hoeveelheid aangevoerde lucht is gelijk aan de hoeveelheid afgevoerde lucht.

$$c \cdot m \cdot \Delta T_{\text{op}} = c \cdot m \cdot \Delta T_{\text{af}}$$

$$\text{Dus } \Delta T_{\text{op}} = \Delta T_{\text{af}}$$

$$\text{Invullen van de temperaturen uit figuur 40 levert: } 19,2 - 8,2 = 21,0 - T$$

$$T = 10,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- c Bij het ventileren van de lucht in huis wordt energie bespaard, omdat een deel van de warmte die bij normaal ventileren verloren zou gaan, wordt teruggewonnen met behulp van de warmtewisselaar. (Voor de aandrijving van de ventilatoren is energie nodig, maar dat is veel minder dan het opwarmen van de lucht van $8,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ naar $19,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ met aardgas of een warmtepomp.)

Opgave 29

- a ► De totale warmtestroom P bereken je met de definitie van de U -waarde, de totale oppervlakte aan glas en het temperatuurverschil.

$$U = 5,7 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{De totale oppervlakte aan glas is } 2,0 \times 2,0 \times (1,5 \times 2,0) = 12,0 \text{ m}^2.$$

$$\text{Het temperatuurverschil is } 20,0 - 7,0 = 13,0 \text{ K. } (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$\text{De totale warmtestroom } P = 5,7 \times 12,0 \times 13,0 = 8,892 \cdot 10^2 \text{ W.}$$

$$\text{Afgerond: } P = 8,9 \cdot 10^2 \text{ W.}$$

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

- b ► Het temperatuurverschil bij het glas bereken je met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T_{\text{glas}}}{d}$$

$$P = 8,9 \cdot 10^2 \text{ W}$$

$$\lambda = 0,93 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 10A})$$

$$A = 12,0 \text{ m}^2$$

$$d = 4,0 \text{ mm} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } 8,9 \cdot 10^2 = 0,93 \times 12,0 \cdot \frac{\Delta T_{\text{glas}}}{4,0 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Delta T_{\text{glas}} = \frac{8,9 \cdot 10^2 \times 4,0 \cdot 10^{-3}}{0,93 \times 12,0} = 0,3190 \text{ K}$$

Dus ΔT_{glas} is afgerond $0,32 \text{ }^\circ\text{C}$. ($\Delta T_{\text{Celsius}} = \Delta T_{\text{kelvin}}$)

- c ► De totale dikte van de luchtlagen bereken je met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T_{\text{lucht}}}{d}$$

$$P = 8,9 \cdot 10^2 \text{ W}$$

$$\lambda = 24 \cdot 10^{-3} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 12})$$

$$A = 12,0 \text{ m}^2$$

$$\Delta T_{\text{lucht}} = 13,0 - 0,32 = 12,68 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$\text{Invullen levert: } 8,9 \cdot 10^2 = 24 \cdot 10^{-3} \times 12,0 \times \frac{12,68}{d}$$

$$d = 24 \cdot 10^{-3} \times 12,0 \times \frac{12,68}{8,9 \cdot 10^2} = 4,103 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Afgrond: $d = 4,1 \text{ mm}$.

- d Hr++-glas laten aanbrengen.

Isoleren.

Warmtepomp gebruiken in plaats van cv-installatie op aardgas.

Opgave 30

- a ► Het debiet Q bereken je met de formule voor debiet.

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\Delta V = 5,7 \text{ L} = 5,7 \text{ dm}^3 = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\Delta t = 1 \text{ min} = 60,0 \text{ s}$$

$$\text{Invullen levert: } Q = \frac{5,7 \cdot 10^{-3}}{60,0} = 9,50 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Afgerond: $Q = 9,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

- b ► De temperatuurstijging bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

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

- De warmte Q bereken je met de tijd en het nuttig vermogen, dat wil zeggen met de hoeveelheid warmte die per seconde wordt geleverd door de warmtepomp.

$$\Delta t = 1 \text{ min} = 60,0 \text{ s}$$

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

- Het nuttig vermogen P_{nuttig} bereken je met de formule voor rendement.

$$\eta_{\text{warmtepomp}} = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}}$$

$$\eta = 4,2$$

$$P_{\text{in}} = 2,3 \text{ kW} = 2,3 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$\text{Invullen levert: } 4,2 = \frac{P_{\text{nuttig}}}{2,3 \cdot 10^3}$$

$$P_{\text{nuttig}} = 4,2 \times 2,3 \cdot 10^3 = 9,66 \cdot 10^3 \text{ W}$$

- Gebruik van t en P_{nuttig} om de warmte Q te berekenen:

$$Q = 60,0 \times 9,66 \cdot 10^3 = 5,796 \cdot 10^5 \text{ J}$$

- De massa bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = 0,9982 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 11})$$

$$V = 5,7 \text{ dm}^3 = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Invullen levert: } 0,9982 \cdot 10^3 = \frac{m}{5,7 \cdot 10^{-3}}$$

$$m = 0,9982 \cdot 10^3 \times 5,7 \cdot 10^{-3} = 5,69 \text{ kg}$$

- Invullen van Q , c en m in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$5,796 \cdot 10^5 = 4,18 \cdot 10^3 \times 5,69 \times \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{5,796 \cdot 10^5}{4,18 \cdot 10^3 \times 5,69} = 24,369 \text{ K} = 24,369 \text{ }^\circ\text{C}$$

Afgerond: $\Delta T = 24 \text{ }^\circ\text{C}$.

- c De temperatuurstijging is in werkelijkheid lager, omdat er ook warmte wordt gebruikt om de buizen te verwarmen.

Opgave 31

- a ► Het aantal jaren om de kosten terug te verdienen bereken je met de meerprijs van de warmtepomp ten opzichte van de hr-ketel en het bedrag dat je per jaar bespaart aan energiekosten.

$$t = \frac{\text{meerprijs warmtepomp}}{\text{besparing energiekosten}}$$

$$\text{meerprijs warmtepomp is } \text{€ } 7000 - \text{€ } 1090 = \text{€ } 5910$$

- De besparing aan energiekosten per jaar bereken je met het verschil in de energiekosten per jaar voor gas en voor elektrische energie.

$$\text{besparing energiekosten} = \text{energiekosten gas} - \text{energiekosten elektriciteit}$$

$$\text{Energiekosten voor } 1200 \text{ m}^3 \text{ gas zijn: } 1200 \times 1,30 = \text{€ } 1560,00.$$

$$\text{Energiekosten voor } 1951 \text{ kWh elektriciteit zijn: } 1951 \times 0,34 = \text{€ } 663,34.$$

$$\text{Invullen levert: besparing energiekosten} = 1560,00 - 663,34 = \text{€ } 896,66$$

- Invullen van de meerprijs en de besparing aan energiekosten in de formule

$$t = \frac{\text{meerprijs warmtepomp}}{\text{besparing energiekosten}}:$$

$$t = \frac{5910}{896,66} = 6,5911 \text{ jaar}$$

Afgerond: $t = 6,6 \text{ jaar}$.

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

- b ► Het rendement η van de warmtepomp bereken je met de formule voor rendement.

$$\eta_{\text{warmtepomp}} = \frac{E_{\text{nuttig, warmtepomp}}}{E_{\text{in, warmtepomp}}}$$

$$E_{\text{in, warmtepomp}} = 1951 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{nuttig, warmtepomp}} = E_{\text{nuttig, hr-ketel}}$$

- De nuttige energie $E_{\text{nuttig, hr-ketel}}$ bereken je met de geïnvesteerde energie $E_{\text{in, hr-ketel}}$ en het rendement.

De nuttige energie $E_{\text{nuttig, hr-ketel}}$ is gelijk aan de geïnvesteerde energie $E_{\text{in, hr-ketel}}$ omdat het rendement gelijk is aan 1,0.

- De geïnvesteerde energie $E_{\text{in, hr-ketel}}$ bereken je met de formule voor chemische energie.

$$E_{\text{in, hr-ketel}} = E_{\text{ch}} = r_V \cdot V$$

$$r_V = 8,9 \text{ kWh m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 28B})$$

$$V = 1200 \text{ m}^3$$

$$\text{Invullen levert: } E_{\text{in, hr-ketel}} = E_{\text{ch}} = 8,9 \times 1200 = 1,068 \cdot 10^4 \text{ kWh}$$

$$\text{Dus } E_{\text{nuttig, hr-ketel}} = E_{\text{in, hr-ketel}} = 1,068 \cdot 10^4 \text{ kWh}$$

$$\text{Dus } E_{\text{nuttig, warmtepomp}} = 1,068 \cdot 10^4 \text{ kWh}$$

- Invullen van $E_{\text{nuttig, warmtepomp}}$ en $E_{\text{in, warmtepomp}}$ in de formule $\eta_{\text{warmtepomp}} = \frac{E_{\text{nuttig, warmtepomp}}}{E_{\text{in, warmtepomp}}}$.

$$\eta = \frac{1,068 \cdot 10^4}{1951} = 5,4741$$

$$\text{Afgerond: } \eta = 5,5.$$

- c ► Hoeveel procent p de CO₂-uitstoot wordt verminderd, bereken je met de afname van het gasverbruik V_{af} en het gasverbruik $V_{\text{hr}} = 1200 \text{ m}^3$, dat overeenkomt met 100%.

$$1200 \text{ m}^3 \triangleq 100\%$$

$$V_{\text{af}} \triangleq p\%$$

- V_{af} bereken je met V_{hr} van het gasverbruik in de hr-ketel en het gasverbruik V_{centrale} in de elektriciteitscentrale.

$$V_{\text{af}} = V_{\text{hr}} - V_{\text{centrale}}$$

$$V_{\text{hr}} = 1200 \text{ m}^3$$

- Het gasverbruik V_{centrale} in de elektriciteitscentrale bereken je met de hoeveelheid benodigde chemische energie voor de elektriciteitscentrale en de verbrandingswarmte van gas.

$$E_{\text{ch}} = r_V \cdot V_{\text{centrale}}$$

$$r_V = 8,9 \text{ kWh m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 28B})$$

- De hoeveelheid benodigde chemische energie voor de elektriciteitscentrale bereken je met het rendement van de elektriciteitscentrale en de nuttig geleverde elektrische energie aan de warmtepomp.

$$\eta_{\text{centrale}} = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}}$$

$$\eta_{\text{centrale}} = 0,40, \text{ want het rendement van de centrale is 40\%.$$

$$E_{\text{nuttig}} = 1951 \text{ kWh}$$

$$\text{Invullen levert: } 0,40 = \frac{1951}{E_{\text{in}}}$$

$$E_{\text{in}} = \frac{1951}{0,40} = 4,88 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

► Invullen van E_{in} en r_V in de formule $E_{\text{ch}} = r_V \cdot V_{\text{centrale}}$:

$$4,88 \cdot 10^3 = 8,9 \times V_{\text{centrale}}$$

$$V_{\text{centrale}} = \frac{4,88 \cdot 10^3}{8,9} = 548 \text{ m}^3 \text{ gas}$$

► Invullen van V_{centrale} en V_{hr} in de formule $V_{\text{af}} = V_{\text{hr}} - V_{\text{centrale}}$:

$$V_{\text{af}} = 1200 - 548 = 652 \text{ m}^3$$

► Invullen van V_{af} in het schema waarmee je het kruisproduct bepaalt:

$$1200 \text{ m}^3 \triangleq 100\%$$

$$652 \triangleq p\%$$

$$p = \frac{652 \times 100\%}{1200} = 54,33\%$$

Afgerond: $p = 54\%$.

d De indirecte CO₂-uitstoot is minder doordat een gedeelte van de elektrische energie wordt verkregen uit zonne-energie en/of windenergie.

e Als het rendement van de hr-ketel lager is dan 1, dan:

a verbrandt de hr-ketel meer gas om dezelfde hoeveelheid warmte aan het water van de verwarming af te geven. De terugverdientijd is dan kleiner.

b blijft de hoeveelheid warmte die het water van de verwarming moet opnemen hetzelfde. Het rendement van de warmtepomp verandert dus niet.

c wordt er meer gas verbruikt. Dat betekent dat de teller relatief meer toeneemt dan de noemer. Dus de uitkomst van vraag c wordt groter.

$$\text{Getallenvoorbeeld: } \frac{1263 - 548}{1263} \times 100 = \frac{715}{1263} \times 100 = 57\%$$

5.5 Afsluiting

Opgave 32

- a ► De hoeveelheid warmte om de lucht te verwarmen bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 1,00 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 12})$$

$$\Delta T = 19,0 - 15,0 = 4,0 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

- De massa van de lucht bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = 1,293 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 12})$$

$$V = 400 \text{ m}^3$$

$$\text{Invullen levert: } 1,293 = \frac{m}{400}$$

$$m = 1,293 \times 400 = 5,172 \cdot 10^2 \text{ kg}$$

- Invullen van c , m en ΔT in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$Q = 1,00 \cdot 10^3 \times 5,172 \cdot 10^2 \times 4,0 = 2,069 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } Q = 2,1 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

- b ► De hoeveelheid warmte Q om het beton te verwarmen bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c_{\text{beton}} \text{ is ongeveer } 1 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 10A bij cement (beton)})$$

c is (ongeveer) gelijk

m is groter (Niet alle beton van $1,2 \cdot 10^5 \text{ kg}$ krijgt de temperatuur van 19°C , maar het zal in ieder geval veel meer massa zijn dan de massa aan lucht.)

ΔT is gelijk.

Invullen levert: $Q = (c \text{ is gelijk}) \cdot (m_{\text{beton}} \text{ is groter dan } m_{\text{lucht}}) \cdot (\Delta T \text{ is gelijk})$

Dus de benodigde warmte Q is voor beton groter dan voor lucht.

- c ► De eenheid van c leid je af met de aangepaste formule voor de warmtestroom en de eenheden van P , A en ΔT .

$$P = c \cdot A \cdot \Delta T$$

$$[P] = \text{W}$$

$$[A] = \text{m}^2$$

$$[\Delta T] = \text{K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$\text{Invullen levert: } W = [c] \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

$$[c] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} = \text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

- d ► De hoeveelheid warmte ΔQ die in een stookseizoen door de muren naar buiten gaat, bereken je met de tijd en de warmtestroom P (de hoeveelheid warmte per seconde).

$$Q = P \cdot t$$

$$t = 250 \text{ d} = 250 \times 24 \times 3600 = 2,160 \cdot 10^7 \text{ s}$$

- De warmtestroom P bereken je met de aangepaste formule.

$$P = c \cdot A \cdot \Delta T$$

$$c = 0,80 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

$$A = 114 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 13 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$\text{Invullen levert: } P = 0,80 \times 114 \times 13,0 = 1,19 \cdot 10^3 \text{ W}$$

4 havo hoofdstuk 5 uitwerkingen

- Invullen van P en t in de formule $Q = P \cdot t$:

$$Q = 1,19 \cdot 10^3 \times 2,160 \cdot 10^7 = 2,5704 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } \Delta Q = 2,6 \cdot 10^{10} \text{ J.}$$

- e ► De kostenbesparing k bereken je met de hoeveelheid energie die je bespaart als je de thermostaat het gehele stookseizoen $1,0^\circ\text{C}$ lager zet en de energiekosten bij een temperatuurverschil van 13°C .

De energiekosten bij een temperatuurverschil van 13°C zijn € 2500.

- De energiebesparing Q bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

c is gelijk.

m is gelijk.

$$\text{Invullen levert: } Q = (c \text{ is gelijk}) \cdot (m \text{ is gelijk}) \cdot \Delta T$$

Dus Q is recht evenredig met het temperatuurverschil.

De kostenbesparing k komt dan overeen met de kosten voor een temperatuurverschil van $1,0^\circ\text{C}$.

$$\text{€ } 2500 \triangleq 13^\circ\text{C}$$

$$k \triangleq 1,0^\circ\text{C}$$

$$k = \frac{2500 \times 1,0}{13} = \text{€ } 192,31$$

$$\text{Afgerond: } k = \text{€ } 192.$$

Opgave 33

- a Bij A vloeibaar.
Bij B gedeeltelijk vloeibaar en gedeeltelijk vast.
Bij C vast.
- b Bij A wel.
Bij B wel.
Bij C wel.
- c ► Of de soortelijke warmte c van natriumacetaat groter dan, kleiner dan of gelijk is aan de soortelijke warmte van water, bereken je met de aangepaste formule.
- $$Q = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T$$
- Q is gelijk, want de warmteafgifte is in het eerste uur voor beide kruiken gelijk.
- $\rho_{\text{natriumacetaat}}$ is groter dan ρ_{water} (zie tabel van figuur 44)
- V is gelijk.
- ΔT is gelijk, want in figuur 45 C overlappen de grafieken van water en natriumacetaat elkaar bij 70° .
- Invullen levert: (Q is gelijk) $= c \cdot (\rho_{\text{natriumacetaat}} \text{ is groter dan } \rho_{\text{water}}) \cdot (V \text{ is gelijk}) \cdot \Delta T$ (is gelijk)
- Dus de c van natriumacetaat is kleiner dan de c van water.
- d Strooming
- e ► De tijd t die het duurt om alle kruiken tegelijk op te warmen bereken je met de warmte die door twaalf kruiken wordt opgenomen en de hoeveelheid warmte die het verwarmingselement per seconde levert.
- $$Q = 12 \times 7,0 \cdot 10^5 \text{ J} = 84 \cdot 10^5 \text{ J}$$
- $$1,0 \text{ s} \triangleq 1,2 \text{ kJ} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ J}$$
- $$t \triangleq 84 \cdot 10^5 \text{ J}$$
- $$t = \frac{84 \cdot 10^5 \times 1,0}{1,2 \cdot 10^3} = 7,000 \cdot 10^3 \text{ s}$$
- Afgerond: $t = 7,0 \cdot 10^3 \text{ s}$.