

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

5.1 Het molecuulmodel

Opgave 1

Warmte gaat van een plaats met de hoogste temperatuur naar een plaats met de laagste temperatuur. Als de temperatuur stijgt, neemt de snelheid van de moleculen en de gemiddelde afstand tussen de moleculen toe. De aantrekkende krachten tussen de moleculen nemen dan af.

- Fout.
Er is warmte de kamer uitgegaan.
(Toelichting: kou is geen energievorm.)
- 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, des te sneller bewegen de moleculen.)
- Goed.
- Goed.
- 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

Bij omrekenen van temperaturen gebruik je de formule $T_{\text{Celsius}} = T_{\text{kelvin}} - 273,15$.

- $25 = T_{\text{kelvin}} - 273,15$
 $T_{\text{kelvin}} = 298,15 \text{ K}$
Afgerond: 298 K.
- $-4 = T_{\text{kelvin}} - 273,15$
 $T_{\text{kelvin}} = 269,15 \text{ K}$
Afgerond: 269 K.
- $T_{\text{Celsius}} = 4 - 273,15$
 $T_{\text{Celsius}} = -269,15 \text{ °C}$
Afgerond: -269 °C .
- $T_{\text{Celsius}} = 293 - 273,15$
 $T_{\text{Celsius}} = 19,85 \text{ °C}$
Afgerond: 20 °C .

Opgave 3

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.

Opgave 4

- Dat vast kaarsvet een grotere dichtheid heeft dan vloeibaar kaarsvet verklaar 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 weegt 1 cm^3 vaste stof meer dan 1 cm^3 vloeistof. Dus zakt vast kaarsvet naar de bodem als dit aan vloeibaar kaarsvet wordt toegevoegd.

- Of de snelheid verandert, leg je uit met de verandering van de temperatuur.

In gebied A en C stijgt de temperatuur en neemt de snelheid van de moleculen toe.
In gebied B verandert de temperatuur niet, dus de snelheid van de moleculen ook niet.

- Of de afstand verandert, leg je uit met de gevolgen van warmtetoevoer aan een stof.

In elk gebied neemt de afstand tussen de moleculen toe. 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 de afstand tussen de moleculen te vergroten. Uiteindelijk wordt de aantrekkingskracht tussen de moleculen zo klein, dat de moleculen kriskras langs elkaar gaan bewegen.

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

- d Of de temperatuur van het kaarsvet 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.

Opgave 5

- 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 6

- a Wat er gebeurt met de gemiddelde snelheid, leg je uit met de verandering van de temperatuur.

Als de temperatuur daalt, daalt de (gemiddelde) snelheid van de moleculen.

- b $\Delta T_{\text{Celsius}} = 63 - (-80) = 143 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- c Bij omrekenen van temperaturen gebruik je $T_{\text{Celsius}} = T_{\text{kelvin}} - 273,15$.

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

$$\text{Hieruit volgt: } T_{\text{kelvin}} = T_{\text{Celsius}} + 273,15$$

$$\Delta T_{\text{kelvin}} = (63 + 273,15) - (-80 + 273,15) = 143 \text{ K}$$

- 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 7

- 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, verklaar je met de gevolgen van 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, des te meer zet het bijbehorende wegdek uit.

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.

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

Opgave 8

- a Er geldt $\rho = \frac{m}{V}$ met $m = 1,00 \text{ kg}$.

ijs	$\rho = 0,917 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$	(zie BINAS tabel 10A)
water	$\rho = 0,9982 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$	(zie BINAS tabel 11)
waterdamp	$\rho = 0,598 \text{ kg m}^{-3}$	(zie BINAS tabel 12)

Hieruit volgt:

ijs	$V = 1,090 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, afgerond $V = 1,09 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
water	$V = 1,002 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, afgerond $V = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
waterdamp	$V = 1,672 \text{ m}^3$, afgerond $V = 1,67 \text{ m}^3$

- b Wat er gebeurt met de warmte, beredeneer je met de gevolgen van warmtetoevoer aan een stof.

Als de temperatuur niet stijgt, wordt de warmte gebruikt voor het vergroten van de afstand tussen de moleculen.

Opgave 9

- a Water kookt als overal in de vloeistof dampbellen ontstaan.
b Of er meer water verdampt, leg je uit met het verband tussen 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 de kans op 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 verdampt meer water en ontstaan daardoor meer druppels dan bij een klein oppervlak. Bij een groter oppervlak zijn meer moleculen met voldoende snelheid bij het oppervlak om te ontsnappen dan bij een klein oppervlak.

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

5.2 Transport van warmte

Opgave 10

- a In het water is er warmtetransport door stroming.
- b In het glas is er warmtetransport door geleiding.
- c In de lucht is er warmtetransport door straling en stroming.

Opgave 11

- a In een dekbed zit materiaal waartussen lucht zit.
Lucht is een slechte warmtegeleider.
Door het materiaal is stroming nauwelijks mogelijk.
Sommige dekbedden hebben een glanzend oppervlak waardoor warmte teruggekaatst wordt richting je lichaam.
- b Het beter warm houden verklaar je met een verschil in warmtetransport.

De lucht tussen de veertjes blijft op dezelfde plaats.
Er is dan geen warmtetransport door stroming mogelijk.

Opgave 12

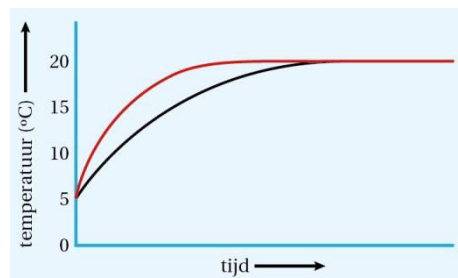
- a Straling.
Het zilverkleurige oppervlak is glanzend. De warmte wordt teruggekaatst richting de vloeistof.
- b Geleiding en stroming.
Hiervoor is een tussenstof nodig.
- c Rubber sluit de fles goed af.
Rubber geleidt de warmte slecht.
- d Koude dranken blijven koud in een thermosfles als er geen warmtetransport vanuit de omgeving is.
Warmtetransport vindt nauwelijks plaats bij gebruik van een thermosfles.
Dus koude dranken blijven koud in een thermosfles.

Opgave 13

A is stroming.
B is straling.
C is geleiding.

Opgave 14

- a De warmtegeleiding is kleiner doordat gas slechter geleidt dan glas.
De warmtestroming is kleiner doordat de afstand tussen de twee glasplaten zo klein is dat het gas bijna niet kan stromen.
De warmtestraling is kleiner doordat bij hr++-glas een reflecterend laagje op het glas zit.
- b Zie figuur 5.1.



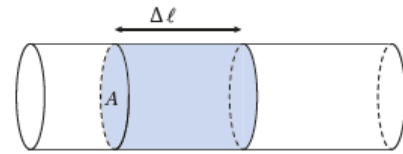
Figuur 5.1

De begin- en eindtemperatuur zijn hetzelfde. Omdat er minder warmte verloren gaat, zal de eindtemperatuur eerder zijn bereikt.

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

Opgave 15

- a Bij de afleiding gebruik je twee formules.
- 1 ΔV is het volume van de cilinder die blauw is weergegeven in figuur 5.2. Stel een formule op voor ΔV met de gegevens in figuur 5.2.
 - 2 Stel een formule op voor de verhouding tussen $\Delta \ell$ en Δt .

**Figuur 5.2**

Zie figuur 5.2

Water stroomt in de tijd Δt door de dwarsdoorsnede A over een afstand ℓ .

Voor het volume water dat door de dwarsdoorsnede is gegaan geldt: $\Delta V = A \cdot \Delta \ell$

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

De verhouding tussen $\Delta \ell$ en Δt is de stroomsnelheid v .

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

- b De snelheid van de lucht in de buis bereken je met de formule voor debiet.
De oppervlakte van de dwarsdoorsnede bereken je met de diameter van de buis.

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

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

$$A = \frac{1}{4} \pi (0,100)^2 = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

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

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

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

$$\frac{30}{3600} = 7,85 \cdot 10^{-3} \times v$$

$$v = 1,06 \text{ m s}^{-1}$$

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

- c schatting breedte deur: $80 \text{ cm} = 0,80 \text{ m}$
 schatting hoogte opening: $1,0 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$
 Dus de oppervlakte van de opening is $A = b \cdot h = 0,01 \times 0,80 = 0,0080 \text{ m}^2 = 8,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.
 De oppervlakte onder de deur is groter dan die van de buis.
 Dus is de snelheid van de lucht onder de deur door kleiner dan in de buis met de ventilator.

Opgave 16

- a Het warmteverlies leg je uit met behulp van de warmtestroom.

De huizen aan beide zijden van de muur hebben een zeer klein temperatuurverschil.

De warmtestroom P is dan klein. Er zal dus per seconde weinig warmteverlies zijn.

- b De hoeveelheid Gronings aardgas die je in een jaar minder stookt, bereken je met de afname van het warmteverlies in een jaar.
 De afname van het warmteverlies in een jaar bereken je met de afname van de warmtestroom en de tijd.

$$E = P \cdot t$$

De afname van de warmtestroom is $120 - 70 = 50 \text{ W}$.

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

Er gaat dus per jaar $3,15 \cdot 10^7 \times 50 = 1,57 \cdot 10^9 \text{ J}$ minder aan warmte verloren.

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

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

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

$$1,57 \cdot 10^9 = 32 \cdot 10^6 \times V$$

$$V = 49,0 \text{ m}^3$$

Afgerond: 49 m³.

- c De besparing aan energie per jaar is $1,57 \cdot 10^9 \text{ J}$ (zie vraag b).

$$\text{De besparing aan energie per maand is } \frac{1,57 \cdot 10^9}{12} = 1,3 \cdot 10^8 \text{ J}.$$

Om 40 kg glaswol te produceren is $40 \times 25 \text{ MJ}$ aan energie nodig.

Dit is $40 \times 25 \cdot 10^6 = 1,0 \cdot 10^9 \text{ J}$.

Geert heeft geen gelijk.

Opgave 17

- a De stookwaarde per kg bereken je met de formule voor de chemische energie voor massa.
De massa bereken je met de formule voor dichtheid.
De chemische energie bereken je met de formule voor chemische energie voor volume.

De stookwaarde van spiritus is $18 \cdot 10^9 \text{ J m}^{-3}$. (zie BINAS tabel 28)

Dus 1 m³ spiritus levert bij verbranding $18 \cdot 10^9 \text{ J}$.

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

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

$$V = 1,00 \text{ m}^3$$

$$0,85 \cdot 10^3 = \frac{m}{1,00}$$

$$m = 0,85 \cdot 10^3 \text{ kg} = 0,85 \cdot 10^6 \text{ g}$$

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

$$E_{\text{ch}} = 18 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$18 \cdot 10^9 = r_m \times 0,85 \cdot 10^6$$

$$r_m = 2,11 \cdot 10^4 \text{ J g}^{-1}$$

Afgerond: $r_m = 2,1 \cdot 10^4 \text{ J g}^{-1} = 21 \text{ kJ g}^{-1}$.

- b De warmtestroom naar de pan met kaasfondue bereken je met de formule voor de warmtestroom.

De hoeveelheid warmte die naar de pan met kaasfondue stroomt, bereken je met het percentage van de warmte die ten goede komt aan de pan met kaasfondue en de hoeveelheid warmte die ontstaat bij de verbranding van spiritus.

De warmte die ontstaat bij de verbranding van spiritus bereken je met de formule voor chemische energie voor massa.

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

$$r_m = 21 \cdot 10^3 \text{ J g}^{-1}$$

$$m = 1,5 \text{ g}$$

$$E_{\text{ch}} = 21 \cdot 10^3 \times 1,5 = 31,5 \cdot 10^3 \text{ J}$$

65% komt ten goede aan de pan met kaasfondue.

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

$$Q = 0,65 \times 31,5 \cdot 10^3 \text{ J} = 20,47 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$P = \frac{Q}{t}$$

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

$$P = \frac{20,47 \cdot 10^3}{60,0} = 3,41 \cdot 10^2 \text{ W}$$

Afgerond: $3,4 \cdot 10^2 \text{ W}$.

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

5.3 Warmtestroom en warmte-uitwisseling

Opgave 18

De hoeveelheid warmte bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.
Het temperatuurverschil in K is gelijk aan het temperatuurverschil in °C.

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

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

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

$$\Delta T_{\text{Celsius}} = 65 - 22 = 43 \text{ °C}$$

$$\text{Dus } \Delta T_{\text{kelvin}} = 43 \text{ K.}$$

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

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

Opgave 19

- a De thermische geleidbaarheid bereken je met de formule voor de warmtestroom.
Het temperatuurverschil in K is gelijk aan het temperatuurverschil in °C.

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

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

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

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

$$\Delta T_{\text{Celsius}} = 37 - 26 = 11 \text{ °C}$$

$$\text{Dus } \Delta T_{\text{kelvin}} = 11 \text{ K.}$$

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

$$\lambda = 2,77 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

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

- b Of je huid een goede warmtegeleider is vergeleken met metalen leg je uit door gegevens in BINAS tabel 8 te vergelijken met het antwoord op vraag a.

De λ van metalen is 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.

- c Bij verdampen ontsnappen de snelste moleculen uit het zweet. Daardoor daalt de temperatuur van het zweet. Daardoor wordt ook het lichaam gekoeld.

Opgave 20

- a Welke stof de kleinste soortelijke warmte heeft, beredeneer je met de formule voor soortelijke warmte.
Bespreek de massa en houd een van de andere grootheden constant.

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

De massa is voor beide grafieken hetzelfde.

Als de hoeveelheid toegevoerde warmte hetzelfde is, stijgt de temperatuur bij stof A meer dan bij stof B.

Dus is de soortelijke warmte van stof A het kleinst.

of

De massa is voor beide grafieken hetzelfde.

Als de temperatuurstijging hetzelfde is, is bij stof A minder warmte nodig dan bij stof B.

Dus is de soortelijke warmte van stof A het kleinst.

- 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.

De soortelijke warmte bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

Het temperatuurverschil in K is gelijk aan het temperatuurverschil in °C.

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

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

Voor stof A geldt bijvoorbeeld:

$$Q = 15 \text{ kJ} = 15 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\Delta T_{\text{Celsius}} = 50 - 20 = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{kelvin}} = 30 \text{ K}$$

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

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

$$c = 2,50 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

De soortelijke warmte van water is $4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. (zie BINAS tabel 11)

Dus stof A is geen water. Dan is stof B dus water.

Opgave 21

- a De massa van de lucht bereken je met de formule voor de dichtheid.
Het volume van de lucht bereken je met de afmetingen van de kamer.

$$V = \ell \cdot b \cdot h$$

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

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

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

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

$$m = 99,2 \text{ kg}$$

- b Hoeveel m^3 Gronings aardgas minstens nodig is, bereken je met de stookwaarde van Gronings aardgas en de hoeveelheid warmte die nodig is.
De hoeveelheid warmte bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.
De soortelijke warmte van lucht zoek je op in BINAS.

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

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

$$m = 99,2 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{Celsius}} = 21,0 - 16,0 = 5,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{kelvin}} = 5,0 \text{ K}$$

$$Q = 99,2 \times 1,0 \cdot 10^3 \times 5,0 = 4,96 \cdot 10^5 \text{ J}$$

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

De stookwaarde van Gronings aardgas $r_v = 32 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3}$. (zie BINAS tabel 28B)

$$4,96 \cdot 10^5 = 32 \cdot 10^6 \times V$$

$$V = 0,0155 \text{ m}^3$$

Afgerond: $V = 0,016 \text{ m}^3$.

- c 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 Welke lucifer als eerste zou gaan branden leg je uit met de beschrijving van het begrip thermische geleidbaarheid.

Als de afmetingen hetzelfde zijn, geleidt een metaal de warmte beter naarmate de thermische geleidbaarheid groter is. Dan wordt het metaal bij de kop van de lucifer sneller warm genoeg om te ontbranden.

Uit tabel 5.5 van het leerboek blijkt dat koper de hoogste thermische geleidbaarheid heeft.

Koper geleidt de warmte dus het best.

De lucifer in koper zou als eerste gaan branden als je kijkt naar de thermische geleidbaarheid.

- b De formule leid je af met de formules voor soortelijke warmte en dichtheid.

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

Er zijn twee formules van belang: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ en $\rho = \frac{m}{V}$.

Uit $\rho = \frac{m}{V}$ volgt $m = \rho \cdot V$.

Invullen 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, leg je uit met de gegeven formule.
Toon aan dat het product $c \cdot \rho$ bepaalt bij welke stof de minste warmte nodig is.

De staafjes hebben hetzelfde volume. De temperatuurstijging is voor elk staafje hetzelfde (namelijk één graad = één kelvin). De minste warmte is dan nodig bij het metaal met het kleinste product $c \cdot \rho$. Zie tabel 5.1.

	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

Tabel 5.1

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

- d Volgens $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$ wordt per seconde meer warmte aan de omgeving afgegeven als de oppervlakte groter is.

Het oppervlak van een koelelement met ribben is veel groter dan dat van een blok aluminium met dezelfde massa.

- e Volgens $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$ wordt per seconde meer warmte aan de omgeving afgegeven als het temperatuurverschil groot is.

Door te ventileren vervang je de opgewarmde lucht door koude lucht. Het temperatuurverschil tussen het koelelement en de omgeving blijft dan het grootst.

Opgave 23

- a De twee grafieklijnen beginnen in hetzelfde punt.
b Een steilere lijn geeft aan dat de temperatuur per seconde meer daalt dan bij een minder steile lijn.
De temperatuur daalt per seconde meer als er per seconde meer warmte wordt afgestaan aan de omgeving.
Dat is het geval als het temperatuurverschil met de omgeving het grootst is.

In het begin is het temperatuurverschil met de omgeving het grootst en wordt per seconde de meeste warmte afgestaan. Dus dan loopt een grafiek het steilst.

- c Lijn P is in het begin minder steil dan lijn Q. Dus bij P is de warmteafgifte per seconde in het begin kleiner dan bij lijn Q.
De warmteafgifte per seconde is kleiner als het contactoppervlak van het water met de lucht kleiner is.

Het contactoppervlak met lucht is het kleinst bij het hoge, smalle kopje.

Grafieklijn P hoort bij het hoge, smalle kopje.

- d Als de temperatuur van het water gelijk is aan de omgevingstemperatuur is er geen temperatuurverschil meer.
Dan is er (netto) geen warmtetransport meer.
e De snelheid van afkoelen beredeneer je met de formule voor soortelijke warmte.
De massa beredeneer je met de formule voor dichtheid.

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

De hoeveelheid warmte beredeneer je met de formule voor de warmtestroom.

De bekertjes zijn precies hetzelfde, dus de warmtestroom door de wand is bij beide bekertjes hetzelfde.

De dichtheid van melk is ongeveer $1,03 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ en die van water $0,9982 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.
Dus in beide bekertjes zit ongeveer dezelfde massa aan vloeistof.

De soortelijke warmte van melk is $3,9 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ en die van water $4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.
De soortelijke warmte van melk is kleiner dan die van water.
Bij dezelfde uitstroom van warmte is de temperatuurdaling van melk groter dan die van water.
Dus melk koelt sneller af dan water.

Opgave 24

- a De massa van het stuk ijzer bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.
De warmte die het stuk ijzer afstaat, bereken je met de warmte die het water opneemt.
De warmte die het water opneemt, bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

De warmte die het water opneemt is gelijk aan de warmte die het ijzer afstaat.

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

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

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

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

$$Q_{\text{op}} = 4,18 \cdot 10^3 \times 120 \cdot 10^{-3} \times 17$$

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

$$Q_{\text{af}} = Q_{\text{op}} = 8,527 \cdot 10^3 \text{ J}$$

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

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

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

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

$$m_{\text{ijzer}} = 0,285 \text{ kg}$$

Afgerond: 0,29 kg.

- b De massa van het blokje messing beredeneer je met de formule voor soortelijke warmte.

De hoeveelheid water is hetzelfde en het water krijgt dezelfde eindtemperatuur.
Dus de hoeveelheid warmte die het water heeft opgenomen is hetzelfde.
Dus heeft het blokje messing dezelfde hoeveelheid warmte afgestaan als het blokje ijzer.

Er geldt dus: $c_{\text{ijzer}} \cdot m_{\text{ijzer}} \cdot \Delta T_{\text{ijzer}} = c_{\text{messing}} \cdot m_{\text{messing}} \cdot \Delta T_{\text{messing}}$
 ΔT is voor beide blokjes hetzelfde.

$$c_{\text{messing}} = 0,38 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \text{ (zie BINAS tabel 9)}$$

Deze is kleiner dan de soortelijke warmte van ijzer. Dus er is een grotere massa van messing nodig om dezelfde hoeveelheid warmte op te warmen naar 35°C .

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

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

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

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

$$\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}} = 35 - 20 = 15 \text{ K}$$

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

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

Afgerond: 66 W.

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

5.4 Warmte zonder gas

Opgave 25

a

Warmtewisselaar 1 is de *condensor* / *verdampelaar*. Op deze plek wordt warmte *onttrokken* / *afgegeven* aan de lucht *buiten* / *binnen* de koelkast.

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

b Van B naar A.

Bij A komt (relatief) warm koelmiddel warmtewisselaar 1 uit. Het gaat dan naar de compressor waar het koelmiddel bij samenpersen (nog) warmer wordt.

In warmtewisselaar 2 wordt die warmte afgegeven aan de buitenlucht.

c Zie tabel 5.2.

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

Tabel 5.2

d 'Warmte uit' is voor beide apparaten de som van 'warmte in' en 'elektrische energie in'.

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

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

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

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 temperatuur krijgt bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

De massa bepaal je met de formule voor de dichtheid.

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

Volgens tabel 5.7 in het leerboek is de dichtheid van water groter dan die van aardolie.

Dus 1 m³ water heeft een grotere massa dan 1 m³ aardolie.

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

De hoeveelheid warmte is hetzelfde.

1 m³ water heeft een grotere massa dan 1 m³ aardolie.

Volgens de tabel is de soortelijke warmte van water groter dan die van aardolie.

De temperatuurstijging van water is dus kleiner dan die van aardolie.

Water krijgt de laagste temperatuur.

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

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

Opgave 27

- a In figuur 5.40 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 De warmteoverdracht is beter als de warmtestroom groter is.

De warmtestroom wordt bepaald door $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$.

- 1 Hoe groter de oppervlakte A , des te groter is de warmtestroom. Een spiraalvormige leiding is langer en heeft dan een groter oppervlak.
- 2 Hoe groter de thermische geleidbaarheid λ (de warmtegeleidingscoëfficiënt), des te groter is de warmtestroom. Koper heeft een grotere thermische geleidbaarheid dan plastic.
- 3 Hoe groter het temperatuurverschil ΔT , des te groter is de warmtestroom. Bij een tegenstroomprincipe is er nog een temperatuurverschil als het warme water in de koperen leiding bijna de warmtewisselaar verlaten heeft.

Opgave 28

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

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

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

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

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

$$\frac{156}{3600} = A \times 3,8$$

$$A = 1,14 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

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

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

$$d = 0,120 \text{ m} = 120 \text{ mm}$$

De buis moet dus minstens een diameter van 120 mm hebben.

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

- b De temperatuur van de afgevoerde lucht bereken je met de formule voor soortelijke warmte.
De hoeveelheid afgevoerde warmte bereken je met de hoeveelheid aangevoerde warmte.

$$Q_{\text{aangevoerd}} = Q_{\text{afgevoerd}}$$

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

De soortelijke warmte en de massa's zijn voor de beide luchtstromen gelijk.

Dus geldt:

$$\Delta T_{\text{aan}} = \Delta T_{\text{af}}$$

$$19,2 - 8,2 = 21,0 - T$$

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

Opgave 29

- a De totale warmtestroom bereken je met de definitie van de U -waarde.
Het temperatuurverschil in K is gelijk aan het temperatuurverschil in $^\circ\text{C}$.

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

$$\text{Het temperatuurverschil is } 20,0 - 7,0 = 13,0 \text{ } ^\circ\text{C} = 13,0 \text{ K.}$$

$$\text{De totale warmtestroom is } 5,7 \times 12,0 \times 13,0 = 8,89 \cdot 10^2 \text{ W.}$$

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

- b Het temperatuurverschil bereken je met de formule voor de warmtestroom.
Het temperatuurverschil in K is gelijk aan het temperatuurverschil in $^\circ\text{C}$.

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

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

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

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

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

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

$$8,9 \cdot 10^2 = 0,93 \times 12,0 \cdot \frac{\Delta T}{4,0 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Delta T = 0,318 \text{ K}$$

$$\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}}$$

Dus $\Delta T_{\text{Celsius}}$ is afgerond $0,32 \text{ }^\circ\text{C}$.

- c De warmtestroom is een continu proces: alle warmte die door de ruit gaat, gaat in eenzelfde tijd ook door de luchtlagen.
- d De totale dikte bereken je met de formule voor warmtestroom.
Het temperatuurverschil bereken je met het temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenkant van het glas en het temperatuurverschil tussen de kamer en de buitenlucht.
Het temperatuurverschil in K is gelijk aan het temperatuurverschil in $^\circ\text{C}$.

$$\Delta T_{\text{Celsius}} = 13,0 - 0,32 = 12,68 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{kelvin}} = 12,68 \text{ K}$$

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

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

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

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

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

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

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

Opgave 30

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

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

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

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

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

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

- b De temperatuurstijging bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.
De warmte bereken je met de formule voor warmtestroom.
Het vermogen bereken je met de formule voor rendement.
De massa bereken je met de formule voor de dichtheid.

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

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

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

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

$$m = 5,689 \text{ kg}$$

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

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

$$\eta = 4,2$$

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

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

$$P_{\text{nuttig}} = 9,66 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$P = \frac{Q}{t} \text{ met } P = P_{\text{nuttig}} = 9,66 \cdot 10^3 \text{ J}$$

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

$$9,66 \cdot 10^3 = \frac{Q}{60,0}$$

$$Q = 5,796 \cdot 10^5 \text{ J}$$

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

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

$$m = 5,689 \text{ kg}$$

$$5,796 \cdot 10^5 = 4,18 \cdot 10^3 \times 5,689 \times \Delta T$$

$$\Delta T_{\text{kelvin}} = 24,3 \text{ K}$$

$$\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}}$$

$$\Delta T_{\text{Celsius}} = 24,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

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

- c Er wordt ook warmte gebruikt om de buizen te verwarmen.

Opgave 31

- a Het aantal jaren bereken je met de prijs van de warmtepomp en het bedrag dat je per jaar bespaart aan stookkosten.
Het bedrag dat je bespaart aan stookkosten bereken je met de energiekosten voor gas en de energiekosten voor elektrische energie per jaar.
De energiekosten voor gas bereken je met de gasprijs en de verbruikte hoeveelheid gas per jaar.
De energiekosten voor de warmtepomp bereken je met de gebruikte kWh aan elektrische energie en de kWh-prijs.

$$\text{Prijs voor } 1951 \text{ kWh is: } 1951 \times 0,23 = \text{€ } 448,73$$

$$\text{Prijs voor } 1200 \text{ m}^3 \text{ gas is: } 1200 \times 0,91 = \text{€ } 1092,00$$

$$\text{Besparing per jaar: } 1092,00 - 448,73 = \text{€ } 643,27$$

$$\text{Aantal jaren om terug te verdienen: } \frac{5910}{643,27} = 9,18 \text{ jaar}$$

Afgerond 9,2 jaar.

- b Het rendement van de warmtepomp bereken je met de formule voor rendement.
De nuttige energie per jaar bereken je met de formule voor chemische energie.
Het volume is gelijk aan het energieverbruik van de hr-ketel (per jaar).

De hr-ketel verbruikt 1200 m^3 aardgas per jaar. Het rendement is 1,0.

Dus de warmtepomp levert per jaar dezelfde hoeveelheid energie.

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

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

$$E_{\text{ch}} = 8,9 \times 1200 = 1,068 \cdot 10^4 \text{ kWh}$$

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

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

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

$$\eta_{\text{warmtepomp}} = \frac{1,068 \cdot 10^4}{1951} = 5,47$$

Afgerond: $\eta = 5,5$.

- c Het percentage verschil in CO₂-uitstoot bereken je met het verschil in gasverbruik van de hr-ketel en het gasverbruik in de elektriciteitscentrale.
Het gasverbruik in de elektriciteitscentrale bereken je met de hoeveelheid benodigde energie voor de elektriciteitscentrale en de verbrandingswarmte van gas.
De hoeveelheid benodigde energie voor de elektriciteitscentrale bereken je met het rendement van de elektriciteitscentrale en de nuttig geleverde elektrische energie aan de warmtepomp.

$$\eta_{\text{centrale}} = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \quad \text{Het rendement van de elektriciteitscentrale is 40\%.$$

$$\eta_{\text{centrale}} = 0,40$$

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

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

$$E_{\text{in}} = 4877,5 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{ch}} = r_V \cdot V \text{ met } E_{\text{ch}} = 4877,5 \text{ kWh}$$

$$\text{Stookwaarde Gronings aardgas } r_V = 8,9 \text{ kWh m}^{-3}$$

$$4877,5 = 8,9 \times V$$

$$V = 548 \text{ m}^3 \text{ gas}$$

$$\text{Verskil is gasverbruik: } 1200 - 548 = 652 \text{ m}^3$$

$$\text{Percentage minder uitstoot: } \frac{652}{1200} \times 100\% = 54,3\%$$

Afgerond: 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:
- verbrandt de hr-ketel meer gas om dezelfde hoeveelheid warmte aan het water van de verwarming af te geven. De terugverdientijd is dan kleiner.
 - blijft de hoeveelheid warmte die het water van de verwarming moet opnemen hetzelfde. Het rendement van de warmtepomp verandert dus niet.
 - wordt er meer gas verbruikt. Dat betekent dat de teller relatief meer toeneemt dan de noemer. Dus de uitkomst van vraag c wordt groter.

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

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

5.5 Afsluiting

Opgave 32

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

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

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

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

$$1,293 = \frac{m}{400}$$

$$m = 5,172 \cdot 10^2 \text{ kg}$$

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

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

$$\Delta T = 20,0 - 15,0 = 5,0 \text{ }^\circ\text{C} = 5 \text{ K}$$

$$Q = 1,00 \cdot 10^3 \times 5,172 \cdot 10^2 \times 5,0 = 2,586 \cdot 10^6 \text{ J}$$

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

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

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

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

$$Q = 1 \cdot 10^3 \times 1,2 \cdot 10^5 \times 5,0 = 6,0 \cdot 10^8 \text{ J}$$

$$6,0 \cdot 10^8 \text{ J is veel meer dan } 2,6 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

- c De eenheid van c leid je af met de aangepaste formule en de eenheden van P , A en Δt .

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

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

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

$$[\Delta T] = \text{ }^\circ\text{C} = \text{K}$$

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

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

- d De hoeveelheid warmte ΔQ die in een stookseizoen door de muren naar buiten gaat, bereken je met de warmtestroom P en de tijdsduur van 250 dagen.
De warmtestroom P bereken je met de aangepaste formule.

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

$$P = 0,80 \times 114 \times 13,0$$

$$P = 1185,6 \text{ W}$$

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

$$\Delta t = 250 \text{ dagen} = 250 \times 24 \times 3600 = 2,16 \cdot 10^7 \text{ s}$$

$$1185,6 = \frac{\Delta Q}{2,16 \cdot 10^7}$$

$$\Delta Q = 2,56 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

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

Havo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

- e De kostenbesparing komt overeen met de kosten als het temperatuurverschil $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ is.
Zie tabel 5.3.

$\Delta T\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	13	1,0
kosten (€)	1100	x

Tabel 5.3

$$x = 84,6$$

Afgerond: € 85.

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 De warmteafgifte is in het eerste uur voor beide kruiken gelijk.
Dus $Q_{\text{water}} = Q_{\text{natriumacetaat}}$.

$$(c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T)_{\text{water}} = (c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T)_{\text{natriumacetaat}}$$
Het volume V is voor beide kruiken gelijk.
Bij $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ overlappen de grafieken van water en natriumacetaat elkaar.
Het temperatuurverschil ΔT is voor beide stoffen gelijk.
Er geldt dus $(c \cdot \rho)_{\text{water}} = (c \cdot \rho)_{\text{natriumacetaat}}$.
- Volgens tabel 5.4 in het leerboek is de dichtheid van natriumacetaat groter dan de dichtheid van water.
Dus de soortelijke warmte van natriumacetaat is kleiner dan de soortelijke warmte van water.
- d Stroming.
- e De tijd die het duurt om alle kruiken tegelijk op te warmen bereken je met de formule voor de warmtestroom.

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

$$P = 1,2\text{ kW} = 1,2\text{ kJ/s} = 1,2 \cdot 10^3\text{ J s}^{-1}$$

$$\Delta Q = 12 \times 7,0 \cdot 10^5\text{ J} = 84 \cdot 10^5\text{ J}$$

$$1,2 \cdot 10^3 = \frac{84 \cdot 10^5}{\Delta t}$$

$$\Delta t = 7,0 \cdot 10^3\text{ s}$$