

1

Warmteleer.

Opdracht 1.1

Hoeveel warmte heb je nodig om een stof op te warmen?

a $Q = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q = 0,5 \times 4180 \times 5,4 = 1,13 \cdot 10^4 \text{ J}$

b $Q = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q = 1 \times 4180 \times 15 = 6,3 \cdot 10^3 \text{ J}$

c

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c} \Rightarrow \Delta T = \frac{1 \cdot 10^3}{0,100 \cdot 4180} = 2,39 \text{ } ^\circ\text{C}$$

d

$$m = \frac{Q}{c \cdot \Delta T} \Rightarrow m = \frac{23,2 \cdot 10^3}{900 \cdot 20} = 1,29 \text{ kg}$$

Opgave 1.2

Water is erg geschikt om warmte in op te slaan?

- a Om 1 kg ijs $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ op te warmen heb je 2060 J nodig.
Om 2 kg ijs $2 \text{ } ^\circ\text{C}$ op te warmen heb je dus $4 \times 2060 \text{ J}$ nodig.
- b $c_{\text{lood}} = 130 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$; $c_{\text{koper}} = 390 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
Om 100 g lood op te warmen heb je $(130/390) = 0,33 \times$
zoveel warmte nodig. ($3 \times$ zo weinig).
- c 1 kg lood bevat minder atomen dan 1 kg koper omdat de lood-atomen zwaarder zijn. De soortelijke warmte wordt bepaald door het aantal atomen of moleculen per kg.

Opgave 1.3

Opslag van zonne-energie bij een zonnecollector.

$$m = \rho \cdot V \Rightarrow m = 1000 \times 0,09 = 90 \text{ kg}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 90 \times 4180 \times 50 = 18810000 \text{ J}$$

$$\text{afgerond : } Q = 1,9 \cdot 10^7 \text{ J} = 1,9 \cdot 10^4 \text{ kJ}$$

Opgave 1.4**Welke bodem is het snelst op temperatuur?**

a aluminium: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
 $m = \rho \cdot V \Rightarrow m = 2,70 \times \pi \cdot r^2 \times h$
 $m = 2,70 \times 3,14 \times 15^2 \times 0,5 = 954 \text{ g}$
 $Q = 954 \times 0,897 \times 180 = 1,54 \cdot 10^5 \text{ J}$

roestvrij staal: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
 $m = \rho \cdot V \Rightarrow m = 2700 \times \pi \cdot r^2 \times h$
 $m = 7,90 \times 3,14 \times 15^2 \times 0,5 = 2791 \text{ g}$
 $Q = 2791 \times 0,500 \times 180 = 2,51 \cdot 10^5 \text{ J}$

Als je met hetzelfde vermogen van 1000 W verwarmd duurt het ongeveer 1,6x zo lang om de RVS-bodem op temperatuur te krijgen.

b aluminium: $\text{tijd} = \frac{1,54 \cdot 10^5}{10^3} = 154 \text{ s}$
RVS: $\text{tijd} = \frac{2,51 \cdot 10^5}{10^3} = 251 \text{ s}$
Verschil = $251 - 154 = 97 \text{ s}$

Opgave 1.5**Eenheden bij verwarmen.**

a $t = 15.13 \text{ u} - 14.25 \text{ u} = 48 \text{ min}$
 $E_{\text{elek}} = 850 \text{ J/s} \times (48 \times 60 \text{ s}) = 2,45 \cdot 10^6 \text{ J}$

b $Q = 0,7 \times 2,45 \cdot 10^6 = 1,71 \cdot 10^6 \text{ J}$
 $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
 $1,71 \cdot 10^6 = 6 \times 4180 \times \Delta T \rightarrow \Delta T = 68,3 \text{ } ^\circ\text{C}$

Opgave 1.6**Rendement bij een elektrisch verwarmingsproces.**

a $\frac{\Delta T}{\Delta \text{tijd}} = \frac{40,0 \text{ } ^\circ\text{C}}{16 \text{ min}} = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C/min}$

b $Q = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q = 0,5 \times 4180 \times 40 = 8,36 \cdot 10^4 \text{ J}$

c $P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{8,36 \cdot 10^4 \text{ J}}{960 \text{ s}} = 87,1 \text{ W}$

d $\eta = \frac{Q}{E_{\text{elek}}} \times 100\% = \frac{8,36 \cdot 10^4}{960 \times 100} \times 100\% = 87\%$

Opgave 1.7**Andere veel gebruikte eenheid van energie.**

- a** $Q = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q = 0,12 \times 4180 \times 4 = 2,0 \cdot 10^3 \text{ J}$
- b** Als $\Delta T = 0$, dan wordt er geen warmte opgenomen.
- c** $Q(\text{in vat}) = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q = 180 \times 4180 \times 40 = 3,0 \cdot 10^7 \text{ J}$
- d** $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$
 $Q = \frac{3,0 \cdot 10^7}{3,6 \cdot 10^6} = 8,3 \text{ kWh}$
- e** De kosten bij elektrisch verwarmen:
 $K = 8,3 \times 0,25 \text{ €} = \text{€ } 2,08$
- f** $E_{\text{elek}} = 2,33 \times 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ in 4200 s
 $P = \frac{8,388 \cdot 10^6 \text{ J}}{4200 \text{ s}} = 1997 \text{ W}$ afgerond $P = 2,0 \cdot 10^3 \text{ W}$

Opgave 1.8**Warmte en temperatuur, welke informatie geven ze.**

- a** $E_k = 0,5mv^2 \Rightarrow E_k = 0,5 \times 4,5 \cdot 10^{-26} \times 330^2 = 2,45 \cdot 10^{-21} \text{ J}$
- b** Als de massa groter is en E_k even groot is moet v^2 kleiner zijn.
- c** Als een zuivere vaste stof gaat smelten wordt alle toegevoerde energie gebruikt om de atomen of moleculen een grotere snelheid te geven waardoor ze los raken van elkaar.
- d** Als een vloeistof gaat verdampen wordt alle toegevoerde energie gebruikt om de moleculen een grotere snelheid te geven. Daardoor ontsnappen ze aan de vloeistof

Opgave 1.9**Eenheden bij temperatuur.**

- a** $T(\text{C}) = T(\text{K}) - 273 \rightarrow T(\text{C}) = 0 - 273 = -273 \text{ }^\circ\text{C}$
- b** van 10 tot 20 $^\circ\text{C}$ is hetzelfde als van 283 K tot 293 K
- c** 1 $^\circ\text{C}$ is dezelfde verandering als 1 K
- d** Omdat een temperatuurverandering van 1 $^\circ\text{C}$ hetzelfde is als 1 K kun je voor soortelijke warmte ook 4180 J/(K·kg) gebruiken.

Opgave 1.10**Warmtecapaciteit**

- a** $Q = C \cdot \Delta T = 50 \times 12,6 = 630 \text{ J}$
- b** $Q = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow 50 = m \times 4180 \times 1$
 $\rightarrow m = \frac{50}{4180} = 1,196 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \rightarrow m = 12 \text{ mg}$

- c** De warmte die de joulemeter en het water afstaan is gelijk aan de warmte die het blokje opneemt. Deze $Q_{\text{op}} = 1100 \text{ J}$.
- d** $Q_{\text{koper}} = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow 1100 = 0,05 \times c_{\text{koper}} \times 55,7$
 $\rightarrow c_{\text{koper}} = \frac{1100}{2,785} = 395 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
- e** Als 10% verloren gaat zal het blokje zal het blokje 90% van 1100 J opnemen, dus 990 J.
 $Q_{\text{koper}} = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow 990 = 0,05 \times c_{\text{koper}} \times 55,7$
 $\rightarrow c_{\text{koper}} = \frac{990}{2,785} = 355 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
 Dit is een afwijking van $(395 - 355) = 40 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$
 of $\frac{40}{395} \times 100\% = 10\%$
- f** $C_{\text{water}} = m_{\text{water}} \cdot c_{\text{water}} = 4180 \text{ J}^\circ\text{C}$
 $C_{\text{lucht}} = m_{\text{lucht}} \cdot c_{\text{lucht}}$
 $m_{\text{lucht}} = \rho \cdot V = 1,29 \times 0,15 = 0,1935 \text{ kg}$
 $C_{\text{lucht}} = m_{\text{lucht}} \cdot c_{\text{lucht}} = 0,1935 \times 1000 = 194 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
 De warmte die de lucht af staat is slechts 5% van de warmte die het water af staat.

Opgave 1.11

Smelten en stollen

- a** Om 1 g water te bevriezen moet je 334 J warmte onttrekken. Om 15 g water te bevriezen moet je $15 \times 334 = 5010 \text{ J}$ (afgerond 5,00 kJ) warmte onttrekken.
- b** **stap 1**
 $Q(1) = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow Q = 0,1 \times 2000 \times 10$
 $\rightarrow Q = 2000 \text{ J} = 2,00 \text{ kJ}$
stap 2
 $Q(2) = m \cdot l_s \Rightarrow Q = 0,1 \times 334 \text{ kJ} \Rightarrow Q = 33,4 \text{ kJ}$
stap 3
 $Q(3) = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow Q = 0,1 \times 4180 \times 20$
 $\rightarrow Q = 8360 \text{ J} = 8,36 \text{ kJ}$
- c** Je ziet dat bij de omzetting van 0,1 kg ijs van -10°C naar water van 20°C 43,7 kJ nodig, dus 437 kJ per kg.
 $\frac{334}{437} \times 100\% = 76\%$ wordt onttrokken tijdens het smelten.

Opgave 1.12

Smeltpunt en smelttraject

a $E_{\text{elek}} = P \cdot t \rightarrow E_{\text{elek}} = 100 \text{ J/s} \times 240 \text{ s} = 24000 \text{ J} = 24 \text{ kJ}$

b $Q(1) = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow 24000 = 0,2 \times c \times 60$
 $\rightarrow c = 2,00 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

c $E_{\text{elek}} = P \cdot t \rightarrow E_{\text{elek}} = 100 \text{ J/s} \times 600 \text{ s} = 60000 \text{ J} = 60 \text{ kJ}$

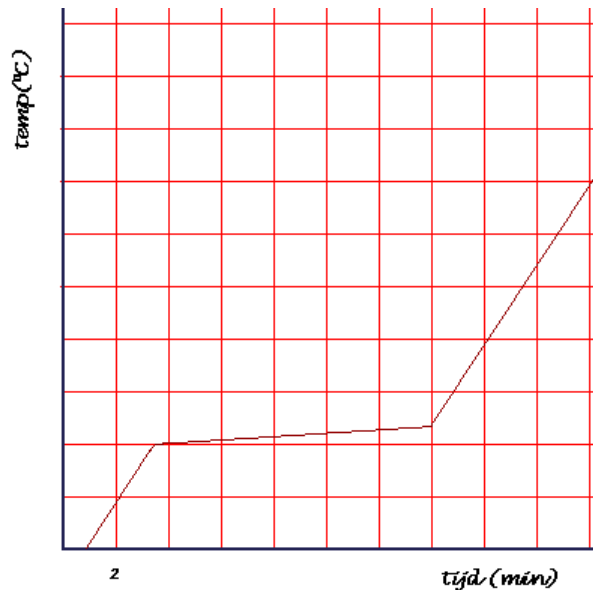
d $Q(2) = m \cdot l_s \rightarrow l_s = 60000/0,2 = 300.000 \text{ J}^\circ\text{C} = 300 \text{ kJ/kg}$

e $E_{\text{elek}} = P \cdot t \rightarrow E_{\text{elek}} = 100 \text{ J/s} \times 360 \text{ s} = 36000 \text{ J} = 36 \text{ kJ}$

$Q(3) = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow 36000 = 0,2 \times c_{\text{vloeistof}} \times 60 \Rightarrow$

$c_{\text{vloeistof}} = \frac{36000}{12} = 3,00 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$

- f** Bij een mengsel van twee of meer stoffen met verschillend smeltpunt zal de temperatuur tijdens het smelten oplopen omdat het mengsel wat nog niet gesmolten is een hoger gehalte heeft aan de stof die bij een hogere temperatuur smelt.



Opgave 1.13

Verdampen en condenseren

- a** Om 1 g water te verdampen heb je bij 100°C 2260 J nodig. Om 15 g te verdampen heb je $15 \times 2260 = 33900 \text{ J}$ nodig afgerond is dat 33,9 kJ

b stap 1

$$Q(1) = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow Q(1) = 0,1 \times 4180 \times 80$$

$$\rightarrow Q(1) = 33440 \text{ J} = 33,4 \text{ kJ}$$

stap 2

$$Q(2) = m \cdot l_v \rightarrow Q(2) = 0,1 \times 2260 \text{ kJ} \rightarrow Q = 226 \text{ kJ}$$

c Als je 1 kg water omzet in stoom dan moet je 2260 kJ toevoeren.

Als je deze stoom bij een lagere temperatuur laat condenseren komt er per kg weer 2260 kJ vrij.

Opgave 1.14

Kookpunt en kooktraject

a $E_{\text{elek}} = P \cdot t \rightarrow E_{\text{elek}} = 1000 \text{ J/s} \times 480 \text{ s} = 480.000 \text{ J} = 480 \text{ kJ}$

b $Q(1) = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow 480.000 = m \cdot 4180 \cdot 80$

$$\rightarrow m = \frac{480000}{80 \cdot 4180} = 1,44 \text{ kg}$$

$$\rightarrow V = 1,44 \text{ L} = 1,44 \cdot 10^3 \text{ mL}$$

c $E_{\text{elek}} = P \cdot t = 1000 \times 720 \text{ J} = 720 \text{ kJ}$

d $Q_{\text{koken}} = m \cdot l_v \rightarrow 720 = m \times 2260$

$$\rightarrow m(\text{verdampt}) = 0,319 \text{ kg}$$

e $Q_{\text{koken}} = m \cdot l_v \rightarrow Q_{\text{koken}} = 1,44 \times 2260 \text{ kJ}$

$$\rightarrow Q_{\text{koken}} = 3254 \text{ kJ}$$

tijd nodig om al het water te verdampen is 3254 s = 54 min en 14 s

f Bij het koken van een mengsel van verschillende vloeistoffen zal er meer van de stof met laagste kookpunt verdampen en zal de temperatuur tijdens het koken oplopen.

Opgave 1.15

Warmte leveren door verbranding (verbinding met zuurstof).

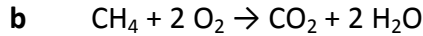
a $P = 2000 \text{ J/s}$

Bij verbranding van 1 kg aardgas komt $50 \cdot 10^6 \text{ J}$ vrij.

$$\text{Voor } 2000 \text{ J heb je } \frac{2000}{50 \cdot 10^6} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ kg} = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ g}$$

nodig.

Voor 2000 W moet je $4,0 \cdot 10^{-2}$ gram aardgas per seconde verbranden.



c aardgas: $1 \text{ kg} = 1/0,66 = 1,515 \text{ m}^3$
 verbrandingswarmte = $1,515 \text{ m}^3 \times 35 \text{ kJ/m}^3 = 53 \text{ kJ/kg}$

Opgave 1.16

Rekenen aan gegevens van een brander.

a
$$P = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{t} = \frac{1 \times 4180 \times 80}{180} = 1858 \text{ W (afgerond 1,9 kW)}$$

b Q (door verbranding) = $2 \times 4180 \times 80 = 668800 \text{ J} = 669 \text{ kJ}$

c $l_{ox} = 43000 \text{ kJ/kg}$

Voor 669 kJ is $\frac{669}{43000} = 1,556 \cdot 10^{-2} \text{ kg} = 15,6 \text{ g}$ petroleum

nodig.

d De tankinhoud is 582 g (zie artikel).

Je kunt hiermee $582/15,6 = 37 \times 1$ liter water aan de kook brengen.

Opgave 1.17

Warmte bij het oplossen van een stof.

a $Q = 0,1 \times 1040 = 104 \text{ kJ}$

b $Q_{op} = Q_{af}$

$m \cdot c \cdot \Delta T = 104000 \rightarrow 0,6 \times 4180 \times \Delta T = 104000$

$$\Delta T = \frac{104000}{0,6 \times 4180} = 41,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

c Als je eerst het loog in een bekersglas doet en daar water bijvoegt gaat het eerste beetje water meteen koken en daardoor sputteren. Hierdoor kunnen druppels geconcentreerd loog op je huid of in je gezicht komen.

Opgave 1.18

Bepalen van de soortelijke warmte van een stof.

a $Q(\text{water}) = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow Q = 0,1 \cdot 4180 \cdot 3,7 \rightarrow Q = 1547 \text{ J}$
 afgerond $Q = 1,55 \text{ kJ}$

b $Q(\text{joulemeter}) = C \cdot \Delta T \Rightarrow Q = 100 \cdot 3,7 \Rightarrow Q = 370 \text{ J}$

c $Q(\text{afgestaandoblokje}) = 1547 + 370 = 1917 \text{ J} = 1,92 \text{ kJ}$

d Als de massa van het blokje en de temperatuurstijging bekend zijn, kun je de soortelijke warmte van het materiaal van het blokje uitrekenen.

e

$Q_{op} = Q_{af} \rightarrow 1917 = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow c = \frac{1917}{m \cdot \Delta T}$ $\rightarrow c = \frac{1917}{0,0781 \times (50 - 23,7)} = 933 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
--

$$f \quad Q(\text{afgestaan}) = 0,1 \times 4180 \times 4,7 + 100 \times 4,7 = 2435 \text{ J}$$

$$Q_{\text{op}} = Q_{\text{af}} \rightarrow 2435 = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow c = \frac{2435}{m \cdot \Delta T}$$

$$\rightarrow c = \frac{2435}{0,0781 \times (50 - 24,7)} = 1232 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$\text{Afwijking} = \frac{299}{1232} \times 100\% = 24\%$$

Opgave 1.19

Bepalen van de smeltwarmte van ijs

$$Q_{\text{op}} = Q_{\text{af}}$$

Q_{af} door water in de joulemeter (T daalt van 22,3 tot 10,0 $^\circ\text{C}$).

Q_{op} smelten van ijs en opwarmen tot eindtemperatuur (T stijgt van 0 $^\circ\text{C}$ tot 10,0 $^\circ\text{C}$).

$$Q_{\text{op}} = Q_{\text{af}}$$

$$m \cdot l_s + m \cdot c \cdot \Delta T(\text{ijswater}) = m \cdot c \cdot \Delta T(\text{water joulemeter})$$

$$27,8 \times l_s + 27,8 \times 4,18 \times 10,0 = 200 \times 4,18 \times 12,3$$

$$27,8 \times l_s = 9120 \Rightarrow l_s = 328 \text{ J/g}$$

Opgave 1.20

Berekenen van de eindtemperatuur bij smelten

$$a \quad Q(\text{ijs}) = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q(\text{ijs}) = 27,8 \times 2,0 \times 5 = 278 \text{ J}$$

$$b \quad Q_{\text{op}} = Q_{\text{af}}$$

$$m \cdot l_s + m \cdot c \cdot \Delta T(\text{ijswater}) = m \cdot c \cdot \Delta T(\text{water joulemeter})$$

$$27,8 \times 328 + 278 + 27,8 \times 4,18 \cdot x = 200 \times 4,18 \times (22,3 - x)$$

$$9396 + 116,2x = 836(22,3 - x) \rightarrow 9396 + 116,2x = 18643 - 836x$$

$$\rightarrow -9247 = -952,2x \Rightarrow x = 9,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c \quad \text{afwijking} = 10,0 - 9,7 = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{procentueel: } (0,3/10) \times 100 = 3\%$$

d De warmte om het ijs op te warmen mag verwaarloosd worden omdat de temperatuurmetingen ook niet exact zijn.

Opgave 1.21

Bepalen van de oploswarmte van caustic soda.

$$a \quad Q_{\text{op}} = Q_{\text{af}}$$

$$C \cdot \Delta T(\text{joulemeter}) + m \cdot c \cdot \Delta T(\text{water}) = m \cdot l_{\text{opl}}(\text{NaOH})$$

$$100 \times 5,8 + 205,2 \times 4,18 \times 5,8 = 5,2 \cdot l_{\text{opl}}$$

$$\rightarrow 5554 = 5,2 \cdot l_{\text{opl}} \Rightarrow l_{\text{opl}} = \frac{5429}{5,2} = 1048 \text{ J/kg}$$

- b** Als $2\times$ zo veel NaOH wordt opgelost dan is Q_{af} $2\times$ zo groot en is ΔT $2\times$ zo groot.

Opgave 1.22

Bepalen van de soortelijke warmte van een vloeistofmengsel.

- a** $Q_{op} = Q_{af}$
 $C \cdot \Delta T(\text{joulemeter}) + m \cdot c \cdot \Delta T(\text{vloeistof}) = P \cdot t$
 $80 \times 25,9 + 200 \times c \times 25,9 = 25 \times 14 \times 60$
 $\rightarrow 2072 + 5180 \cdot c = 15000 \Rightarrow c = \frac{18928}{5180} = 3,65 \text{ J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$
- b** $2,4x + 4,180(200-x) = 200 \times 3,65 \rightarrow$
 $2,4x + 836 - 4,180x = 730 \rightarrow$
 $-1,78x = -106 \rightarrow x = 59,6 \text{ g alcohol}$

Opgave 1.23

Energietransport met stoom

- a** $Q_{op} = Q_{af}$
 $m \cdot c \cdot \Delta T(\text{water}) = m \cdot l_v + m \cdot c \cdot \Delta T(\text{condens})$
 $500 \times 4,18 \times 60 = m \times 2260 + m \times 4,18 \times 20 \Rightarrow$
 $125400 = 2260m + 83,6m \Rightarrow m = \frac{125400}{2343,6} = 53,3 \text{ g}$
 Er moet dus 53,3 g water verdampen.

Opgave 1.24

Warmte leveren door arbeid te verrichten.

- a** $Q = (F_{rechts} - F_{links}) \cdot s \rightarrow$
 $100 \times 4,18 \times 1 = 50 \cdot s \rightarrow s = 8,4 \text{ m}$
- b** $Q = (F_{rechts} - F_{links}) \cdot s \rightarrow$
 $100 \times 4,18 \times 1 = 200 \cdot s \rightarrow s = 2,1 \text{ m}$

Opgave 1.25

De warmtepomp

- a** In de condensor condenseert de damp en wordt warmte afgegeven aan de omgeving. De condensor zit dus in het huis. De warmte wordt opgenomen uit de buitenlucht.
- b** In de verdamper verdampt de vluchtige vloeistof en neemt warmte op van de omgeving. De verdamper zit dus in het huis.
 De warmte wordt opgenomen uit de lucht in het huis.
- c** In het linker systeem wordt het huis verwarmd met warmte die afkomstig is uit de buitenlucht.

De vloeistof wordt tegen de wijzers van de klok in rondgepompt.

In het rechtersysteem wordt het huis gekoeld door warmte uit de lucht van het huis te halen.

De vloeistof wordt met de wijzers van de klok mee rondgepompt.

- d** Bij een koelkast zit de condensor aan de buitenkant, in de vorm van een zwarte warmtewisselaar. Deze warmtewisselaar aan de achterkant geeft de warmte af die uit de koelkast komt.
- e** $COP = \frac{Q}{E_{elek}} = 3 \rightarrow Q = 3000 \text{ W}$
- f** **A, B en C** zijn in de afbeelding aangegeven.
- g** Het vermogen is dan 25 W, de compressor staat de helft van de tijd aan.
- h** Per minuut staat de koelkast 12 min aan en 48 min uit. Het gemiddelde vermogen is dus $(12/60) \times 50 = 10 \text{ W}$
- i** De warmtepomp is milieuvriendelijk omdat er 3× zoveel energie in de vorm van warmte geleverd of afgevoerd wordt dan verbruikt.