5 Stoffen en Materialen havo

5.1 Vast, vloeibaar gas en plasma

Fase overgangen

1* **a** Leg uit wanneer er sneeuwkristallen worden gevormd.
- sneeuwkristallen ontstaan als waterdamp rechtstreeks overgaat in de vaste fase, zonder eerst vloeibaar te worden

b Hoe heet de overgang van de gasvormige fase naar de vaste fase?
- dat heet "rijpen"

2** **a** Leg uit wanneer er regen uit een wolk komt.
- regen valt als de temperatuur in de lucht hoger is dan 0 °C

b Leg uit wanneer er hagel uit een wolk komt.
- hagel komt uit de wolk als er eerst waterdruppels ontstaan die later bevriezen

c Leg uit wanneer er sneeuw uit een wolk komt.
- sneeuw ontstaat als water eerst verdampt en de waterdamp daarna snel wordt afgekoeld tot onder 0 °C

3* **a** Leg uit waar het water is gebleven.
- het water is verdampt (vloeibaar → gas)

b Geef twee manieren om het proces van drogen te versnellen.
- de temperatuur verhogen
- de lucht laten stromen door te ventileren, zodat de gevormde waterdamp snel wordt afgevoerd en niet terug kan condenseren tot water

4* **a** Leg uit waardoor dit wordt veroorzaakt.
- waterdamp koelt af tot waterdruppels

b Hoe heet dit proces?
- dit proces heet condenseren

5* **a** Leg uit hoe deze strepen ontstaan.
- waterdamp uit de vliegtuigmotor condenseert eerst en stolt daarna tot ijs
- er ontstaan kleine ijskristallen die zichtbaar zijn als witte strepen

b Leg uit waarom deze strepen na een poosje weer verdwijnen.
- de ijskristallen verspreiden zich in de lucht
- als er niet veel ijskristallen bij elkaar zijn is het niet meer te zien

6** **a** Leg uit of het smeltpunt hoger of lager wordt door het oplossen van zout.
- het kost meer moeite om van de vloeibare naar de vaste fase te gaan
- het smeltpunt wordt lager

b Noem een toepassing van dit verschijnsel in het dagelijkse leven.
- in de winter wordt er zout op de weg gestrooid zodat het water bij een lagere temperatuur bevriest
- bij een licht vorst blijft het water vloeibaar en ontstaat er geen ijs

Dichtheid zonder context

7* **a** Bereken de massa van het blokje.
- $\rho = 2{,}70\ g/cm^3 \quad | \quad V = 16\ cm^3 \quad | \quad m = \dots g$
- $\rho = \dfrac{m}{V} \quad \rightarrow \quad m = \rho \cdot V$
- $m = 2{,}7 \cdot 16 = 43{,}2$ gram

b Leg uit wie er gelijk heeft, Tera, Thijn of geen van beide?
- de dichtheid is een eigenschap van een stof
- het maakt niet uit hoe groot het volume is
- geen van beide hebben gelijk

8* **a** Welke van de blokjes weegt het zwaarst?
- opzoeken dichtheid: tin: $\rho = 7{,}31\ g/cm^3$ en zink: $\rho = 7{,}2\ g/cm^3$
- zelfde volume (stel 1 cm^3)
- blokje tin weegt het zwaarst

b Bereken de massa van de blokjes.
- tin: $\rho = 7{,}31\ g/cm^3 \quad | \quad V = 12\ cm^3 \quad | \quad m = \dots g$
- $\rho = \dfrac{m}{V} \quad \rightarrow \quad m = \rho \cdot V$
- $m = 7{,}31 \cdot 12 = 87{,}7$ gram
- zink: $\rho = 7{,}2\ g/cm^3 \quad | \quad V = 12\ cm^3 \quad | \quad m = \dots g$
- $m = 7{,}2 \cdot 12 = 86{,}4$ gram

9* **a** Welke van de blokjes weegt het zwaarst?

- opzoeken dichtheid goud: $\rho = 19{,}3\ g/cm^3$ en ijzer: $\rho = 7{,}87\ g/cm^3$
- stel volume goud is 1 cm^3 → $m = 19{,}3$ gram
- volume ijzer = $2 \cdot 1 = 2\ cm^3$ → $m = 7{,}87 \cdot 2 = 15{,}74$ gram
- het blokje goud weegt het zwaarst

b Bereken de massa van blokje 2.

- volume ijzer $= 2 \cdot 3 = 6\ cm^3$
- $m = 7{,}87 \cdot 6 = 47{,}22$ gram

10*** **a** Hoeveel blokjes ijzer moet je minstens in het rechter bakje doen om de weegschaal naar rechts te laten doorslaan?

- opzoeken dichtheid
  - lood: $\rho = 11{,}3\ g/cm^3$
  - ijzer: $\rho = 7{,}87\ g/cm^3$
  - aluminium: $\rho = 2{,}70\ g/cm^3$
- stel volume van blokjes is 1 cm^3
- één blokje weegt:
  - lood: m = 11,3 gram
  - ijzer: m = 7,87 gram
  - aluminium: m = 2,70 gram
- 3 loodblokjes links wegen samen $3 \cdot 11{,}3 = 33{,}9$ gram
- massa links en rechts moeten gelijk zijn
- aantal ijzerblokjes = $\frac{33{,}9}{7{,}87} = 4{,}3$
- je moet minstens 5 ijzerblokjes in het rechterbakje doen

b Hoeveel blokjes aluminium moet je minstens in het rechter bakje doen om de weegschaal naar rechts te laten doorslaan?

- 3 loodblokjes links wegen samen $3 \cdot 11{,}3 = 33{,}9$ gram
- massa links en rechts moeten gelijk zijn
- aantal aluminiumblokjes = $\frac{33{,}9}{2{,}70} = 12{,}6$
- je moet minstens 13 ijzerblokjes in het rechterbakje doen

c Hoeveel aluminiumblokjes moet je minstens in het rechter bakje toevoegen om de weegschaal naar rechts te laten doorslaan?

- stel volume van blokjes is 1 cm^3
- massa links = 33,9 gram
- massa ijzerblokje = 7,87 gram
- er moet 33,9 – 7,87 = 26,03 gram worden toegevoegd
- aantal aluminiumblokjes = $\frac{26{,}03}{2{,}70} = 9{,}64$
- je moet minstens 10 aluminiumblokjes in het rechterbakje doen

11** **a** Bereken de massa van de staaf in gram.

- $V = 200\ cm^3$ | $\rho = 7{,}87\ g/cm^3$ | $m = \ldots gram$
- $\rho = \dfrac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V$
- $m = 7{,}87 \cdot 200 = 1574\ gram = 1{,}57\ kg$

b Bereken het volume van deze staaf.

- $\rho = 7{,}87 \cdot 10^3\ kg/m^3$ | $m = 5{,}0\ kg$ | $V = \ldots m^3$
- $\rho = \dfrac{m}{V} \rightarrow V = \dfrac{m}{\rho}$
- $V = \dfrac{5}{7{,}87 \cdot 10^3} = 6{,}4 \cdot 10^{-4}\ m^3$

12** **a** Hoe lang is het balkje?

- $b = 1{,}5\ cm$ | $h = 3\ cm$ | $V = 27\ cm^3$ | $\ell = \ldots cm$
- $V = breedte \times hoogte \times lengte$
- $27 = 1{,}5 \cdot 3 \cdot \ell$
- $27 = 4{,}5 \cdot \ell \rightarrow \ell = \dfrac{27}{4{,}5} = 6\ cm$

b Hoeveel massa heeft het balkje?

- $\rho = 8{,}96\ g/cm^3$ | $V = 27\ cm^3$ | $m = \ldots gram$
- $\rho = \dfrac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V$
- $m = 8{,}96 \cdot 27 = 242\ gram$

13*** **a** Bereken de lengte van deze plank.

- alles omrekenen naar centimeter →
- 7 mm = 0,7 cm
- 1,5 dm^3 = 1500 cm^3 (vermenigvuldig met 1000)
- volume = lengte · breedte · dikte
- $1500 = \ell \cdot 12 \cdot 0{,}7 \rightarrow 1500 = \ell \cdot 8{,}4$
- $\ell = \dfrac{1500}{8{,}4} = 179\ cm$

b Bereken de massa van deze plank.

- $\rho = \dfrac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V$
- opzoeken: $\rho_{eikenhout} = 0{,}78\ g/cm^3$
- V = 1,5 dm^3 = 1500 cm^3
- m = 0,78 · 1500 = 1170 gram = 1,17 kg

c Bereken het volume van deze andere plank.
- twee keer zo dik en twee keer zo breed → volume wordt 4 keer zo groot
- $4 \cdot 1{,}5\ dm^3 = 6\ dm^3 = 6000\ cm^3$

d Bereken de massa van deze andere plank.
- het volume is 4 keer zo groot dus de massa is ook 4 keer zo groot
- $m = 4 \cdot 1{,}17 = 4{,}68\ kg$

14** **a** Bereken de massa van deze draad.
- $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V$
- inhoud van cilinder: $V = \pi \cdot r^2 \cdot \ell$
- alle maten in centimeter: $r = 0{,}15$ cm; $\ell = 1500$ cm
- $V = \pi \cdot 0{,}15^2 \cdot 1500 = 1{,}0603 \cdot 10^2\ cm^3$
- $m = 8{,}86 \cdot 1{,}0603 \cdot 10^2 = 9{,}394 \cdot 10^2$ gram = 0,94 kg

b Bereken de dichtheid van deze draad.
- de dichtheid is een stofeigenschap →
- de dichtheid hangt niet af van de vorm of van het volume →
- de dichtheid blijft 8,86 g/cm^3

c Bereken de massa van deze draad.
- twee keer zo dik → $r = 0{,}30$ cm
- twee keer zo lang → $\ell = 3000$ cm
- $V = \pi \cdot 0{,}30^2 \cdot 3000 = 8{,}4823 \cdot 10^2\ cm^3$
- $m = 8{,}86 \cdot 8{,}4823 \cdot 10^2 = 7{,}515 \cdot 10^3$ gram = 7,5 kg
- merk op dat de draad precies 8 keert zo zwaar wordt

15*** **a** Bereken de straal van deze cilinder.
- $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho}$
- massa in gram: m = 1000 gram
- $V = \frac{1000}{2{,}70} = 370{,}37\ cm^3$
- inhoud van cilinder: $V = \pi \cdot r^2 \cdot \ell$
- $370{,}37 = \pi \cdot r^2 \cdot 10$ →
- $\pi \cdot r^2 = 37{,}037 \rightarrow r^2 = 11{,}789 \rightarrow r = 3{,}4335 = 3{,}4$ cm

16** **a** Leg uit of Harry gelijk heeft.
- er zijn houtsoorten met een groter dichtheid dan water (ebbenhout)
- Harry heeft dus geen gelijk

b Leg uit of Max gelijk heeft.
- als beton hol is van binnen kan het op water drijven (zoals een droogdok)
- Max heeft dus ongelijk

Dichtheid met context

17** **Verse eieren?**

a Leg uit welk van de twee eieren het meest vers is.
Gebruik in je antwoord het begrip dichtheid.
- het drijvende ei heeft een kleinere dichtheid dan water
- het ei op de bodem heeft een grotere dichtheid dan water
- het ei op de bodem heeft de grootste dichtheid $\rightarrow$
- het ei op de bodem is het meest vers

b Leg uit hoe ze hierbij te werk moeten gaan.
- dichtheid: $\rho = \dfrac{m}{V}$
- ze moeten de massa en het volume van het ei bepalen
- bepaal de massa in gram met een weegschaal
- vul een maatcilinder gedeeltelijk met water en lees het aantal ml af
- doe het ei in de maatcilinder en zorg dat het ei helemaal onder water komt
- meet opnieuw het aantal milliliter
- volume van het ei is: $ml_{nieuw} - ml_{oud}$
- één ml = één cm^3
- deel de massa in gram door het volume in kubieke centimeter

18** **Aanrecht**

a Bereken de massa van een granieten aanrechtblad met de bovenstaande afmetingen.
- volume: $V = \ell \cdot b \cdot d$ reken alle maten om naar centimeter
- $V = 310 \cdot 60 \cdot 4{,}5 \quad \rightarrow \quad V = 83700\ cm^3$
- dichtheid: $\rho = \dfrac{m}{V}$; dichtheid is 2,7 g / cm^3.
- $2{,}7 = \dfrac{m}{83700} \quad \rightarrow \quad m = 2{,}7 \cdot 83700 = 225990$ gram
- m = 225990 / 1000 = 225,99 kg (afgerond 226 kg)

19** **Perspex**

a Welke invloed heeft dat op de dichtheid van het overblijvende perspexblokje?
- de dichtheid van het blokje perspex verandert niet als je er een stukje afzaagt
- de dichtheid blijft gelijk
- antwoord B is goed

b Bereken de massa van het stukje perspex.

- dichtheid: $\rho = \dfrac{m}{V}$; $\rho_{perspex} = 1,2\ g/cm^3$
- volume: $V = \ell \cdot b \cdot d$ reken alle maten om naar centimeter
- $V = 3 \cdot 5 \cdot 0,4 \rightarrow V = 6\ cm^3$
- $1,2 = \dfrac{m}{6} \rightarrow m = 1,2 \cdot 6 = 7,2$ gram

20*** Muurtje metselen

a Bereken hoeveel stenen Jan maximaal in de aanhangwagen mag vervoeren.

- dichtheid: $\rho = \dfrac{m}{V}$; $\rho_{baksteen} = 1,8\ g/cm^3$
- volume: $V = \ell \cdot b \cdot d$ reken alle maten om naar centimeter
- $V = 5 \cdot 10 \cdot 20 \rightarrow V = 1000\ cm^3$
- $1,8 = \dfrac{m}{1000} \rightarrow m = 1,8 \cdot 1000 = 1800$ gram
- $m = \dfrac{1800}{1000} = 1,8\ kg$
- 500 kg maximaal: $\dfrac{500}{1,8} = 277,778$
- maximaal 277 stenen (naar beneden afronden)

21*** Schilderen

a Bereken het volume van de hoeveelheid verf.

- $\rho = \dfrac{m}{V} \rightarrow V = \dfrac{m}{\rho}$
- massa in kg ; volume in dm^3
- $V = \dfrac{6,0}{2,4} = 2,5\ dm^3$

b Bereken de dikte van de aangebrachte verflaag in millimeter.

- eerst alles in dm uitrekenen en pas aan het einde omrekenen in mm
- lengte $\cdot$ breedte = $5,0\ m^3 = 5,0 \cdot 10^3\ dm^3$
- volume = lengte $\cdot$ breedte $\cdot$ dikte
- $2,5 = 5,0 \cdot 10^3 \cdot$ dikte
- dikte = $2,5 / 5,0 \cdot 10^3 = 5,0 \cdot 10^{-4}$ dm
- dikte = $5,0 \cdot 10^{-4}$ dm = $5,0 \cdot 10^{-3}$ cm = $5,0 \cdot 10^{-2}$ mm

22***

a Leg uit waarom Yvonne deze conclusie niet mag trekken.

- dat mag niet omdat één goud atoom veel zwaarder is dan één natrium atoom

b Leg uit welk ander gegeven Yvonne erbij moet betrekken voordat ze tot deze conclusie kan komen.

- Yvonne moet rekening houden met de massa van de atomen

23***

a Leg uit of de dichtheid toeneemt of afneemt als water van 4 °C wordt afgekoeld.

- het volume van 1 gram water neemt toe (zie figuur)
- dichtheid = massa / volume
- de massa blijft 1 gram en volume neemt toe $\rightarrow$
- de dichtheid wordt kleiner (want de noemer van de breuk wordt groter)

b Leg uit of de dichtheid toeneemt of afneemt als water van 4 °C wordt verwarmd.

- het volume van 1 gram water neemt toe (zie figuur)
- dichtheid = massa / volume
- de massa blijft 1 gram en volume neemt toe $\rightarrow$
- de dichtheid wordt kleiner (want de noemer van de breuk wordt groter)

c Bereken het aantal watermoleculen in één kubieke centimeter bij een temperatuur van 4 °C.

- één H_2O molecuul heeft een massa van 18 u
- $1\ u = 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg
- één H_2O molecuul heeft een massa van $18 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} = 2{,}988 \cdot 10^{-26}$ kg
- $2{,}988 \cdot 10^{-26}$ kg = $2{,}988 \cdot 10^{-23}$ gram
- er zitten x H_2O moleculen in 1 cm^3 die samen 1,0 gram wegen
- $x \cdot 2{,}988 \cdot 10^{-23} = 1{,}0$
- $x = 1 / 2{,}988 \cdot 10^{-23} = 3{,}3 \cdot 10^{22}$ H_2O moleculen

24

a Bereken de dichtheid van de gebruikte platina-iridium legering.

- inhoud van cilinder: $V = \pi \cdot r^2 \cdot \ell$
- maten in centimeter: $r = 3{,}9 / 2 = 1{,}95$ cm ; $\ell = 3{,}90$ cm
- $V = \pi \cdot 1{,}95^2 \cdot 3{,}90 = 46{,}589\ cm^3$
- $\rho = \dfrac{m}{V}$
- massa = 1,0 kg = 1000 gram
- $\rho = \dfrac{1000}{46{,}589} = 21{,}46 = 21{,}5\ \ g/cm^3$

25***

a Geef een reden voor het verwijderen van het mesje.

- het mesje is niet van magnesium of aluminium gemaakt maar van staal
- met het mesje eraan vast bestaat een puntenslijper uit meerdere materialen

b Wat zal Jannick aflezen?

- kijk naar de onderkant van het waterniveau
- lees af: 78 ml

c Wat moet Jannick nog doen om het volume van een puntenslijper te bepalen?

- puntenslijper in de maatcilinder doen (zinkt naar de bodem)
- beetje schudden om luchtbelletjes te verwijderen
- opnieuw het waterniveau aflezen
- niveau nieuw – niveau oud = volume van puntenslijper

d Leg aan de hand van een berekening uit welke puntenslijper van aluminium is.

- puntenslijper 1: $\rho = \frac{5,2}{3,0} = 1,73\ g/cm^3$
- puntenslijper 2: $\rho = \frac{6,8}{2,5} = 2,72\ g/cm^3$
- opzoeken: aluminium heeft een dichtheid van $2,70\ g / cm^3$
- puntenslijper 2 is van aluminium gemaakt

5.2 Inwendige energie

Warmte en temperatuur

1* **a** Met een kwikthermometer meet je de uitzetting van kwik en dat zegt niet altijd iets over de temperatuur.
- waar, uitzetting en temperatuur zijn niet noodzakelijk met elkaar verbonden
- temperatuur is een maat voor de gemiddelde snelheid van de atomen

b Als een thermometer een lagere waarde afgeeft dan komt dat omdat de omgeving kouder is geworden.
- niet waar, de thermometer geeft een lagere waarde aan omdat er warmte uit de thermometer naar de omgeving is gestroomd.

c Als lucht afkoelt wordt de gemiddelde afstand tussen de moleculen kleiner.
- niet waar, als lucht afkoelt neemt E_K van de moleculen af
- E_K zegt niets over de gemiddelde afstand

d Iets koelt af omdat er koude van buitenaf wordt opgenomen.
- Niet waar. Iets koelt af als er warmte naar de omgeving gaat.

2** **a** Geef het smeltpunt van stearine in K.
- 0,00 °C = 273,15 K
- 69 °C = 273,15 + 69 = 342,15 = $3{,}4 \cdot 10^2$ K

3** **a** Geef hiervoor een verklaring.
- de opgenomen warmte wordt uitsluitend gebruikt om de afstand tussen de atomen groter te maken
- de gemiddelde kinetische energie verandert niet
- de temperatuur blijft tijdens het smelten gelijk

b Geef hiervoor een verklaring.
- de opgenomen warmte wordt gebruikt om chemische bindingen zwakker te maken
- de afstand tussen de atomen neemt toe of de atomen worden anders gerangschikt
- de stof zet uit

4*** **a** Beredeneer of bij een bepaalde temperatuur de gemiddelde snelheid van O_2 moleculen groter of kleiner of gelijk is dan de snelheid van N_2 moleculen.

- O_2 heeft moleculemassa 32 ; N_2 heeft moleculemassa 28
- $E_{kin} = ½mv^2$ → E_{kin} is gelijk en massa van O_2 is groter
- gemiddelde snelheid van O_2 is kleiner.

b Bereken de gemiddelde snelheid van de watermoleculen.

- O_2 heeft moleculemassa 32 ; H_2O heeft moleculemassa 18
- E_{kin} is gelijk → $32 \cdot v_{O2}^2 = 18 \cdot v_{H2O}^2$
- $v_{H2O}^2 = 475^2$
- $32 \cdot 475^2 = 18 \cdot v_{H2O}^2$ → $v_{H2O} = 633\ m/s$

c Leg uit wat dan wel wordt bedoeld met "gemiddelde snelheid"

- na iedere botsing verandert een O_2 molecuul van richting. In 1 s is een molecuul dus niet 475 m verplaatst, maar is zijn afgelegde weg wel 475 m.

Transport van warmte

5** **a** De temperatuur van het blad is gelijk aan die van de poten.

- Waar. Als er temperatuurverschil is dan stroomt er altijd warmte van de plaats met een hoge T naar de plaats met een lage T. Na zekere tijd verdwijnt hierdoor het temperatuurverschil.

b Wat je met je handen voelt zegt niets over de temperatuur, omdat je zenuwen daar ongevoelig voor zijn.

- Niet waar. Je handen zijn gevoelig voor temperatuur.

c Metaal voelt altijd kouder aan dan hout.

- Niet waar. Metaal kan veel sneller warmte afgeven of opnemen dan hout. Handen worden door metaal met T < 37 °C heel snel afgekoeld, waardoor het koud aanvoelt. Aan de andere kant worden handen door metaal met T > 37 °C heel snel opgewarmd. In dat gevoel voelt metaal juist veel warmer aan dan hout. Denk bijvoorbeeld aan een pan met een houten steel.

d Ook als de temperatuur in het lokaal hoger is dan 37 °C voelen de poten kouder aan dan het blad.

- Niet waar. In dat geval zullen de poten juist veel warmer aanvoelen dan het houten blad.

6** **a** Leg uit waarom je hand niet verbrand als je het broodje aanraakt en wel als je de wand aanraakt.

- De metalen ovenwand geeft veel sneller warmte af dan een broodje. Handen worden door metaal met T = 170 °C binnen een seconde opgewarmd. Bij een broodje met T = 170 °C duurt het opwarmen van je handen enkele seconden.

7** **a** De dubbele wand zorgt er alleen voor dat de soep langer warm blijft.
- Niet waar. Het zorgt er ook voor dat je je handen niet verbrand.

b De soep in A koelt langzamer af dan de soep in B omdat er meer soep in A zit.
- Kan waar zijn. Dit is afhankelijk van het contactoppervlak met de koudere omgeving. Veel soep met veel contactoppervlak kan sneller afkoelen dan weinig soep met heel weinig contactoppervlak.

c De soep in A koelt sneller af dan de soep in B omdat beker A wijder is dan beker B.
- Kan waar zijn. Dit is afhankelijk van de hoeveelheid soep. Omdat in beker A veel meer soep zit kan het afkoelen ondanks het grotere contactoppervlak ook langer duren.

d De afkoelsnelheid is recht evenredig met het contactoppervlak tussen soep en lucht.
- waar, als het contactoppervlak x keer groter wordt dan wordt de afkoelsnelheid ook x keer groter

e Als het contactoppervlak tussen soep en lucht toeneemt neemt de afkoelsnelheid af.
- niet waar, als het contactoppervlak toeneemt wordt de soep sneller koud
- de afkoelsnelheid neemt toe bij een groter contactoppervlak

8** **a** Leg uit waarom de soep sneller afkoelt door te blazen.
- Er wordt koude lucht aangevoerd, waardoor het temperatuursverschil tussen de soep en de koudere omgeving groter wordt.
- De afkoelsnelheid is recht evenredig met ΔT.

b Leg uit waarom de soep sneller afkoelt door te roeren.
- Er wordt hete soep aangevoerd, waardoor het temperatuursverschil tussen de soep en de koudere omgeving groter wordt.
- De afkoelsnelheid is recht evenredig met ΔT.

Warmtegeleidingscoëfficiënt

9** **a** Het metaal dat het beste de warmte geleid.
- opzoeken zilver: $\lambda = 429\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$

b Het metaal dat het beste isoleert.
- opzoeken bismut: $\lambda = 9\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$

c De vaste stof die het beste isoleert.
- opzoeken PUR polyurethaan: $\lambda = 0{,}017 - 0{,}06\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$
  PS polystyreen (piepschuim): $\lambda = 0{,}035\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$

d De warmtegeleidingscoëfficiënt van lucht.
- opzoeken lucht: $\lambda = 24 \cdot 10^{-3}\ \text{W m}^{-1}\ \text{K}^{-1}$

10*** **a** Bereken hoeveel warmte er in één lesuur van 50 minuten door de muur naar buiten gaat.
- $\lambda = 0{,}8\ \text{W m}^{-1}\ \text{K}^{-1}$ | $A = 2{,}5 \cdot 15 = 37{,}5\ \text{m}^2$ | $\Delta T = 20 - 12 = 8\ \text{K}$ | $d = 0{,}20\ \text{m}$
- $P = \lambda \cdot A \cdot \dfrac{\Delta T}{d}$
- $P = 0{,}8 \cdot 37{,}5 \cdot \dfrac{8}{0{,}2} = 1200\ \text{W}$
- $P = 1200\ \text{W}$ | $t = 50 \cdot 60 = 3000\ \text{s}$ | $E = \dots\ \text{J}$
- $E = P \cdot t$
- $E = 1200 \cdot 3000 = 3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J}$

b Bereken de dikte van het vensterglas.
- $E = 3{,}9 \cdot 10^7\ \text{J}$ | $t = 50 \cdot 60 = 3000\ \text{s}$ | $P = \dots\ \text{W}$
- $E = P \cdot t$
- $3{,}9 \cdot 10^7 = P \cdot 3000 \;\rightarrow\; P = 1{,}3 \cdot 10^4\ \text{W}$
- opzoeken: glas $\lambda = 0{,}9\ \text{W m}^{-1}\ \text{K}^{-1}$
- $\lambda = 0{,}9\ \text{W m}^{-1}\ \text{K}^{-1}$ | $A = 9\ \text{m}^2$ | $\Delta T = 20 - 12 = 8\ \text{K}$ | $P = 1{,}3 \cdot 10^4\ \text{W}$
- $P = \lambda \cdot A \cdot \dfrac{\Delta T}{d}$
- $1{,}3 \cdot 10^4 = 0{,}9 \cdot 9 \cdot \dfrac{8}{d} \;\rightarrow\; d = 4{,}98 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$ (5 mm)

c Leg uit waarom dit het geval is.
- de muur is 20 cm = 200 mm dik en een raam is 5 mm dik
- de warmtegeleidingscoëfficiënt en van baksteen en van glas zijn ongeveer gelijk
- per vierkante meter is het warmteverlies door een raam ongeveer 200:5 = 40 keer groter

d Hoe groot met het raam zijn?
- $P = 1200\ \text{W}$ | $\lambda = 0{,}9\ \text{W m}^{-1}\ \text{K}^{-1}$ | $\Delta T = 20 - 12 = 8\ \text{K}$ | $d = 5{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$
- $P = \lambda \cdot A \cdot \dfrac{\Delta T}{d}$
- $1200 = 0{,}9 \cdot A \cdot \dfrac{8}{5 \cdot 10^{-3}} \;\rightarrow\; A = 0{,}8333 = 0{,}8\ \text{m}^2$

e Hoeveel leerlingen moeten er in het lokaal zijn om de temperatuur op 20 °C te houden?
- $P = 1200 + 1200 = 2400\ \text{W}$
- 100 W per mens

- aantal mensen: $\frac{2400}{100} = 24$
- aantal leerlingen: $24 - 1 = 23$

f Wat kan de docent doen om de temperatuur op 20 °C te houden?
- er zijn minder dan 23 leerlingen
- het warmteverlies is groter dan de warmteproductie
- de docent moet de kachel aanzetten

g Wat kan de docent doen om de temperatuur op 20 °C te houden?
- er zijn meer dan 23 leerlingen
- het warmteverlies is kleiner dan de warmteproductie
- de docent moet het raam opendoen

11*** **a** Bereken hoeveel warmte er in de winter (90 dagen) naar buiten gaat.
- $\lambda = 0{,}92\ \text{W m}^{-1}\ \text{K}^{-1}$ | $A = 2{,}16\ \text{m}^2$ | $\Delta T = 18 - 6 = 12\ \text{K}$ | $d = 5{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$
- $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$
- $P = 0{,}92 \cdot 2{,}16 \cdot \frac{12}{5 \cdot 10^{-3}} = 4769{,}28\ \text{W}$
- $t = 90\ \text{dagen} = 90 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 7{,}776 \cdot 10^6\ \text{s}$
- $P = 4769{,}28\ \text{W}$ | $t = 7{,}776 \cdot 10^3\ \text{s}$ | $E = \ldots\ \text{J}$
- $E = P \cdot t$
- $E = 4769{,}28 \cdot 7{,}776 \cdot 10^6 = 3{,}70859 \cdot 10^{10} = 3{,}7 \cdot 10^{10}\ \text{J}$

b Bereken hoeveel kWh elektrische energie nodig is om het huis op temperatuur te houden.
- $1\ \text{kWh} = 3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J}$
- aantal kWh: $\frac{3{,}70859 \cdot 10^{10}}{3{,}6 \cdot 10^6} = 1{,}03 \cdot 10^4\ \text{kWh}$

c Bereken hoeveel euro je moet betalen voor de gebruikte elektrische energie.
- $1{,}03 \cdot 10^4 \cdot 0{,}18 = 1854 = 1{,}9 \cdot 10^3$ euro

d Bereken hoeveel straalkachels er nodig zijn om het huis op temperatuur te houden.
- $P_{verlies} = 4769{,}28\ \text{W}$
- aantal straalkachels: $\frac{4769{,}28}{2400} = 1{,}9872 = 2$ straalkachels

e Bereken de dikte van de luchtlaagjes. Verwaarloos de isolerende werking van glas.

- opzoeken lucht: $\lambda = 24 \cdot 10^{-3}\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$
- $P = \frac{4769{,}28}{20} = 238{,}464\ W$
- $P = 238{,}464\ W$ | $\lambda = 24 \cdot 10^{-3}\ W m^{-1} K^{-1}$ | $A = 2{,}16\ m^2$ | $\Delta T = 12\ K$
- $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$
- $238{,}464 = 24 \cdot 10^{-3} \cdot 2{,}16 \cdot \frac{12}{d} \rightarrow d = 2{,}6 \cdot 10^{-3}\ m$
- er zijn 2 luchtlaagjes
- $d_{laagje} = \frac{2{,}6}{2} = 1{,}3\ mm$

12* a** Wordt er warmte van boven naar beneden of van beneden naar boven getransporteerd?
- warmte gaat van hoge naar lage temperatuur
- warmte wordt getransporteerd van onder naar boven

b Bereken hoeveel warmte er per seconde door 1,0 m^2 van deze ijslaag gaat.
- opzoeken ijs: $\lambda = 2{,}1\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$
- $\lambda = 2{,}1\ W m^{-1} K^{-1}$ | $A = 1{,}0\ m^2$ | $\Delta T = 10\ K$ | $d = 0{,}10\ m$
- $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$
- $P = 2{,}1 \cdot 1 \cdot \frac{10}{0{,}10} = 210 = 2{,}1 \cdot 10^2\ W \quad (2{,}1 \cdot 10^2\ J \cdot s^{-1})$

c Bereken hoeveel warmte aan de 1,0 cm dikke waterlaag per vierkante meter moet worden onttrokken om het te laten bevriezen.
- volume 1,0 cm dikke waterlaag: $V = 0{,}01 \cdot 1 = 0{,}01\ m^3$
- $V = 0{,}01\ m^3$ | $\rho = 1{,}0 \cdot 10^3\ kg/m^3$ | $m = \ldots kg$
- $\rho = \frac{m}{V}$
- $1{,}0 \cdot 10^3 = \frac{m}{0{,}01} \rightarrow m = 10\ kg$
- 334 kJ per kilogram
- $E_{warmte} = 334 \cdot 10^3 \cdot 10 = 3{,}34 \cdot 10^6\ J$

d Bereken hoeveel uur het duurt voordat de ijslaag van 10 cm is aangegroeid met 1,0 cm ijs.
- $E = 3{,}34 \cdot 10^6\ J$ | $P = 2{,}1 \cdot 10^2\ W$ | $t = \ldots s$
- $E = P \cdot t$
- $3{,}34 \cdot 10^6 = 2{,}1 \cdot 10^2 \cdot t \rightarrow t = 1{,}59 \cdot 10^4\ s$
- $1{,}59 \cdot 10^4\ s = 4$ uur en 25 minuten

e Leg uit of Marlies gelijk heeft.
- Marlies heeft geen gelijk, want het warmtetransport door 11 cm ijs gaat langzamer dan het warmtetransport door 10 cm ijs

d Noem minimaal twee van deze aannames.
- de verandering van de ijslaagdikte tijdens de aangroei is verwaarloosd
- er wordt aangenomen dat de lucht vlak boven de ijslaag -10 °C is maar in werkelijkheid zal de luchttemperatuur vlak boven de ijslaag ongeveer 0 °C zijn

13*** **a** Hoeveel warmte stroomt er na één uur per seconde door de wanden van de doos?
- na 1 uur is de temperatuur in de doos constant
- na 1 uur stroomt er net zoveel warmte uit de doos als er in de doos wordt gemaakt
- na 1 uur stroomt er 100 J per seconde door de wanden van de doos

b Bereken de totale oppervlakte van de zijkanten en de bovenkant van de doos.
- 2 wanden van 0,30 m × 0,20 m → $A = 2 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}2 = 0{,}12\ m^2$
- 2 wanden van 0,20 m × 0,20 m → $A = 2 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}2 = 0{,}08\ m^2$
- bovenkant 0,30 m × 0,20 m → $A = 0{,}3 \cdot 0{,}2 = 0{,}06\ m^2$
- TOTAAL $A = 0{,}12 + 0{,}08 + 0{,}06 = 0{,}26\ m^2$

c Bereken de warmtegeleidingscoëfficiënt van het karton.
- aflezen: $\Delta T = 73 - 15 = 58\ °C$
- $P = 100\ W$ | $A = 0{,}26\ m^2$ | $\Delta T = 58\ °C$ | $d = 4{,}0 \cdot 10^{-3}\ m$
- $P = \lambda \cdot A \cdot \dfrac{\Delta T}{d}$
- $100 = \lambda \cdot 0{,}26 \cdot \dfrac{58}{4{,}0 \cdot 10^{-3}} \rightarrow \lambda = 2{,}65 \cdot 10^{-2}\ W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

d Verklaar dit.
- vlak bij de wand is er een laagje stilstaande lucht wat het grootste deel van de isolatie verzorgt

e Ben je het met Thijmen eens?
- in de eerste minuut is het temperatuurverschil tussen de binnenkant en de buitenkant van de doos erg klein
- in de eerste minuut is er vrijwel geen warmtestroom door de wand van de doos
- Tijmen heeft dus geen gelijk

f Maak een schatting hoeveel warmte er in de 1e minuut door de wanden van de doos gaat.
- schat: $\Delta T = 1\ °C$
- $\lambda = 2{,}65 \cdot 10^{-2}\ W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ | $A = 0{,}26\ m^2$ | $\Delta T = 1\ °C$ | $d = 4{,}0 \cdot 10^{-3}\ m$
- $P = \lambda \cdot A \cdot \dfrac{\Delta T}{d}$

- $P = 2{,}65 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}26 \cdot \dfrac{1}{4{,}0 \cdot 10^{-3}} = 1{,}7\ W$

g Bereken hoeveel warmte er in de 10e minuut door de wanden van de doos gaat.
- aflezen: $\Delta T = 53 - 15 = 38\ °C$
- $\lambda = 2{,}65 \cdot 10^{-2}\ W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ | $A = 0{,}26\ m^2$ | $\Delta T = 38\ °C$ | $d = 4{,}0 \cdot 10^{-3}\ m$
- $P = 2{,}65 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}26 \cdot \dfrac{38}{4{,}0 \cdot 10^{-3}} = 65\ W$

14*** **a** Geef de natuurkundige formule voor de warmteweerstand.
- $R_c = \dfrac{A \cdot \Delta T}{P}$

b Wat is de eenheid van R_C?
- $[R_c] = \dfrac{m^2 \cdot K}{W}$

c Maak een formule die het verband geeft tussen de warmteweerstand R_C en de warmtegeleidingscoëfficiënt λ.
- $R_c = \dfrac{A \cdot \Delta T}{P} \rightarrow P = A \cdot \Delta T \cdot \dfrac{1}{R_c}$
- vergelijk met $P = \lambda \cdot A \cdot \dfrac{\Delta T}{d} = A \cdot \Delta T \cdot \dfrac{\lambda}{d}$
- $\dfrac{1}{R_c} = \dfrac{\lambda}{d} \rightarrow R_c = \dfrac{d}{\lambda}$

d Leg uit waarom de R_C-waarde van isolatiemateriaal meer informatie geeft over hoe goed het isoleert dan de warmtegeleidingscoëfficiënt.
- als je warmtegeleidingscoëfficiënt weet moet je dit nog combineren met de dikte van het isolatiemateriaal om te weten hoe goed het isoleert
- bij de warmteweerstand R_C is de dikte al in rekening gebracht

15*** **a** Leg uit waarom het isolerend vermogen van aerogel zo goed is.
- aerogel bestaat voornamelijk uit stilstaande lucht
- de warmtegeleidingscoëfficiënt van lucht: $\lambda = 24 \cdot 10^{-3}\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$ is erg klein

b Bereken hoe dik een plaat polystyreen moet zijn om hetzelfde isolerend vermogen te hebben als de plaat aerogel.
- vergelijk een plaat polystyreen en aerogel het dezelfde oppervlak evenveel temperatuurverschil en met evenveel warmtetransport per seconde:
- P, A en ΔT zijn gelijk

- $\lambda_{poly} \cdot A \cdot \dfrac{\Delta T}{d_{poly}} = \lambda_{aero} \cdot A \cdot \dfrac{\Delta T}{d_{aero}}$
- $\dfrac{\lambda_{poly}}{d_{poly}} = \dfrac{\lambda_{aero}}{d_{aero}}$
- $\dfrac{0{,}035}{d_{poly}} = \dfrac{0{,}014}{18} \quad \rightarrow \quad d_{poly} = \dfrac{18 \cdot 0{,}035}{0{,}014} = 45\ \text{mm}$

c Bereken hoeveel warmte de plaat per minuut doorlaat.

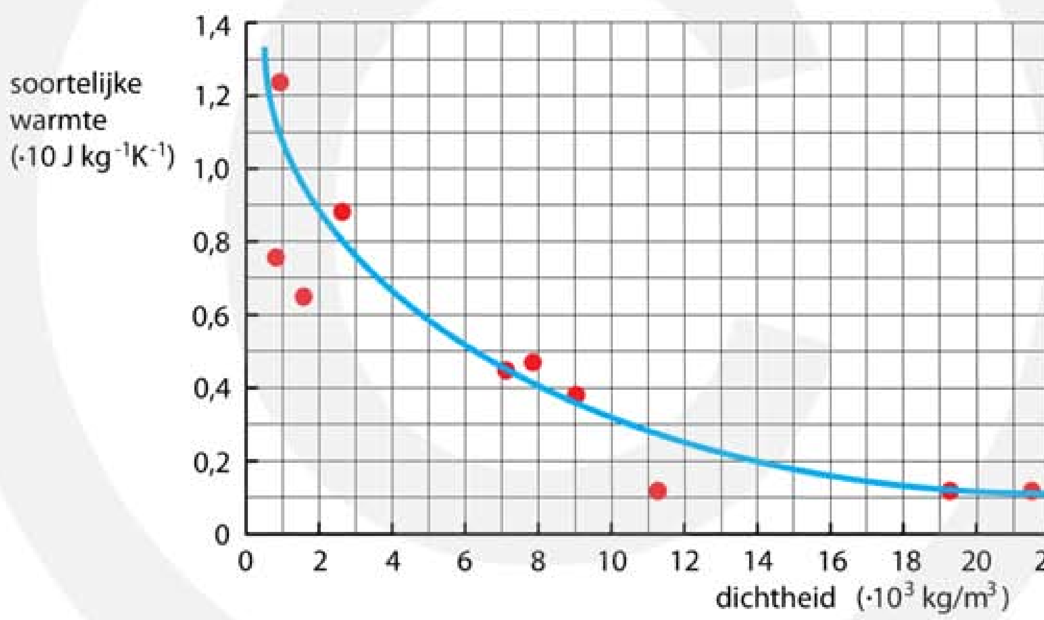
- $\lambda = 0{,}014\ \text{W m}^{-1}\ \text{K}^{-1} \quad | \quad A = 0{,}5 \cdot 0{,}8 = 0{,}40\ \text{m}^2 \quad | \quad \Delta T = 90\ \text{K} \quad | \quad d = 1{,}8 \cdot 10^{-2}\ \text{m}$
- $P = \lambda \cdot A \cdot \dfrac{\Delta T}{d}$
- $P = 0{,}014 \cdot 0{,}40 \cdot \dfrac{90}{1{,}8 \cdot 10^{-2}} = 28\ \text{W}$

5.3 Warmte opnemen en warmte afstaan

1** **a** Leg uit waarom dat het geval is.

- atomen zijn ongeveer even groot
- bij metalen met een grote dichtheid is het aantal atomen per kg kleiner dan bij metalen met een kleine dichtheid
- bij metalen met een grote dichtheid is er per kg minder energie nodig om de temperatuur 1 graad te laten stijgen
- de soortelijke warmte van metalen met een grote dichtheid is kleiner dan van metalen met een kleine dichtheid

b Maak een grafiek met op de horizontale as de dichtheid en op de verticale as de soortelijke warmte van deze metalen.



c Leg uit of de vorm van de grafiek klopt met wat je verwacht.

- hoe groter de dichtheid hoe kleiner de soortelijke warmte is
- dit klopt met de theorie

d Wat is een omgekeerd evenredig verband?

- omgekeerd evenredig betekent dat als x twee keer zo groot wordt y twee keer zo klein wordt
- wiskundig: $y = \frac{a}{x}$ met a een vast getal

e Controleer of Bart gelijk heeft.

- vergelijk koper met goud
- de dichtheid van goud is 2 keer de dichtheid van koper
- de soortelijke warmte van goud is minder dan de helft van die van koper
- er is geen omgekeerd evenredig verband tussen de dichtheid en de soortelijke warmte

2** **a** Bereken hoeveel warmte het blokje heeft opgenomen.

- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $m = 50$ gram $= 5{,}0 \cdot 10^{-2}$ kg
- $c = 1{,}026 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}
- $\Delta T = 67 - 20 = 47$ °C
- $Q = 1{,}026 \cdot 10^3 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 47 = 2411{,}1 = 2{,}4 \cdot 10^3$ J

3** **a** Bereken hoeveel warmte het blokje heeft opgenomen.

- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- massa van het blokje: $\rho = \dfrac{m}{V} \quad \rightarrow \quad m = \rho \cdot V$
- dichtheid magnesium: $\rho = 1{,}74$ g / cm^3
- $m = 1{,}74 \cdot 50 = 87$ gram $= 8{,}70 \cdot 10^{-2}$ kg
- $c = 1{,}026 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}
- $\Delta T = 340 - 293 = 47$ K
- $Q = 1{,}026 \cdot 10^3 \cdot 8{,}70 \cdot 10^{-2} \cdot 47 = 4195{,}314 = 4{,}2 \cdot 10^3$ J

4** **a** Bereken hoeveel warmte het lood tot aan het smeltpunt heeft opgenomen.

- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- lood: $c = 0{,}128 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}
- smeltpunt = 601 K $\quad \rightarrow \quad \Delta T = 601 - 293{,}15 = 307{,}85$ K
- $Q = 0{,}128 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 307{,}85 = 5{,}91072 \cdot 10^5 = 5{,}91 \cdot 10^5$ J

b Bereken hoeveel warmte er nodig is om het blok te smelten.

- smeltwarmte lood $= 0{,}025 \cdot 10^6$ J kg^{-1}
- $m = 15{,}0$ kg
- $Q = 15{,}0 \cdot 0{,}025 \cdot 10^6 = 3{,}75 \cdot 10^5$ J

5** **a** Bereken de temperatuur van de pan met water na 10 seconden.

- $P = 3000$ W $\;|\;$ $t = 10$ s $\;|\;$ $E = \ldots$ J
- $E = P \cdot t \quad \rightarrow \quad E = 3000 \cdot 10 = 3{,}0 \cdot 10^4$ J
- $Q_{water} = c_{water} \cdot m \cdot \Delta T \qquad$ met $\quad c_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$
- $Q_{pan} = c_{rvs} \cdot m \cdot \Delta T \qquad$ met $\quad c_{rvs} = 0{,}46 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$
- $E = Q_{water} + Q_{pan}$
- $3{,}0 \cdot 10^4 = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 2{,}5 \cdot \Delta T + 0{,}46 \cdot 10^3 \cdot 1{,}4 \cdot \Delta T$
- ΔT buiten haakjes halen
- $3{,}0 \cdot 10^4 = \left(4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 2{,}5 + 0{,}46 \cdot 10^3 \cdot 1{,}5\right) \cdot \Delta T = 1{,}114 \cdot 10^4 \cdot \Delta T$

- $\Delta T = \frac{3{,}0 \cdot 10^4}{1{,}114 \cdot 10^4} = 2{,}693 = 2{,}7\ °C$
- $T_{nieuw} = T_{oud} + \Delta T \quad \rightarrow \quad T_{nieuw} = 12 + 2{,}7 = 14{,}7\ °C$

b Bereken hoe lang het duurt voordat het water kookt.
- $Q_{water} = c_{water} \cdot m \cdot \Delta T \qquad \text{met} \quad c_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3\ J\,kg^{-1}\,K^{-1}$
- $Q_{pan} = c_{rvs} \cdot m \cdot \Delta T \qquad \text{met} \quad c_{rvs} = 0{,}46 \cdot 10^3\ J\,kg^{-1}\,K^{-1}$
- $E = Q_{water} + Q_{pan}$
- $Q = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 2{,}5 \cdot 88 + 0{,}46 \cdot 10^3 \cdot 1{,}5 \cdot 88 \quad \rightarrow \quad Q = 9{,}8032 \cdot 10^5\ J$
- $E = P \cdot t \qquad \text{met} \quad E = Q$
- $9{,}8032 \cdot 10^5 = 3000 \cdot t \quad \rightarrow \quad t = 326{,}77 = 3{,}3 \cdot 10^2\ s$

OOK GOED
- $\Delta T = 100 - 12 = 88\ °C$
- in 10 seconde stijgt de temperatuur met 2,693 °C
- verhoudingstabel:

°C	2,693	88
s	10	x

- $x = \frac{10 \cdot 88}{2{,}693} = 326{,}77 = 3{,}3 \cdot 10^2\ s$

6** **a** Bereken hoeveel liter water deze boiler per seconde van 15 °C tot 85 °C verwarmt.
- $E = P \cdot t \quad \rightarrow \quad E = 2200 \cdot 1 = 2{,}2 \cdot 10^3\ J$
- $Q = 2{,}2 \cdot 10^3 \quad | \quad c = 4{,}18 \cdot 10^3\ J\,kg^{-1}\,K^{-1} \quad | \quad \Delta T = 70\ °C \quad | \quad m = \ldots kg$
- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $2{,}2 \cdot 10^3 = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot m \cdot 70 \quad \rightarrow \quad m = 7{,}5188 \cdot 10^{-3}\ kg$
- water: $1\,kg = 1\,liter \quad \rightarrow \quad 7{,}5188 \cdot 10^{-3}\ kg = 7{,}5188 \cdot 10^{-3} = 7{,}5 \cdot 10^{-3}\ liter$

b Bereken hoe lang deze boiler nodig heeft om 10 liter water te verwarmen van 15 °C tot 85 °C.
- water: $1\,liter = 1\,kg \quad \rightarrow \quad 10\,liter = 10\,kg$
- $c = 4{,}18 \cdot 10^3\ J\,kg^{-1}\,K^{-1} \quad | \quad m = 10\,kg \quad | \quad \Delta T = 70\ °C \quad | \quad Q = \ldots J$
- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $Q = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 70 \quad \rightarrow \quad Q = 2{,}926 \cdot 10^6\ J$
- $E = P \cdot t \quad \rightarrow \quad 2{,}926 \cdot 10^6 = 2200 \cdot t \quad \rightarrow \quad t = 1{,}33 \cdot 10^3\ s$

c Bereken hoeveel euro het kost om 10 liter water van 15 °C tot 85 °C te verwarmen.
- $Q = 2{,}926 \cdot 10^6\ J$
- $1\,kWh = 3{,}6 \cdot 10^6\ J$
- aantal kWh: $E_{el} = \frac{2{,}926 \cdot 10^6}{3{,}6 \cdot 10^6} = 0{,}8128\,kWh$
- 18 cent per kWh: $0{,}8128 \cdot 0{,}18 = 0{,}1463 = 0{,}15$ euro

7* a** Bereken hoeveel warmte het water heeft opgenomen.
- warmte toegevoegd aan water: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- water: $c = 4{,}18 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}
- $m = 0{,}100$ kg
- $\Delta T = 27 - 15 = 12$ K
- $Q_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 0{,}100 \cdot 12 = 5016$ J

b Bereken de temperatuur van de vlam.
- warmte onttrokken aan ijzer: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- ijzer: $c = 0{,}46 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}
- $m = 0{,}020$ kg
- $\Delta T = T_{vlam} - 27$
- $Q_{ijzer} = 0{,}46 \cdot 10^3 \cdot 0{,}020 \cdot (T_{vlam} - 27)$
- $Q_{opnemen} = Q_{afstaan} \rightarrow$
- $5016 = 0{,}46 \cdot 10^3 \cdot 0{,}020 \cdot (T_{vlam} - 27) = 9{,}2 \cdot T_{vlam} - 248{,}4 \rightarrow$
- $5016 + 248{,}4 = 9{,}2 \cdot T_{vlam} \rightarrow$
- $T_{vlam} = 572{,}2 = 5{,}7 \cdot 10^2$ °C

8* a** Bereken hoeveel energie het water van de boiler dan heeft afgestaan.
- warmte onttrokken aan het water: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- massa van het water: $\rho = \dfrac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V$
- dichtheid water: $\rho = 1{,}0$ g / cm^3
- volume = $2{,}5 \cdot 10^6$ cm^3
- $m = 1{,}0 \cdot 2{,}5 \cdot 10^6 = 2{,}5 \cdot 10^6$ gram = 2500 kg
- water: $c = 4{,}18 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}
- $\Delta T = 90 - 50 = 40$ °C
- $Q_{afstaan} = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 2500 \cdot 40 = 4{,}18 \cdot 10^8$ J

b Bereken op welk moment het water 50 °C is.
- 8 radiators met ieder P = 1600 J/s $\rightarrow$ $P_{totaal} = 8 \cdot 1600 = 1{,}280 \cdot 10^4$ J/s
- $Q_{afstaan} = P \cdot t \rightarrow$
- $4{,}18 \cdot 10^8 = 1{,}280 \cdot 10^4 \cdot t \rightarrow$
- $t = 3{,}2656 \cdot 10^4$ seconden = 544,2666 minuten = 9,07 uur = 9 uur en 4,3 seconden (9:04)
- 7:00 + 9:04 = 16:04 uur
- om 16:04 uur is het water afgekoeld tot 50 °C

c Bereken hoeveel water er per seconde door een radiator stroomt.
- $Q_{afstaan} = P \cdot t$; $P = 1600$ J / s ; $t = 1{,}0$ s
- per seconde: $Q_{afstaan} = 1600$ J
- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$; $c = 4{,}18 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1} ; $\Delta T = 10$ K
- $1600 = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot m \cdot 10 \rightarrow$
- $m = 3{,}8278 \cdot 10^{-2} = 3{,}83 \cdot 10^{-2}$ kg = 38,3 gram

9** **a** Bepaal de soortelijke warmte van stof A .

- er is 50.000 J nodig om stof A 50 – 10 = 40 °C te verwarmen
- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $50000 = c \cdot 0{,}75 \cdot 40$
- $c_A = 1{,}67 \cdot 10^3\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$

b Bepaal de soortelijke warmte van stof B.

- er is 50.000 J nodig om stof B 35 – 10 = 25 °C te verwarmen
- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $50000 = c \cdot 0{,}75 \cdot 25$
- $c_B = 2{,}67 \cdot 10^3\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$

10** **a** Bereken hoeveel warmte het kopje heeft opgenomen.

- kopje: $\Delta T = 76 - 20 = 56\ °C$
- per graad is 25 J nodig
- $Q_{kopje} = 25 \cdot 56 = 1400 = 1{,}4 \cdot 10^3\ J$

b Bereken hoeveel warmte de melk heeft opgenomen.

- melk: $\Delta T = 76 - 4 = 72\ °C$
- opzoeken melk: $c = 3{,}9 \cdot 10^3\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$
- melk: $V = 5{,}0\ ml = 5{,}0\ cm^3 = 5{,}0 \cdot 10^{-6}\ m^3$ | $\rho = 1{,}0 \cdot 10^3\ kg/m^3$ | $m = \ldots kg$
- $\rho = \frac{m}{V}$
- $1{,}0 \cdot 10^3 = \frac{m}{5{,}0 \cdot 10^{-6}} \rightarrow m = 5{,}0 \cdot 10^{-3}\ kg$
- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $Q_{melk} = 3{,}9 \cdot 10^3 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 72 = 1404 = 1{,}4 \cdot 10^3\ J$

c Bereken hoeveel ml koffie er in het kopje zit.

- het kopje en de melk nemen samen $1400 + 1404 = 2804$ J op
- $Q_{afstaan} = Q_{opnemen}$
- $c = 4{,}18 \cdot 10^3\ J kg^{-1}\ K^{-1}$ | $\Delta T = 80 - 76 = 4{,}0\ °C$ | $Q_{koffie} = 2804\ J$
- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $2804 = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot m \cdot 4 \rightarrow m = 0{,}1677\ kg = 167{,}7\ gram$
- dichtheid koffie: $1{,}0 \cdot 10^3\ kg/m^3 = 1{,}0\ g/cm^3$
- $167{,}7\ gram = 167{,}7\ cm^3 = 167{,}7\ ml = 1{,}7 \cdot 10^2\ ml$

Warmtecapaciteit

11*** **a** Bereken hoeveel warmte het water heeft opgenomen.

- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- water: $c = 4{,}18 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}
- massa van het water: $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V$
- dichtheid water: $\rho = 1{,}0$ g / cm^3 ;
- volume = 1,5 liter = 1500 cm^3
- $m = 1{,}0 \cdot 1500 = 1500$ gram = 1,5 kg
- $Q_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 1{,}5 \cdot 88 = 5{,}5176 \cdot 10^5 = 5{,}5 \cdot 10^5$ J

b Bereken hoeveel warmte de ketel heeft opgenomen.

- $Q = C \cdot \Delta T$
- $C = 200$ J K^{-1} ; $\Delta T = 88$
- $Q_{ketel} = 600 \cdot 88 = 5{,}28 \cdot 10^4 = 5{,}3 \cdot 10^4$ J

c Bereken na hoeveel tijd het water gaat koken als alle warmte aan het water of de ketel wordt afgestaan.

- totale opgenomen warmte: $Q_{opnemen} = Q_{water} + Q_{ketel}$
- $Q_{opnemen} = 5{,}5176 \cdot 10^5 + 5{,}28 \cdot 10^4 = 6{,}0456 \cdot 10^5$ J
- per seconde wordt er 2400 J afgestaan
- $Q_{afstaan} = 2400 \cdot t$
- $Q_{opnemen} = Q_{afstaan}$
- $6{,}0456 \cdot 10^5 = 2400 \cdot t$
- $t = 6{,}0456 \cdot 10^5 / 2400 = 251{,}9 = 252$ seconden (4 minuten en 12 seconden)

d Bereken na hoeveel tijd het water nu gaat koken.

- per seconde wordt er $0{,}7 \cdot 2400$ J = 1680 J aan water + ketel afgestaan
- $Q_{afstaan} = 1680 \cdot t$
- $Q_{opnemen} = Q_{afstaan} \rightarrow$
- $6{,}0456 \cdot 10^5 = 1680 \cdot t \rightarrow$
- $t = 6{,}0456 \cdot 10^5 / 1680 = 359.86 = 360$ seconden (6 minuten)

12** **a** Bereken de hoeveel warmte de thermosfles met melk opneemt bij een temperatuurstijging van 3,0 °C.

- $Q_{melk} = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $c = 3{,}9 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}
- $m = \rho \cdot V$; $V = 500$ cm^3
- $m = 1{,}04 \cdot 500 = 520$ gram = 0,52 kg
- $Q_{melk} = 3{,}9 \cdot 10^3 \cdot 0{,}52 \cdot 3{,}0 = 6{,}084 \cdot 10^3$ J
- $Q_{fles} = C \cdot \Delta T = 120 \cdot 3{,}0 = 360$ J
- $Q_{melk} + Q_{fles} = 6{,}084 \cdot 10^3 + 360 = = 6{,}44 \cdot 10^3$ J

b Bereken hoeveel warmte je lichaam moet leveren om de melk op lichaamstemperatuur te brengen.

- $\Delta T = 37 - 10 = 27\ ^{o}C$.
- $Q_{melk} = 3{,}9 \cdot 10^3 \cdot 0{,}52 \cdot 27 = 5{,}4756 \cdot 10^3 = 5{,}48 \cdot 10^3$ J

13*** **a** Hoeveel warmte produceert het verwarmingselement in 10 minuten?

- $Q_{afstaan} = P \cdot t$; $P = 75$ W ; $t = 600$ s
- $Q_{afstaan} = 75 \cdot 600 = 4{,}50 \cdot 10^4$ J

b Hoe groot is de warmte- capaciteit van de thermosfles?

- $Q_{water} = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $c = 4{,}18 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}
- m = 300 gram = 0,3 kg
- in 10 minuten: $\Delta T = 48 - 15 = 33\ ^{o}C$
- $Q_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 0{,}3 \cdot 33 = 4{,}1382 \cdot 10^4$ J
- $Q_{fles} = C \cdot \Delta T = C \cdot 33$
- $Q_{opnemen} = Q_{water} + Q_{fles}$
- $Q_{opnemen} = Q_{afstaan} \rightarrow$
- $4{,}50 \cdot 10^4 = 4{,}1382 \cdot 10^4 + C \cdot 33$
- $C \cdot 33 = 4{,}50 \cdot 10^4 - 4{,}1382 \cdot 10^4 = 3{,}618 \cdot 10^3$
- $C = 3{,}618 \cdot 10^3 / 33 = 109{,}63 = 110$ J K^{-1}

14*** **a** Bepaal het rendement van het verwarmingselement.

- $Q_{water} = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $c = 4{,}18 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}
- $m = \rho \cdot V$; $\rho = 0{,}998 \cdot 10^3$ kg m^{-3} ; $V = 500 \cdot 10^{-6}$ m^3
- $m = 0{,}998 \cdot 10^3 \cdot 500 \cdot 10^{-6} = 0{,}499$ kg
- in 10 minuten: $\Delta T = 40 - 15 = 25\ ^{o}C$
- $Q_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 0{,}499 \cdot 25 = 5{,}21455 \cdot 10^4$ J
- $Q_{fles} = C \cdot \Delta T = 600 \cdot 25 = 1{,}500 \cdot 10^4$ J
- $E_{nut} = Q_{water} + Q_{fles} = 5{,}21455 \cdot 10^4 + 1{,}500 \cdot 10^4 = 6{,}71455 \cdot 10^4$ J
- $E_{in} = P \cdot t = 120 \cdot 600 = 7{,}200 \cdot 10^4$ J
- $\eta = \dfrac{E_{nut}}{E_{in}} \rightarrow \eta = \dfrac{6{,}71455 \cdot 10^4}{7{,}200 \cdot 10^4} \cdot 100\% = 93{,}258 = 93\ \%$

15**** **a** Bereken de eindtemperatuur van het water / zand mengsel.

- $Q_{water} = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $c_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1} ; $m = 0{,}200$ kg ; $\Delta T = 90 - T_{eind}$
- $Q_{zand} = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $c_{zand} = 0{,}80 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1} (Binas 10) ; $m = 0{,}300$ kg ; $\Delta T = T_{eind} - 10$
- $Q_{fles} = 0{,}40 \cdot Q_{water}$
- $Q_{water} = Q_{zand} + Q_{fles}$

- $Q_{water} = Q_{zand} + 0{,}40 \cdot Q_{water}$
- $0{,}60 \cdot Q_{water} = Q_{zand}$
- $0{,}60 \cdot 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 0{,}200 \cdot (90 - T_{eind}) = 0{,}80 \cdot 10^3 \cdot 0{,}300 \cdot (T_{eind} - 10)$
- $4{,}5144 \cdot 10^4 - 5{,}016 \cdot 10^2 \cdot T_{eind} = 2{,}40 \cdot 10^2 \cdot T_{eind} - 2{,}4 \cdot 10^3$
- $4{,}5144 \cdot 10^4 + 2{,}40 \cdot 10^3 = 5{,}016 \cdot 10^2 \cdot T_{eind} + 2{,}40 \cdot 10^2 \cdot T_{eind}$
- $4{,}7544 \cdot 10^4 = 7{,}416 \cdot 10^2 \cdot T_{eind}$
- $T_{eind} = 64{,}11 = 64{,}1\ ^\circ C$

b Bereken de warmtecapaciteit van de thermosfles.
- $Q_{water} = c \cdot m \cdot \Delta T$
- per graad is de warmteafgifte van het water $Q_{water} = c \cdot m$
$= 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 0{,}20 = 8{,}36 \cdot 10^2\ J\ K^{-1}$
- $Q_{fles} = 0{,}40 \cdot Q_{water} = 3{,}344 \cdot 10^2\ J\ K^{-1}$
- $Q_{fles} = C \cdot \Delta T$
- per graad: $Q_{fles} = C$
- $C = 3{,}34 \cdot 10^2\ J\ K^{-1}$

16**** **a** Bereken de eindtemperatuur van het water.
- $Q_{warm} = c \cdot m \cdot \Delta T$; $c_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$
- $m_{warm} = 0{,}200 \cdot 0{,}998 = 0{,}1996\ kg$; $\Delta T = 90 - T_{eind}$
- $Q_{koud} = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $m_{koud} = 0{,}300 \cdot 0{,}998 = 0{,}2994\ kg$; $\Delta T = T_{eind} - 10$
- $Q_{fles} = C \cdot \Delta T = 150 \cdot (T_{eind} - 10)$
- $Q_{warm} = Q_{koud} + Q_{fles}$
- $4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 0{,}1996 \cdot (90 - T_{eind}) = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 0{,}2994 \cdot (T_{eind} - 10)$
$+ 150 \cdot (T_{eind} - 10) \rightarrow$
- $7{,}50895 \cdot 10^4 - 8{,}34328 \cdot 10^2 \cdot T_{eind} = 1{,}401492 \cdot 10^3 \cdot T_{eind} - 1{,}401492 \cdot 10^4$
- $8{,}91044 \cdot 10^4 = 2{,}23582 \cdot 10^3 \cdot T_{eind}$
- $T_{eind} = 39{,}85 = 40\ ^\circ C$

17**** **a** Bereken de warmtecapaciteit van de beker.
- $Q_{vol} = c_{water} \cdot m \cdot \Delta T + C_{beker} \cdot \Delta T$
- $Q_{leeg} = C_{beker} \cdot \Delta T$
- $Q_{vol} = 23 \cdot Q_{leeg}$
- $c_{water} \cdot m \cdot \Delta T + C_{beker} \cdot \Delta T = 23 \cdot C_{beker} \cdot \Delta T$
- ΔT wegstrepen
- $c_{water} \cdot m + C_{beker} = 23 \cdot C_{beker}$
- $c_{water} \cdot m = 22 \cdot C_{beker}$
- $c_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$; $m = 0{,}200\ kg$
- $4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 0{,}200 = 22 \cdot C_{beker}$
- $C_{beker} = 38\ J\ K^{-1}$

5.4 Warmte en elektrische geleiding

5.5 Spanning en rek

1* Er wordt een kracht uitgeoefend op een draad waardoor het een rek van 1 krijgt. Wat weet je nu van de draad?

- rek is de verandering van de lengte per meter: $\varepsilon = \dfrac{\Delta \ell}{\ell_0}$
- $\varepsilon = 1 \;\rightarrow\; \dfrac{\Delta \ell}{\ell_0} = 1 \;\rightarrow\; \Delta \ell = \ell_0$
- $\ell = \ell_0 + \Delta \ell \;\rightarrow\; \ell = 2 \cdot \ell_0$
- de draad is twee keer zo lang geworden $\rightarrow$ antwoord B

2* **a** Toon aan dat de eenheid van de elasticiteitsmodulus pascal Pa is.

- $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon}$
- σ is de spanning in pascal (Pa)
- ε is de rek (geen eenheid, vaak in %)
- eenheid van E is gelijk aan de eenheid van $\sigma \rightarrow$ pascal (Pa)
- merk op: 1 Pa = 1 N/m^2

3** **a** Bereken de spanning in de draad.

- diameter = 1,2 mm $\rightarrow$ r = 0,6 mm = $0{,}6 \cdot 10^{-3}$ m
- $A = \pi \cdot r^2 \;\rightarrow\; A = \pi \cdot (0{,}6 \cdot 10^{-3})^2 = 1{,}1309734 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2$
- spanning: $\sigma = \dfrac{F}{A}$; F = 30 N
- $\sigma = \dfrac{30}{1{,}1309734 \cdot 10^{-6}} = 2{,}65258 \cdot 10^7 = 2{,}7 \cdot 10^7$ Pa

b Bereken de lengte van de visdraad als de vis eraan trekt.

- $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon}$; E = $2{,}8 \cdot 10^9$ Pa
- $2{,}8 \cdot 10^9 = \dfrac{2{,}65258 \cdot 10^7}{\varepsilon} \;\rightarrow\; \varepsilon = 9{,}4735 \cdot 10^{-3}$
- $\varepsilon = \dfrac{\Delta \ell}{\ell_0}$; ℓ_0 = 14 m
- $9{,}4735 \cdot 10^{-3} = \dfrac{\Delta \ell}{14} \;\rightarrow\; \Delta \ell = 0{,}1326$ m
- $\Delta \ell = \ell_{nieuw} - \ell_{oud} \;\rightarrow\; \ell_{nieuw} = \ell_{oud} + \Delta \ell$
- $\ell_{nieuw} = 14 + 0{,}1326 = 14{,}13$ m

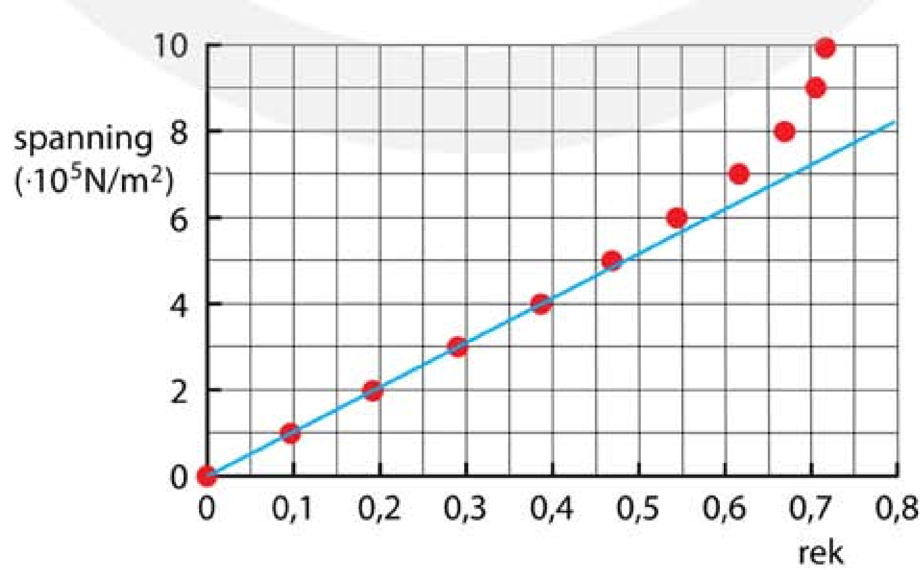
4** .**a** Vul de 3^e kolom (kracht) en de 4^e kolom (uitrekking) in.

aantal blokjes	lengte (cm)	kracht (N)	uitrekking (cm)	spanning (Pa)	rek
0	42	0,000	0	0,0	0,0
1	46	0,491	4	$1{,}0 \cdot 10^5$	0,095
2	50	0,981	8	$2{,}0 \cdot 10^5$	0,190
3	54	1,47	12	$3{,}0 \cdot 10^5$	0,286
4	58	1,96	16	$4{,}0 \cdot 10^5$	0,381
5	61,5	2,45	19,5	$5{,}0 \cdot 10^5$	0,464
6	65	5,89	23	$6{,}0 \cdot 10^5$	0,548
7	68	3,43	26	$7{,}0 \cdot 10^5$	0,619
8	70	3,92	28	$8{,}0 \cdot 10^5$	0,667
9	71,5	4,41	29,5	$9{,}0 \cdot 10^5$	0,702
10	72	4,91	30	$10 \cdot 10^5$	0,714

b Welke meting is er nog nodig?
- je moet de doorsnede (oppervlakte) van het elastiek bepalen

c Vul de 5^e kolom (spanning) en de 6^e kolom (rek) in.
- $A = \pi \cdot r^2$ met $r = 1{,}5$ mm
- $A = \pi \cdot \left(1{,}25 \cdot 10^{-3}\right)^2 = 4{,}9087 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2$
- kolom 5: spanning $\sigma = \dfrac{F}{A}$
- kolom 6: rek $\varepsilon = \dfrac{\Delta \ell}{\ell_0} = \dfrac{\ell - \ell_0}{\ell_0}$

d Maak een grafiek met op de horizontale as de rek en op de verticale as de spanning.



e Wanneer is er een recht-evenredig verband tussen de spanning en de rek?
- trek een rechte lijn door de meetpunten met lage spanning
- vanaf een spanning van $4{,}0 \cdot 10^5$ Pa liggen de meetpunten niet meer op de lijn
- tussen 0 en $4{,}0 \cdot 10^5$ Pa is er een recht-evenredig verband

f Bepaal de elasticiteitsmodulus van het rubber.
- de elasticiteitsmodulus is de spanning gedeeld door de rek $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$
- bepaal de richtingscoëfficiënt van de getrokken lijn
- $E = \frac{8{,}1 \cdot 10^5}{0{,}8} = 1{,}0 \cdot 10^6$ Pa

5*** **a** Bereken of de draad het schilderij kan houden.
- $A = \pi \cdot (0{,}5 \cdot 10^{-3})^2 = 7{,}854 \cdot 10^{-7}\ m^2$
- $F_z = m \cdot g \rightarrow F_z = 4{,}1 \cdot 9{,}81 = 40{,}221 N$
- $\frac{40{,}221}{7{,}854 \cdot 10^{-7}} = 5{,}121 \cdot 10^7$ Pa
- dit is meer dan de treksterkte $\rightarrow$ de draad kan het schilderij niet houden

b Bereken hoeveel millimeter de diameter van de draad minstens moet zijn.
- treksterkte $= 5{,}0 \cdot 10^7$ Pa | $F_z = 10 \cdot 9{,}81 = 98{,}1 N$
- $5{,}0 \cdot 10^7 = \frac{98{,}1}{A} \rightarrow A = 1{,}962 \cdot 10^{-2}\ m^2$
- $A = \pi \cdot r^2$
- $1{,}962 \cdot 10^{-6} = \pi \cdot r^2 \rightarrow r = 7{,}9027 \cdot 10^{-4}$ m
- $d = 2 \cdot r \rightarrow d = 2 \cdot 7{,}9027 \cdot 10^{-4} = 1{,}58 \cdot 10^{-3}\ m = 1{,}6\ mm$

6** **a** Bereken hoeveel ton er met de hijskraan gehesen kan worden. Ga er in je berekening van uit dat de staalkabel massief is (volledig uit staal bestaat).
- $A = \pi \cdot (6{,}0 \cdot 10^{-3})^2 = 1{,}13097 \cdot 10^{-4}\ m^2$
- treksterkte is $490 \cdot 10^6$ Pa
- maximale kracht: $F_{max} = 1{,}13097 \cdot 10^{-4} \cdot 490 \cdot 10^6 = 5{,}5418 \cdot 10^4$ N
- $F_z = m \cdot g \rightarrow 5{,}5418 = m \cdot 9{,}81 \rightarrow m = 5{,}649 \cdot 10^3$ kg
- één ton is 1000 kg
- de hijskraan kan 5,6 ton ophijsen

7* a** Bereken de spanning in de kabel.

- $\varepsilon = \dfrac{\Delta \ell}{\ell_0}$
- $\varepsilon = \dfrac{8{,}5 \cdot 10^{-3}}{32} = 2{,}65625 \cdot 10^{-4}$
- kabel gemaakt van staal: opzoeken $E = 0{,}20 \cdot 10^{12}$ Pa
- $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon} \rightarrow 0{,}20 \cdot 10^{12} = \dfrac{\sigma}{2{,}65625 \cdot 10^{-4}}$
- $0{,}20 \cdot 10^{12} = \dfrac{\sigma}{2{,}65625 \cdot 10^{-4}} \rightarrow \sigma = 5{,}3125 \cdot 10^{7}$ Pa

b Bereken de diameter van één staaldraadje.

- spanning: $\sigma = \dfrac{F}{A}$
- $F = F_z = m \cdot g$; $m = 450 + 1500 = 1950$ kg
- $F = 1950 \cdot 9{,}81 = 1{,}91295 \cdot 10^{4}$ N
- $5{,}3125 \cdot 10^{7} = \dfrac{1{,}91295 \cdot 10^{4}}{A} \rightarrow A = 3{,}600847 \cdot 10^{-4}\ m^2$
- er zijn 3000 staaldraadjes: $A_{draadje} = \dfrac{3{,}600847 \cdot 10^{-4}}{3000} = 1{,}20028 \cdot 10^{-7}\ m^2$
- $A = \pi \cdot r^2 \rightarrow 1{,}20028 \cdot 10^{-7} = \pi \cdot r^2 \rightarrow r = 1{,}95464 \cdot 10^{-4}$ m
- $d = 2 \cdot r = 2 \cdot 1{,}95464 \cdot 10^{-4} = 3{,}9 \cdot 10^{-4}$ m

8* a** Leg uit welk materiaal het meest elastisch is.

- materiaal A: om 0,5% rek te krijgen is en spanning van $0{,}16 \cdot 10^8\ N/m^2$ nodig
- materiaal B: om 0,5% rek te krijgen is en spanning van $0{,}4 \cdot 10^8\ N/m^2$ nodig
- materiaal A is het meest elastisch

b Bereken de maximale massa die je aan deze draad kunt hangen zonder dat de draad plastisch gaat vervormen. Verwaarloos de massa van de draad.

- plastische vervorming begint bij een rek van 2,5%
- de spanning is dan $0{,}8 \cdot 10^8\ N/m^2$
- spanning: $\sigma = \dfrac{F}{A}$
- $A = \pi \cdot r^2 \rightarrow A = \pi \cdot \left(\dfrac{1{,}5 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 = 1{,}76715 \cdot 10^{-6}\ m^2$
- spanning: $0{,}8 \cdot 10^{8} = \dfrac{F}{1{,}76715 \cdot 10^{-6}} \rightarrow F = 1{,}4137 \cdot 10^{2}$ N
- $F_z = m \cdot g$
- $1{,}4137 \cdot 10^{2} = m \cdot 9{,}81 \rightarrow m = 14{,}411 = 14{,}4$ kg

9* a** Beredeneer de volgorde van oplopende uitrekking.
- draad B: $u_B = 2 \cdot u_A$
- draad C: oppervlak 4 keer zo groot $\rightarrow u_C = \frac{1}{4} \cdot u_A$
- draad D: oppervlak 4 keer zo groot en lengte 2 keer zo lang: $u_D = \frac{1}{4} \cdot 2 \cdot u_A = \frac{1}{2} \cdot u_A$
- volgorde uitrekking u van klein naar groot: C $\rightarrow$ D $\rightarrow$ A $\rightarrow$ B

b Bereken de uitrekking van de draden B, C en D.
- $u_B = 2 \cdot u_A \quad \rightarrow \quad u_B = 2 \cdot 5 = 10\text{ mm}$
- $u_C = \frac{1}{4} \cdot u_A \quad \rightarrow \quad u_B = \frac{1}{4} \cdot 5 = 1{,}25\text{ mm}$
- $u_D = \frac{1}{2} \cdot u_A \quad \rightarrow \quad u_D = \frac{1}{2} \cdot 5 = 2{,}5\text{ mm}$

10* a** Zoek de treksterkte van dit staal op.
- opzoeken: de treksterkte van staal (bouw) is $490 \cdot 10^6$ Pa

b Zoek de dichtheid van dit staal op.
- opzoeken: de dichtheid van staal is $7{,}8 \cdot 10^3$ kg m^{-3}

c Bereken bij welke lengte de staalkabel door zijn eigen gewicht breekt.
- neem een staaf met doorsnede A = 1,0 m^2 en lengte ℓ meter
- $V = \ell \cdot 1 = \ell\text{ m}^3$
- $\rho = \dfrac{m}{V} \quad \rightarrow \quad m = \rho \cdot V$
- $m = 7{,}8 \cdot 10^3 \cdot \ell$
- $F_z = m \cdot g \quad \rightarrow \quad F_z = 7{,}8 \cdot 10^3 \cdot \ell \cdot 9{,}81 = 7{,}6518 \cdot 10^4 \cdot \ell\ \text{ N}$
- Fz bij maximale lengte is gelijk aan de treksterkte
- $490 \cdot 10^6 = 7{,}6518 \cdot 10^4 \cdot \ell \quad \rightarrow \quad \ell = 6{,}4 \cdot 10^3\text{ m} \quad (6{,}4\text{ km})$

11* a** Bereken de massa die het spinnendraad dan zou hebben.
- 100 m heeft een massa van $0{,}40 \cdot 10^{-3}$ g = $0{,}40 \cdot 10^{-6}$ kg
- 1,0 kg heeft een massa van $10 \cdot 0{,}40 \cdot 10^{-6} = 4{,}0 \cdot 10^{-6}$ kg
- omtrek van de aarde is 40.000 km
- $m = 40.000 \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-6} = 0{,}16\text{ kg}$

b Bereken de dichtheid van spinnendraad.
- volume cilinder: $V = \pi \cdot r^2 \cdot \ell \qquad (r = d/2)$
- $V = \pi \cdot \left(0{,}001 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 100 = 3{,}1416 \cdot 10^{-10}\text{ m}^3$
- $m = 0{,}40 \cdot 10^{-3}\text{ g} = 4{,}0 \cdot 10^{-7}\text{ kg}$
- $\rho = \dfrac{m}{V}$

- $\rho = \dfrac{4{,}0 \cdot 10^{-7}}{3{,}1416 \cdot 10^{-10}} = 1{,}273 \cdot 10^{3} = 1{,}3 \cdot 10^{3}\ \text{kg/m}^3$

c Bereken de maximale kracht die op een spinnendraad kan worden uitgeoefend.
- $A = \pi \cdot r^2$
- $A = \pi \cdot \left(0{,}001 \cdot 10^{-3}\right)^2 = 3{,}1416 \cdot 10^{-12}\ \text{m}^2$
- $\sigma = \dfrac{F}{A}$
- $1{,}0 \cdot 10^{9} = \dfrac{F}{3{,}1416 \cdot 10^{-12}} \quad \rightarrow \quad F = 3{,}1416 \cdot 10^{-3} = 3{,}1 \cdot 10^{-3}\ \text{N}$

d Welke rek heeft de draad bij de maximale kracht?
- de draad rekt 35% uit
- de rek is 0,35

e Bereken de spanning in het spinnendraad op het moment dat het breekt.
- $A = \pi \cdot r^2$
- $A = \pi \cdot \left(0{,}001 \cdot 10^{-3}\right)^2 = 3{,}1416 \cdot 10^{-12}\ \text{m}^2$
- $\sigma = \dfrac{F}{A}$
- $\sigma = \dfrac{1{,}0 \cdot 10^{-2}}{3{,}1416 \cdot 10^{-12}} = 3{,}183 \cdot 10^{9} = 3{,}2 \cdot 10^{9}\ \text{Pa}$

f Bereken de elasticiteitsmodulus van spinnendraad.
- $\sigma = 9{,}0 \cdot 10^{8}\ \text{N/m}^2 \quad | \quad \varepsilon = 5{,}0 \cdot 10^{-2} \quad | \quad E = \ldots \text{N/m}^2$
- $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon}$
- $E = \dfrac{9{,}0 \cdot 10^{8}}{5{,}0 \cdot 10^{-2}} = 1{,}8 \cdot 10^{10}\ \text{Pa}$

12** **a** Zoek de elasticiteitsmodulus en de treksterkte op van koper.
- elasticiteitsmodulus van koper is $E = 124 \cdot 10^{9}$ Pa
- treksterkte koper is $2{,}1 \cdot 10^{8}$ Pa

b Hoeveel millimeter rekt de draad uit?
- $F_z = m \cdot g \quad \rightarrow \quad F_z = 10 \cdot 9{,}81 = 98{,}1\text{N}$
- $A = 2{,}5\ \text{mm}^2 = 2{,}5 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2$
- $\sigma = \dfrac{F}{A} \quad \rightarrow \quad \sigma = \dfrac{98{,}1}{2{,}5 \cdot 10^{-6}} = 3{,}924 \cdot 10^{7}\ \ \text{Pa}$
- $E = \dfrac{\rho}{\varepsilon}$

- $124 \cdot 10^9 = \dfrac{3{,}924 \cdot 10^7}{\varepsilon} \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 3{,}1645 \cdot 10^{-4}$
- $\varepsilon = \dfrac{\Delta \ell}{\ell_0}$
- $3{,}1645 \cdot 10^{-4} = \dfrac{\Delta \ell}{2{,}0} \quad \rightarrow \quad \Delta \ell = 6{,}329 \cdot 10^{-4}\ \text{m} = 0{,}63\ \text{mm}$
- de draad rekt 0,63 mm uit

c Hoeveel kilogram kun je aan het koperdraad hangen voordat het breekt?
- treksterkte koper is $2{,}1 \cdot 10^8$ Pa
- $\sigma = \dfrac{F}{A}$
- $2{,}1 \cdot 10^8 = \dfrac{F}{2{,}5 \cdot 10^{-6}} \quad \rightarrow \quad F = 525\ \text{N}$
- $F_z = m \cdot g \quad \rightarrow \quad 525 = m \cdot 9{,}81 \quad \rightarrow \quad m = 53{,}52 = 54\ \text{kg}$

d Welke draad rekt het meeste uit als je er 10 kg aan hangt?
- elasticiteitsmodulus van ijzer: $E = 220 \cdot 10^9$ Pa
- ijzer heeft een grotere elasticiteitsmodulus dan koper
- de ijzerdraad rekt minder ver uit

e Hoeveel kilogram kun je aan het ijzerdraad hangen voordat het breekt?
- treksterkte ijzer is $3{,}5 \cdot 10^8$ Pa
- $\sigma = \dfrac{F}{A}$
- $3{,}5 \cdot 10^8 = \dfrac{F}{2{,}5 \cdot 10^{-6}} \quad \rightarrow \quad F = 875\ \text{N}$
- $F_z = m \cdot g \quad \rightarrow \quad 875 = m \cdot 9{,}81 \quad \rightarrow \quad m = 89{,}19 = 89\ \text{kg}$

Examenvragen havo

Thermometers

4p **1** Bereken de hoeveelheid warmte die deze thermometer opneemt per graad temperatuurstijging.

- $Q = c_{kwik} \cdot m_{kwik} \cdot \Delta T + c_{glas} \cdot m_{glas} \cdot \Delta T$ 1
- opzoeken $c_{kwik} = 0{,}14 \cdot 10^3\ \mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$ 1
- gebruik $\Delta T = 1\,\mathrm{K}$ of $\Delta T = 1\,^\circ\mathrm{C}$ 1
- $Q = 0{,}14 \cdot 10^3 \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 1 + 800 \cdot 10{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 8{,}832 = 8{,}8\ \mathrm{J}$ 1

4p **2** Bereken de warmtecapaciteit van de thermometer die uit deze proef volgt.

- $\Delta T_{water} = 17{,}2 - 15{,}5 = 1{,}7\ ^\circ\mathrm{C}$ 1
- $Q_{water} = c_{water} \cdot m_{water} \cdot \Delta T_{water} \rightarrow Q_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}7 = 127{,}9\ \mathrm{J}$ 1
- $Q_{thermometer} = C_{thermo} \cdot \Delta T_{thermo}$ met $\Delta T_{thermo} = 15{,}5 - 0 = 15{,}5\ ^\circ\mathrm{C}$ 1
- $Q_{water} = Q_{thermometer} \rightarrow 127{,}9 = C_{thermo} \cdot 15{,}5 \rightarrow C_{thermo} = 8{,}2516 = 8{,}3\ \mathrm{J\,K^{-1}}$ 1

Slijtage bovenleiding

4p **a** Bereken de massa van het koper dat op deze manier van de bovenleiding is afgesleten.

- één leiding $\Delta V = V_A - V_B \rightarrow \Delta V = A_A \cdot \ell - A_B \cdot \ell \rightarrow \Delta V = (A_A - A_B) \cdot \ell$ 1
- twee leidingen $\Delta V = 2 \cdot (98{,}8 \cdot 10^{-6} - 78{,}7 \cdot 10^{-6}) \cdot 5200 \cdot 10^3 = 209{,}04\ \mathrm{m^3}$ 1
- gebruik $\rho = \dfrac{m}{V}$ met $\rho_{koper} = 8{,}96 \cdot 10^3\ \mathrm{kg\,m^{-3}}$ 1
- $m = \rho \cdot V \rightarrow m = 8{,}96 \cdot 10^3 \cdot 209{,}04 = 1{,}873 \cdot 10^6 = 1{,}87 \cdot 10^6\ \mathrm{kg}$ 1

3p **b** Bereken het aantal lichtflitsen per seconde waarop het lasermeetsysteem dan moet worden ingesteld.

- gebruik $s = v_{gem} \cdot t$ met $v_{gem} = \dfrac{90}{3{,}6} = 25\ \mathrm{m/s}$ 1
- tijd tussen twee flitsen $1{,}2 \cdot 10^{-2} = 25 \cdot t \rightarrow t = 4{,}8 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{s}$ 1
- aantal flitsen per seconde $\dfrac{1}{4{,}8 \cdot 10^{-4}} = 2{,}08333 \cdot 10^3 = 2{,}1 \cdot 10^3\ \mathrm{s^{-1}}$ 1

Aardwarmte

2p **a** Bereken de gemiddelde temperatuurstijging per meter diepte in het Westland.

- inzicht temperatuurstijging per meter is $\frac{\Delta T}{\Delta h}$ 1
- $\frac{\Delta T}{\Delta h} = \frac{89 - 8{,}1}{2{,}3 \cdot 10^3} = 3{,}5174 \cdot 10^{-2} = 3{,}5 \cdot 10^{-2}$ °C per meter 1

2p **b** Bereken hoeveel warmte vrijkomt als $1{,}0 \cdot 10^3$ kg water afkoelt van 89 °C tot 8,1 °C.

- gebruik $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ met $c_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$ 1
- $Q = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 1{,}0 \cdot 10^3 \cdot (89 - 8{,}1) = 3{,}38162 \cdot 10^8 = 3{,}4 \cdot 10^8$ J 1

2p **c** Bereken de energie die minimaal nodig is om $1{,}0 \cdot 10^3$ kg water 2,3 km omhoog te pompen.

- energie nodig $E_z = m \cdot g \cdot h$ 1
- $E_z = 1{,}0 \cdot 10^3 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}3 \cdot 10^3 = 2{,}2563 \cdot 10^7 = 2{,}3 \cdot 10^7$ J 1

Thermofort (aangepast)

3p **a** Bereken het volume van het water dat in dit huis per jaar wegstroomt doordat men op heet water wacht.

- inzicht volume waterleiding: $V = \pi r^2 \cdot \ell$ 1
- $V = \pi \cdot (6{,}0 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 11 = 1{,}244 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3$ 1
- per jaar $20 \cdot 365{,}25 \cdot 1{,}244 \cdot 10^{-3} = 9{,}0874 = 9{,}1\ \text{m}^3$ 1

4p **b** Toon aan dat het vermogen van het verwarmingselement voldoende is om het warmteverlies door afkoeling te compenseren.

- per uur levert het verwarmingselement $2{,}0 \cdot 60 \cdot 60 = 7200$ J 1
- opzoeken $c_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3$ J / kg K 1
- 1,5 kg water 1 graad opwarmen: $Q = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 1{,}5 \cdot 1 = 6270$ J 1
- conclusie: er is voldoende vermogen beschikbaar 1

4p **c** Bereken de temperatuur van het water dat uit de kraan stroomt.

- gebruik $Q_{afstaan} = Q_{opnemen}$ 1
- inzicht $\Delta T_{heet} = (79 - T_{eind})$ en $\Delta T_{koud} = (T_{eind} - 17)$ 1
- $1{,}5 \cdot 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot (79 - T_{eind}) = 2{,}0 \cdot 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot (T_{eind} - 17)$ 1
- $1{,}5 \cdot 79 + 2{,}0 \cdot 17 = 3{,}5 \cdot T_{eind} \rightarrow T_{eind} = 43{,}57 = 44$ °C 1

Kelly Kettle

4p **a** Laat zien dat dit klopt.

- gebruik $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ — 1
- opzoeken $c_{water} = 4{,}18 \cdot 10^3\ \mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$ en $\rho_{water} = 0{,}9982 \cdot 10^3\ \mathrm{kg\,m^{-3}}$ — 1
- $Q = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 0{,}9982 \cdot 1{,}5 \cdot (100 - 20) = 5{,}00697 \cdot 10^5\ \mathrm{J}$ — 1
- $1\ \mathrm{cal} = 4{,}184\ \mathrm{J} \rightarrow Q = \dfrac{5{,}00697 \cdot 10^5}{4{,}184} = 1{,}19669 \cdot 10^5 = 12 \cdot 10^4\ \mathrm{cal}$ — 1

3p **b** Bereken hoeveel gram droog gras er (minimaal) nodig is om met de Kelly Kettle 1,5 liter water van 20 °C aan de kook te brengen.

- inzicht dat er $5{,}00697 \cdot 10^5\ \mathrm{J}$ nodig is — 1
- massa gras $m = \dfrac{5{,}00697 \cdot 10^5}{14{,}7 \cdot 10^6} = 3{,}4061 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{kg}$ — 1
- er is 34 gram gras nodig — 1

2p **c** Leg met behulp van bovenstaande formule uit waarom het water in de Kelly Kettle eerder kookt dan het water in de Bushcooker.

- bij de Kelly Kettle is het contactoppervlak A veel groter dan bij de Bushcooker — 1
- hierdoor is bij de Kelly Kettle P groter — 1

3p **d** Hoeveel van die dompelaars zouden nodig zijn om – net als bij de Kelly Kettle – binnen 3,0 minuten 1,5 liter water van 20 °C aan de kook te brengen? Licht je antwoord met een berekening toe.

- in 3,0 minuten levert één dompelaar $E = P \cdot t \rightarrow E = 300 \cdot 3 \cdot 60 = 5{,}4 \cdot 10^4\ \mathrm{J}$ — 1
- inzicht: aantal dompelaars is $\dfrac{c \cdot m \cdot \Delta T}{5{,}4 \cdot 10^4}$ — 1
- $\dfrac{5{,}00697 \cdot 10^5}{5{,}4 \cdot 10^4} = 9{,}272$ dus er zijn 10 dompelaars nodig — 1

NIET 9,3 of 9 dompelaars

Spanning en rek

Composiet

1p **a** Leg uit hoe je aan figuur 3 kunt zien dat de vervorming tijdens de trekproef elastisch was.

- de verhouding $\frac{\sigma}{\varepsilon}$ is constant(recht evenredig verband) 1

2p **b** Bepaal de elasticiteitsmodulus van het composiet in de lengterichting.

- gebruik $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ 1
- $E = \frac{1{,}24 \cdot 10^9}{0{,}020} = 6{,}2 \cdot 10^{10}$ Pa (marge $0{,}1 \cdot 10^{10}$ Pa) 1

3p **c** Bepaal de kracht die nodig was om de trekstaaf een rek te geven van 0,010.

- gebruik $\sigma = \frac{F}{A}$ 1
- aflezen $\sigma = 0{,}62 \cdot 10^9$ Pa en omrekenen $A = 40 \cdot 10^{-6}$ m 1
- $0{,}62 \cdot 10^9 = \frac{F}{40 \cdot 10^{-6}} \rightarrow F = 2{,}48 \cdot 10^4 = 2{,}5 \cdot 10^4$ N (marge $0{,}1 \cdot 10^4$ N) 1

2p **d** Bepaal de maximale lengte die de trekstaaf tijdens de trekproef krijgt.

- gebruik $\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$ 1
- $0{,}02 = \frac{\Delta \ell}{150} \rightarrow \Delta \ell = 3 \rightarrow \ell = 150 + 3 = 153$ mm 1

2p **e** Bepaal met behulp van figuur 5 de kracht die nodig is om beide veren samen 1,0 cm uit te rekken.

- stugge veer: 15 N bij u = 1,0 cm | slappe veer: 6,0 N bij u = 1,0 cm 1
- kracht nodig voor beide veren: $15 + 6 = 21$ N (marge 1 N) 1

2p **f** Vergelijk de situaties van figuur 4 en figuur 6 en kies in onderstaande zinnen het juiste alternatief.

- Als op dit composiet een kracht wordt uitgeoefend in de lengterichting van de vezels (figuur 4) is de **uitrekking** overal even groot.
- Als op dit composiet een kracht wordt uitgeoefend loodrecht op de lengterichting van de vezels (figuur 6) is de **kracht** overal even groot.
- In de lengterichting van de vezels is de elasticiteitsmodulus van dit composiet altijd **groter** dan loodrecht op de vezelrichting.

- zin 1 en zin 2 juist 1
- zin 3 juist 1

Metaalmoeheid

3p **a** Bereken de spankracht in de voorgespannen spaak.

- gebruik $\sigma = \dfrac{F}{A}$ 1
- gebruik $A = 2{,}63 \cdot 10^{-6}\ m^2$ 1
- $190 \cdot 10^6 = \dfrac{F}{2{,}63 \cdot 10^{-6}} \rightarrow F = 499{,}7 = 500\ N$ 1

2p **b** Bereken de (relatieve) rek van de voorgespannen spaak.

- gebruik $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon}$ en opzoeken $E = 0{,}20 \cdot 10^{12}$ Pa 1
- $0{,}20 \cdot 10^{12} = \dfrac{190 \cdot 10^6}{\varepsilon} \rightarrow \varepsilon = 9{,}5 \cdot 10^{-4}$

2p **c** Bepaal met behulp van figuur 3 de frequentie (= aantal omwentelingen per seconde) in 3 significante cijfers waarmee de spanning tijdens het fietsen wisselt.

- aflezen: er zijn 7 omwentelingen in 1,85 s 1
- $T = \dfrac{1{,}85}{7} = 0{,}264286\ s \rightarrow f = 3{,}78378 = 3{,}78\ Hz$ 1

4p **d** Beantwoord de volgende vragen:
– Bepaal met behulp van de figuren 3 en 4 de spanningsamplitude van de spaak.
– Leg hiermee uit of deze spaak $1 \cdot 10^7$ wielomwentelingen kan halen.

- aflezen figuur 3: $\sigma_{max} = 190\ MPa$ en $\sigma_{min} = 130\ MPa$ (marge 5 MPa) 1
- $\sigma_A = \dfrac{190 - 130}{2} = 35\ MPa$ 1
- figuur 4: bij 100 MPa kan de spaak $1 \cdot 10^7$ wielomwentelingen ondergaan 1
- 35 MPa is minder dan 100 MPa dus de spaak kan $1 \cdot 10^7$ wielomwentelingen halen 1

3p **e** Bepaal met behulp van figuur 4 na hoeveel kilometer de spaak zal breken.

- figuur 4: bij 120 MPa kan de spaak $3{,}0 \cdot 10^6$ omwentelingen maken 1
- omtrek wiel $\rightarrow$ omtrek $= 2\pi \cdot r$ $\rightarrow$ omtrek $= 2\pi \cdot 0{,}35 = 2{,}199115$ m 1
- afstand $3{,}0 \cdot 10^6 \cdot 2{,}199115 = 6{,}59734 \cdot 10^6\ m = 6{,}6 \cdot 10^3\ km$ 1