



NATUURKUNDE

3 VWO | GYMNASIUM

Auteurs

F. Alkemade

L. Lenders

F. Molin

R. Tromp

Eindredactie

P. Verhagen

Met medewerking van

Th. Smits

Vierde editie

MALMBERG 's-Hertogenbosch

www.nova-malmberg.nl

Inhoudsopgave

1 Krachten

1 Krachten om je heen	4
2 Krachten in evenwicht	6
3 Krachten in het heelal	10
4 Hefbomen	13
5 Krachten overbrengen	17
Test Jezelf	20
6 Praktijk Torenkranen: evenwichtskunst op grote hoogte	22

2 Elektrische energie

1 Elektrische energie produceren	23
2 Elektrische energie vervoeren	25
3 Elektriciteit in huis	27
Test Jezelf	29
4 Praktijk Een supernetwerk voor Europa	31

3 Licht en lenzen

1 Lichtbreking	32
2 Lenzen	36
3 Camera's en projectoren	39
4 Oog en bril	44
Test Jezelf	46
5 Praktijk Hoe werkt ... een camera?	48

4 Energie

1 Verwarmen	50
2 Energiebronnen	52
3 Isoleren	54
4 Rendement	56
Test Jezelf	59
5 Praktijk Sport en voeding	62

5 Kracht en beweging

1 Beweging in diagrammen	63
2 Voortstuwen en tegenwerken	67
3 Kracht, massa en versnelling	70
4 Remmen en botsen	74
Test Jezelf	77
5 Praktijk Werken als verkeersmanager	79

6 Schakelingen

1 Lading en spanning	81
2 Weerstand	83
3 Weerstanden schakelen	86
4 Schakelingen in de automatisering	91
Test Jezelf	94
5 Praktijk Speuren naar metalen	96

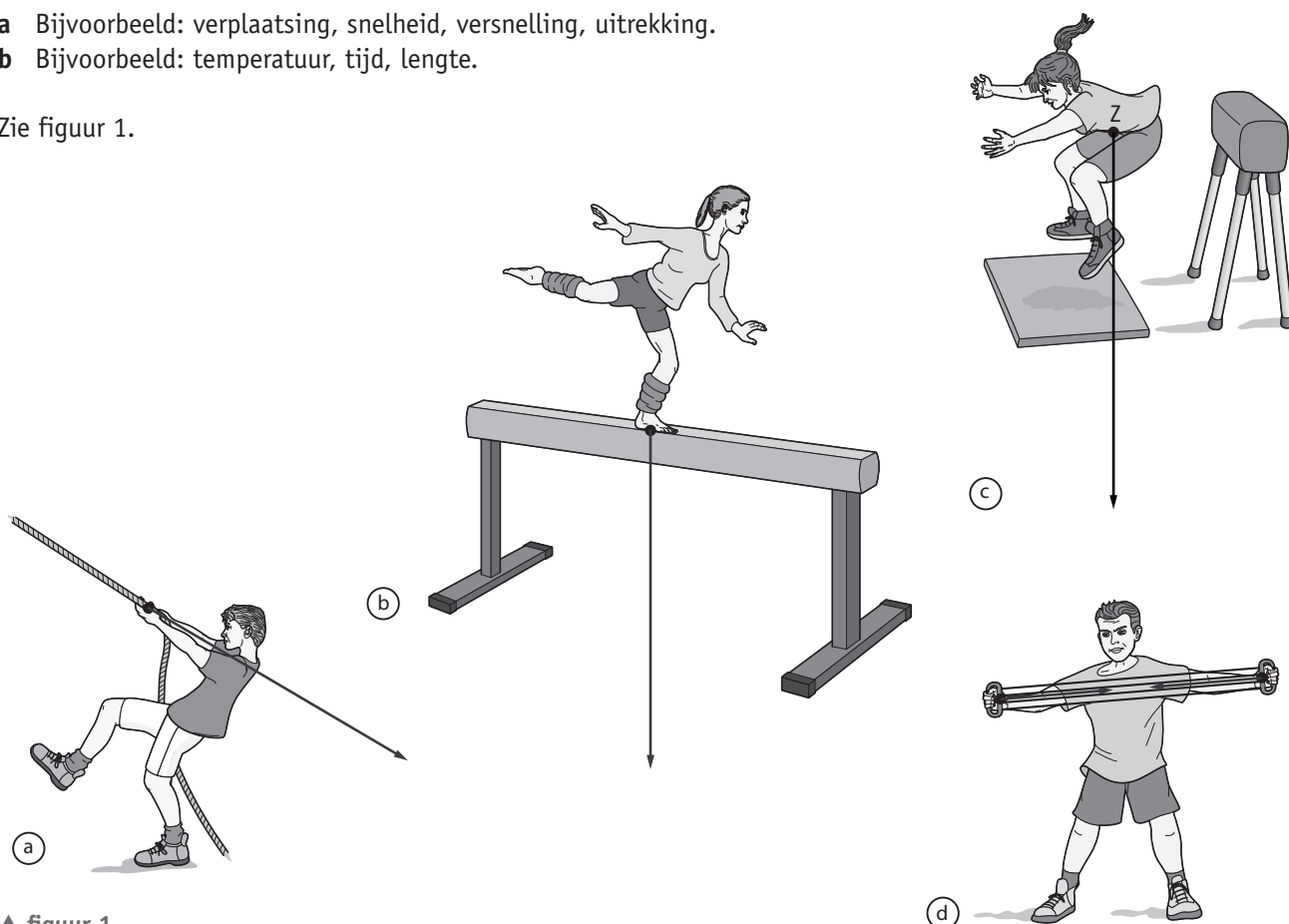
7 Radioactiviteit

1 Soorten straling	97
2 Ioniserende straling	99
3 Bescherming	101
4 Activiteit en halveringstijd	103
Test Jezelf	106
5 Praktijk De kunst van het ontmaskeren	108

1 Krachten

1 Krachten om je heen

- 1
 - a Een kracht kan de beweging of de vorm van een voorwerp veranderen.
 - b Bij een elastische vervorming is het voorwerp tijdelijk vervormd, terwijl een plastische vervorming blijvend is.
 - c $F_z = m \cdot g = 10 \times 9,8 = 98 \text{ N}$
 - d Het aangrijpingspunt van een kracht geeft de plaats aan waar de kracht op het voorwerp werkt.
 - e de richting van de pijl, de lengte van de pijl en het beginpunt van de pijl
- 2
 - a elastisch; zwaartekracht, veerkracht
 - b elastisch; zwaartekracht, spankracht
 - c plastisch; spierkracht
 - d elastisch; zwaartekracht, veerkracht
- 3
 - a spierkracht
 - b veerkracht
- 4
 - a Bijvoorbeeld: verplaatsing, snelheid, versnelling, uitrekking.
 - b Bijvoorbeeld: temperatuur, tijd, lengte.
- 5 Zie figuur 1.



▲ figuur 1

- 6 a De pijl heeft een lengte van 2,3 cm.

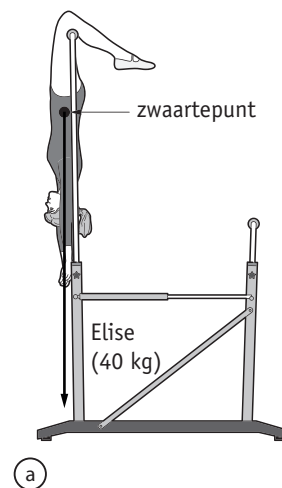
$$\frac{76 \text{ N}}{2,3 \text{ cm}} = 33 \text{ N per cm}$$

De schaal is dus: 1 cm $\hat{=}$ 33 N.

- b De zwaartekracht is $30 \times 9,8 = 294 \text{ N}$.

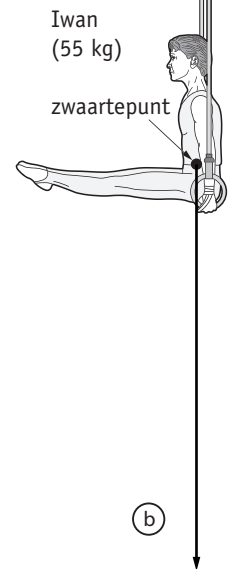
Dit komt overeen met een pijl van $\frac{294}{33} = 8,9 \text{ cm}$.

- 7 a Elise: $F_z = m \cdot g = 40 \times 9,8 = 392 \text{ N}$
Iwan: $F_z = m \cdot g = 55 \times 9,8 = 539 \text{ N}$
b Zie figuur 2.



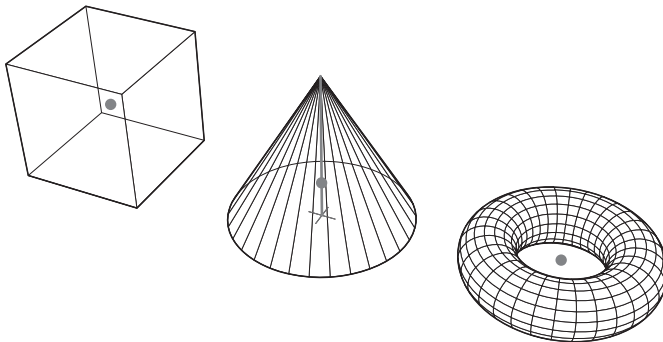
(a)

▲ figuur 2

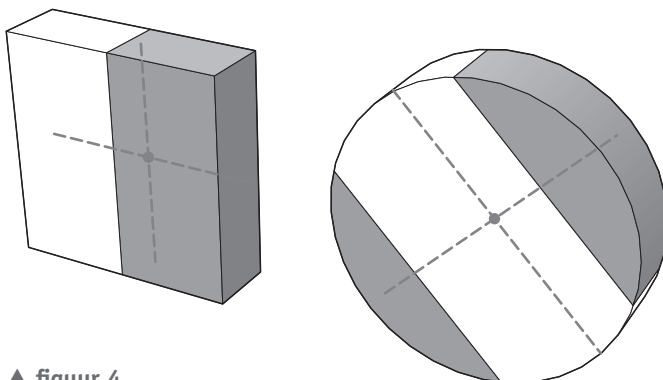


(b)

- 8 a Zie figuur 3.
b Zie figuur 4. Links zit het zwaartepunt rechts van het midden. Rechts zit het zwaartepunt precies in het midden.



▲ figuur 3



▲ figuur 4

- *9 a Nee, je massa blijft even groot.
b Stel dat je massa 55 kg is. Dan is de zwaartekracht op jou: $55 \times 9,8 = 539 \text{ N}$.
c Als de zwaartekracht 6× zo klein moet zijn, dan moet $n^2 = 6$ zijn, dus $n = \sqrt{6} = 2,45$. Dus je moet dan $2,45 \times 6371 = 15\,609 \text{ km}$ van het middelpunt van de aarde zijn. (Als je $\sqrt{6}$ niet afrondt maar rekent met het getal op je rekenmachine, vind je 15 606 km.)
d Als de zwaartekracht 6× zo klein is, dan is g ook 6× zo klein, dus g is daar: $\frac{9,8}{6} = 1,6 \text{ N/kg}$.

Plus Druk

- 10** a Een breed handvat verkleint de druk op je hand als je de koffer draagt. Daardoor doet je hand niet zo'n pijn als je de koffer optilt.
 b Het snijvlak van een stompe bijl heeft een grote oppervlakte. Door te slijpen maak je het snijvlak van de bijl kleiner. De bijl kan daardoor een grotere druk uitoefenen.
 c De hakken hebben een kleine oppervlakte. Daardoor is de druk op de plek waar de hakken de grond raken erg hoog en is er kans dat er putjes in de parketvloer komen.
 d Betonplaten verkleinen door hun grote oppervlakte de druk van bijvoorbeeld een hijskraan of vrachtauto op de ondergrond.
- 11** a Op een vlak van 20×10 cm. Dit is het vlak met de grootste oppervlakte.
 b Voor de druk geldt:

$$p = \frac{F}{A}$$

$$F = 20 \text{ N en } A = 0,20 \times 0,10 \text{ m}^2 = 0,020 \text{ m}^2$$

$$p = \frac{20}{0,020} = 1000 \text{ Pa} = 1,0 \text{ kPa}$$

- c Op een vlak van 10×5 cm. Dit is het vlak met de kleinste oppervlakte.
 d $F = 20 \text{ N}$ en $A = 0,05 \times 0,10 \text{ m}^2 = 0,0050 \text{ m}^2$

$$p = \frac{20}{0,0050} = 4000 \text{ Pa} = 4,0 \text{ kPa}$$

- e De kleinste oppervlakte van de baksteen is $4\times$ zo klein als de grootste oppervlakte.

- 12** a Ze kan altijd het best liggend op haar buik naar de drenkeling schuiven: de druk op het ijs is dan kleiner.
 b $F = 600 \text{ N}$ en $A = 300 \text{ cm}^2 = 0,0300 \text{ m}^2$
 Dus de druk is: $p = \frac{600}{0,0300} = 20\,000 \text{ Pa} = 20 \text{ kPa}$. Deze druk kan het ijs niet weerstaan.
 c Het contactoppervlak is dan $10\times$ zo groot, dus de druk is $10\times$ zo klein.

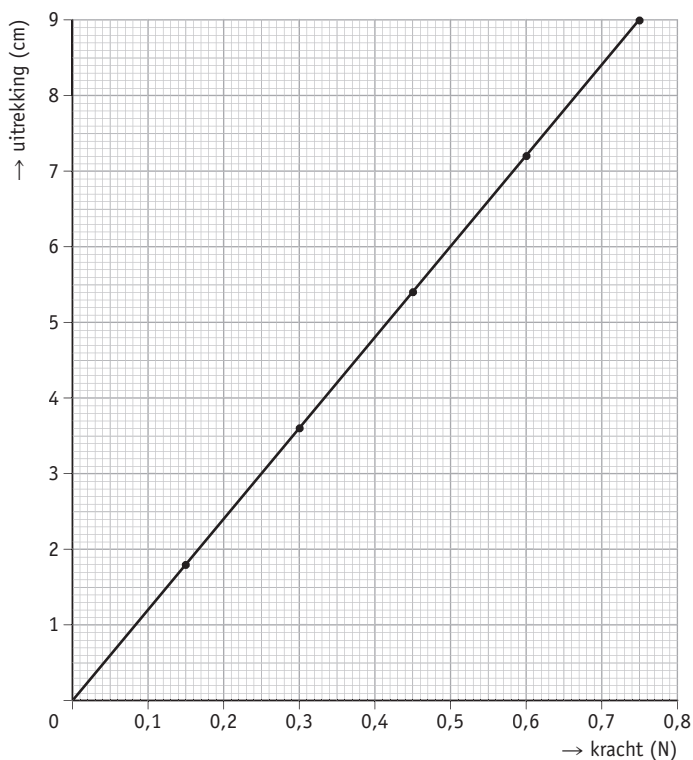
2 Krachten in evenwicht

- 13** a – de nulstand (de lengte van de veer zonder gewichtjes);
 – de lengte van de veer met een of meer gewichtjes eraan.
 b $C = \frac{F}{u}$
 c De normaalkracht werkt op jou.
 d Je tekening moet lijken op figuur 16 in je leeropdrachtenboek.

14

aantal gewichtjes	kracht op de veer (N)	uitrekking (cm)
0	0	0
1	0,15	1,8
2	0,30	3,6
3	0,45	5,4
4	0,60	7,2
5	0,75	9,0

- b Zie figuur 5.
- c Lees af in de grafiek bij 0,5 N: de uitrekking is 6,0 cm.
- d Je moet de grafiek doortrekken (extrapoleren) en vindt dan een uitrekking van ongeveer 10,8 cm.
- e Willem heeft niet gemeten met krachten boven de 0,75 N, dus het is niet zeker dat de grafiek daar nog steeds volgens de rechte lijn van figuur 5 loopt.
- f Bij tien gewichtjes zou je een uitrekking verwachten die $10\times$ zo groot is als die bij één gewichtje, dus een uitrekking van ongeveer $10 \times 1,8 = 18$ cm. De veer is echter 25 cm uitgerekt. Als je een veer te ver uitrekt, komt hij niet meer in zijn oude stand als je hem loslaat. Dan rekt hij ook verder uit dan je zou verwachten.



▲ figuur 5

- 15 a Bij de groene krachtmeter is er 10 N nodig om de veer 8,4 cm uit te rekken, bij de bruine 5 N en bij de rode 2 N. De veer in de groene krachtmeter is dus het stugst.

b
$$c = \frac{F}{u} = \frac{2,0}{8,4} = 0,24 \text{ N/cm}$$

- c Er is $2,5\times$ zo veel kracht nodig om de bruine krachtmeter even ver uit te rekken als de rode ($5 = 2,5 \times 2$). De veerconstante van de bruine krachtmeter is dus $2,5\times$ zo groot als die van de rode: 0,60 N/cm.
Er is $5\times$ zo veel kracht nodig om de groene krachtmeter even ver uit te rekken als de rode ($10 = 5 \times 2$). De veerconstante van de groene krachtmeter is dus $5\times$ zo groot als die van de rode: 1,2 N/cm.

***16 a** Het gewichtje trekt aan beide veren, dus op beide werkt 10 N.

b De uitrekking van elke veer apart is:

$$u = \frac{F}{C} = \frac{10}{6} = 1,667 \text{ cm}$$

Dus de combinatie van de twee veren rekt $2 \times 1,667 = 3,33 \text{ cm}$ uit. Dus de veerconstante van de combinatie is:

$$C = \frac{F}{u} = \frac{10}{3,33} = 3,0 \text{ N/cm}$$

De veerconstante wordt dus $2 \times$ zo klein. Bij dezelfde kracht rekt de combinatie van de twee veren $2 \times$ zo ver uit als één veer. Je kunt ook zeggen: om een bepaalde uitrekking te krijgen van de combinatie, is nog maar de helft van de kracht nodig.

c De kracht van 10 N wordt nu verdeeld over de twee veren. Op elk werkt dus 5,0 N en de uitrekking is nu 0,83 cm. Dat is de helft van de uitrekking van één veer waarop 10 N werkt. De veer is dus $2 \times$ zo stug geworden, dus C is nu $2 \times$ zo groot: 12 N/cm.

17 a de zwaartekracht en de veerkracht (spankracht) van het touwtje

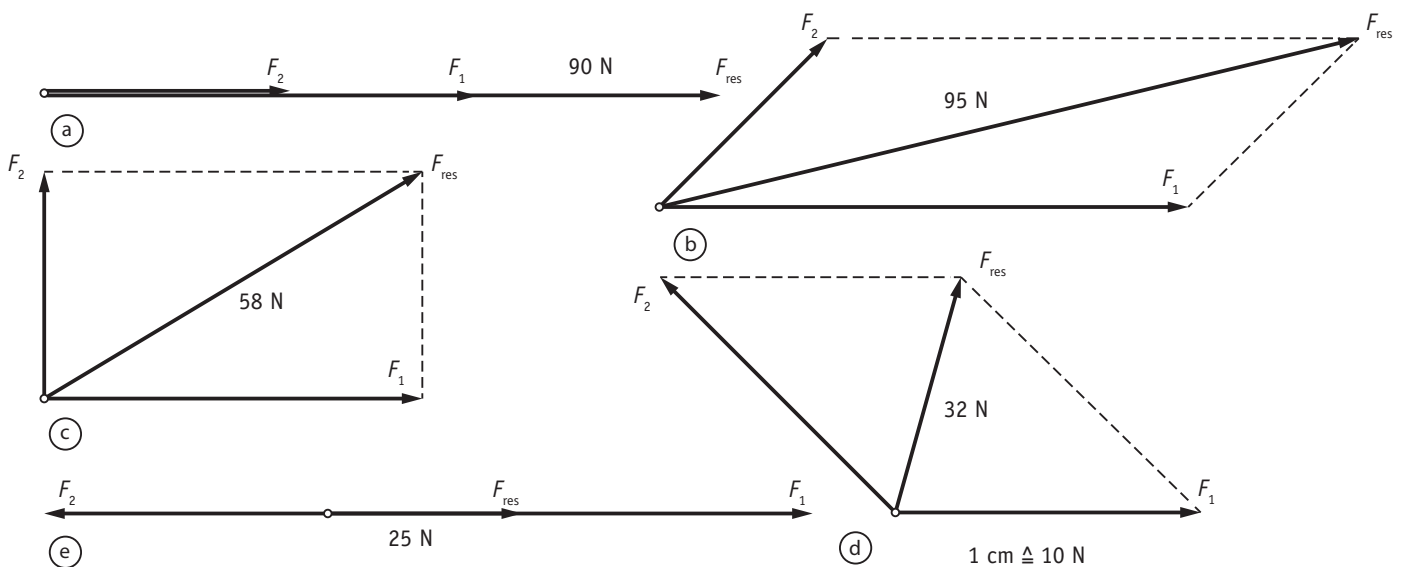
b de magnetische kracht

c De magnetische kracht is het grootst. De paperclip hangt stil en de krachten zijn in evenwicht. De kracht omhoog (de magnetische kracht) is dus even groot als de andere twee krachten (de zwaartekracht en trekkraft) samen.

18 a Zie figuur 6.

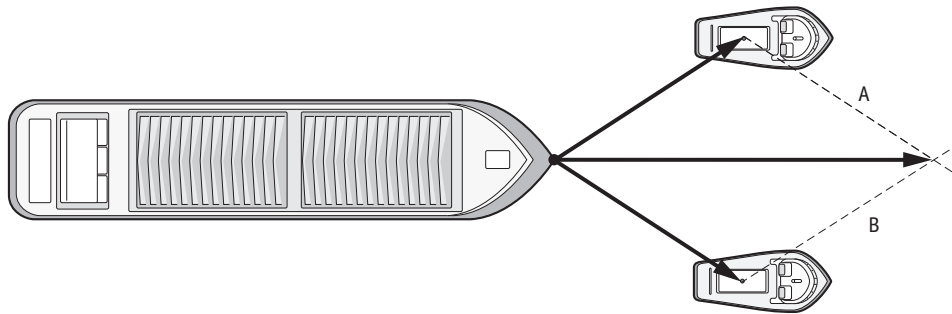
tekening	lengte resultante (cm)	grootte resultante (N)
a	9,0	90
b	9,5	95
c	5,8	58
d	3,2	32
e	2,5	25

c Bij tekening c kun je Pythagoras gebruiken: $a^2 + b^2 = c^2$. Dus de schuine zijde is hier: $\sqrt{5,0^2 + 3,0^2} = \sqrt{34} = 5,8 \text{ cm}$.



▲ figuur 6

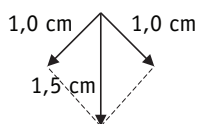
- 19 a Zie figuur 7.
 b Als krachtschaal is gebruikt: $1 \text{ cm} \triangleq 200 \text{ kN}$.
 De pijl van de resultante is $5,0 \text{ cm}$, dus: $F_{\text{res}} = 5,0 \times 200 = 1000 \text{ kN} = 1,0 \text{ MN}$.



▲ figuur 7

- 20 a $F_{\text{res}} = F_1 + F_2 = 3 + 4 = 7 \text{ N}$
 b $F_{\text{res}} = F_1 + F_2 = 3 - 4 = -1 \text{ N}$ (of: $= -3 + 4 = 1 \text{ N}$)
 c Dit moet je tekenen met een handige schaal en dan moet je de resultante opmeten: $6,7 \text{ N}$.
 d Hier kun je Pythagoras gebruiken: $a^2 + b^2 = c^2$. Dus de schuine zijde is hier:
 $\sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5 \text{ N}$ (3-4-5-driehoek).

- *21 a Zie figuur 8. De twee schuine zijden moeten in jouw tekening $1,0 \text{ cm}$ lang zijn. Opmeten van de resultante geeft een lengte van $1,5 \text{ cm}$ en dat komt overeen met $1,5 \times 50 = 75 \text{ kN}$.
 b Je kunt de resultante ook zien als de schuine zijde van een rechthoekige driehoek. Je kunt dus Pythagoras gebruiken: $a^2 + b^2 = c^2$.
 Dus de schuine zijde is hier: $\sqrt{50^2 + 50^2} = \sqrt{5000} = 71 \text{ kN}$.
 c De tekening bij vraag a is erg klein en je kunt dus niet nauwkeurig opmeten. Het antwoord bij vraag b is exact en dus zeker beter.
 d De katrol blijft hangen dus de giek moet met dezelfde kracht trekken als de resultante, dus met 71 kN .



▲ figuur 8

- *22 a Zie figuur 9.
 b Teken de krachten met een handige schaal en zet de staart van kracht 2 (40 N) aan de kop van 1 en de staart van 3 aan de kop van 2. Trek dan de resultante van de staart van 1 naar de kop van 3. Je vindt dan dat de resultante $3,2 \text{ N}$ is. (Je kunt ook eerst 2 en 3 optellen en dan vind je een kracht van 10 N naar links.)



► figuur 9

Plus Soorten evenwicht

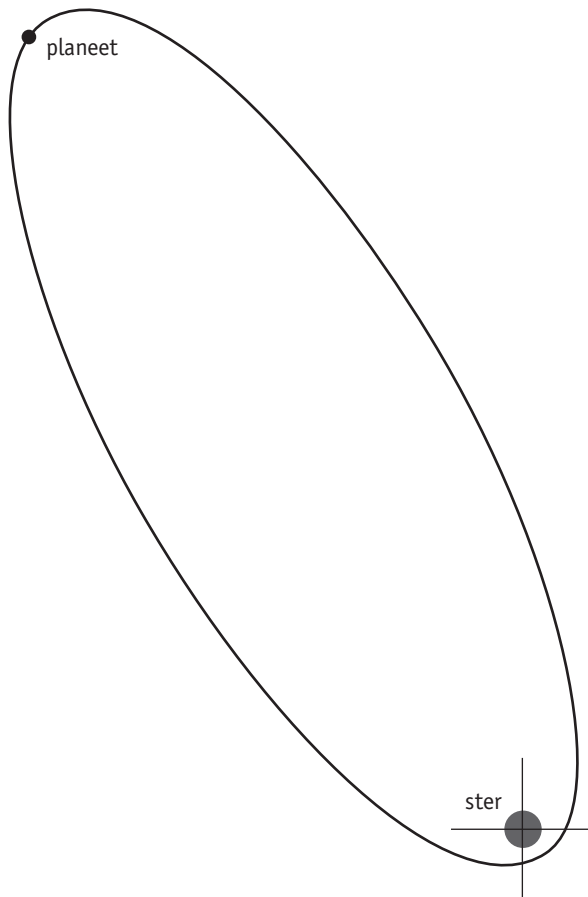
- 23** a Stabiel: als je het gewichtje een zetje geeft, komt het weer terug in de evenwichtsstand.
 b Stabiel: als je het boek een beetje optilt en loslaat, komt het weer terug in de evenwichtsstand.
 c Instabiel: als je het balletje zelfs maar een klein tikje geeft, rolt het weg en komt het niet meer terug.
- 24** a Het zwaartepunt van de doos ligt blijkbaar boven het stuk tafel waarop de doos rust. Er zit meer massa aan de linkerkant van de doos dan aan de rechterkant.
 b Dat is niet te zeggen. Als het zwaartepunt van de doos precies boven de rand van de tafel ligt, is het evenwicht instabiel. Als het zwaartepunt meer naar links ligt, is het stabiel.
- 25** a De voet rechts (van jou uit gezien) is het steunvlak. (Dat is Jara's linkervoet, maar we gaan in deze uitwerking uit van jou en niet van Jara zelf.)
 b Jara staat stil en is dus in evenwicht. Het zwaartepunt ligt dan boven het steunvlak = boven de voet rechts (van jou uit gezien).
 c Wanneer Jara haar bovenlichaam naar rechts verplaatst, verplaatst ze ook het zwaartepunt naar rechts. Dat is dan niet meer boven het steunvlak.
 d Ze kan bijvoorbeeld haar been en arm links (van jou uit gezien) verder uitstrekken, waardoor het zwaartepunt meer links komt te liggen en weer boven het steunvlak zit.

3 Krachten in het heelal

- 26** a Dat komt doordat de planeten met een grote snelheid langs de zon bewegen.
 b De middelpuntzoekende kracht wordt geleverd door de gravitatiekracht (de aantrekkingskracht tussen de zon en de planeten).
 c Een ellips heeft twee brandpunten en is niet rond. Een cirkel is rond en heeft één middelpunt.
 d Een voorwerp heeft altijd massa (in kg), maar het gewicht (in N) van het voorwerp kan variëren. Het gewicht van een voorwerp is de kracht die het uitoefent op de ondergrond waarop het staat of het touw waaraan het hangt.
- 27** a Wanneer je op een stoel zit, is je gewicht gelijk aan de zwaartekracht.
 b Bijvoorbeeld: wanneer je in een lift zit en deze begint omlaag te bewegen, is je gewicht even (iets) kleiner dan de zwaartekracht. Wanneer je in de lift staat en deze begint omhoog te bewegen, is je gewicht even (iets) groter dan de zwaartekracht.
- 28** a Aan de evenaar is de zwaartekracht het kleinst, dus daar kun je het best een recordpoging doen.
 b In Noord-Friesland is de zwaartekracht op de halter van 263 kg: $9,8134 \times 263 = 2580,92$. In Zuid-Limburg is de zwaartekracht 2580,35. Het verschil is 0,5744 N. Dat is dus niet veel.
- *29** a $1 \text{ AE} = 150\,000\,000 \text{ km} = 150\,000\,000\,000 \text{ m}$ (of exacter: $1,49598 \cdot 10^{11} \text{ m}$)
- b De werkelijke diameter van de aarde is 12 742 km. 1 cm komt dus overeen met $\frac{12\,742}{1,3} = 9802 \text{ km}$.
 Dus 150 miljoen km komt overeen met $\frac{150\,000\,000}{9802} = 15\,303 \text{ cm} = 153 \text{ m}$.
- c $\frac{4\,500\,000\,000 \text{ km}}{150\,000\,000 \text{ km}} = 30 \text{ AE}$

- d De snelheid van licht is 299 792 458 m/s maar vaak zegt men: 300 000 km/s. Het aantal seconden in een jaar is: $365 \times 24 \times 60 \times 60 = 31\,536\,000$. Als je 300 000 km/s hiermee vermenigvuldigt, krijg je $9,461 \cdot 10^{12}$ km.

- 30 a Zie figuur 10.
 b De planeetbanen in ons zonnestelsel zijn niet heel sterk elliptisch, maar bijna cirkelvormig.
 c – Als de afstand van de zon sterk varieert, varieert de temperatuur op het oppervlak ook heel sterk en organismen kunnen dat niet aan.
 – Een temperatuur van 700 °C kunnen organismen niet aan (voor zover wij weten).



▲ figuur 10

- *31 a De satelliet verliest snelheid, maar ondervindt dezelfde middelpuntzoekende zwaartekracht. Daarom wordt de afbuiging groter: de afstand tussen de satelliet en de aarde neemt af.
 b In zijn nieuwe baan bevindt de satelliet zich dichterbij de aarde, waar de atmosfeer nog dichter is. Hierdoor wordt de satelliet nog meer afgeremd.
 c De snelheid van de satelliet zal steeds verder afnemen, en uiteindelijk zal de satelliet neerstorten op aarde.
- *32 a Op Mars geldt: $g = 3,7$ N/kg.
 b De massa van de aarde is ongeveer $6 \cdot 10^{24}$ kg en die van Mars ongeveer $0,6 \cdot 10^{24}$ kg. De aarde is dus ongeveer 10× zo zwaar maar de g op aarde is niet 10× zo groot als die op Mars. Dus hiermee kun je wel verklaren waarom g op aarde groter is maar de verhouding van de g 's kun je niet verklaren.
 c De computer van de weegschaal 'weet' dat g op aarde 9,8 N/kg is en kan dus de kracht die hij meet (het gewicht) omzetten in een aantal kg.
 d Op Mars trekt een voorwerp $\frac{9,8}{3,7} = 2,6\times$ zo weinig aan het apparaat. Dus de computer 'denkt' dat het voorwerp een massa van $\frac{10}{2,6} = 3,8$ kg heeft.

- 33 a** de zwaartekracht en twee normaalkrachten: één op zijn linkerhand en één op zijn rechterhand
b Deze kracht heet het gewicht.
c Jeroens gewicht: $G = F_z = m \cdot g = 70 \times 9,8 = 686 \text{ N}$. Dit gewicht zal hij ongeveer gelijk proberen te verdelen. Patrick draagt dus ongeveer de helft: 343 N.
d De zwaartekracht op Jeroens lichaam zal niet veranderen. Zijn gewicht wel: zijn anderhalve salto is een vrije val, waarbij hij gewichtloos is.
- *34 a** Het gewicht van Neil Armstrong was even groot als de zwaartekracht F_z . Op de maan heeft g een waarde van 1,6 N/kg.
 $G = F_z = m \cdot g = 160 \times 1,6 = 256 \text{ N}$
b De zwaartekracht op de maan is ongeveer 6× zo klein als die op aarde. Wil Neil Armstrong op de aarde evenveel gewicht uitoefenen als op de maan, zou zijn massa op aarde (zonder ruimtepak) 6× zo klein moeten zijn als zijn massa op de maan (met ruimtepak). Dat betekent dat Neil Armstrongs massa (zonder ruimtepak) een massa zou hebben
- $$\text{van } \frac{160}{6} = 27 \text{ kg!}$$
- Dat is duidelijk onmogelijk. Zijn massa zal een stuk groter zijn dan 27 kg. Dat betekent dat zijn gewicht op aarde (zonder ruimtepak) groter was dan zijn gewicht op de maan (met ruimtepak).
- 35 a** In punt A is de komeet het dichtst bij de zon, dus daar is de gravitatiekracht het grootst. In punt C is de komeet het verst van de zon en is de kracht het kleinst.
b In punt B werkt de gravitatiekracht van de zon tegengesteld aan de snelheid. De beweging is dus vertraagd.
c In punt D werkt de aantrekkende kracht van de zon. Die zorgt voor een versnelling.
d Op het traject van D naar A is de komeet voortdurend versneld door de gravitatiekracht van de zon. Zodra hij A gepasseerd is, gaat hij vertragen. Dus in A is de snelheid het grootst en in C het kleinst.

Plus De middelpuntzoekende kracht

- 36 a** De kabel waarmee het stoeltje aan de molen vastzit, houdt het stoeltje in zijn baan en de leuning van het stoeltje houdt jou weer in die baan.
b De wrijving tussen de banden en het wegdek zorgt ervoor dat de auto de bocht kan maken. (Bij een zeer gladde weg lukt dat bijvoorbeeld vrijwel niet.)
c De gravitatiekracht tussen Jupiter en Europa zorgt ervoor dat Europa in zijn baan om de planeet blijft.
- *37 a** $10\,400 + 6371 = 16\,771 \text{ km} = 16\,771\,000 \text{ m}$
b De lengte (s) van een volledige baan van de satelliet om de aarde is
 $2\pi \cdot r = 6,28 \times 16\,771\,000 \text{ m} = 1,05375 \cdot 10^8 \text{ m}$. De tijd (t) voor één baan is
 $6,0 \times 3600 = 21\,600 \text{ s}$. De (gemiddelde) snelheid is dan: $v = \frac{s}{t} = 4878 \text{ m/s}$.
c $F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{2100 \times 4878^2}{16\,771\,000} = 2980 \text{ N} = 3,0 \text{ kN}$
- *38 a** omtrek $= 2\pi \cdot r = 6,28 \times 6\,371\,000 \text{ m} = 4,003 \cdot 10^7 \text{ m}$
b Je maakt in 24 h $= 24 \times 60 \times 60 = 86\,400 \text{ s}$ een volledige omwenteling.
 Je snelheid is: $v = \frac{s}{t} = \frac{4,003 \cdot 10^7}{86\,400} = 463 \text{ m/s}$
c Stel dat je massa 60 kg is. Dan is de middelpuntzoekende kracht: $F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{60 \times 463^2}{6\,371\,000} = 2,0 \text{ N}$
d De zwaartekracht is $60 \times 9,8 = 588 \text{ N}$. Daarvan is 2,0 N nodig om je in je baan te houden. Het gewicht is dan $G = 588 - 2 = 586 \text{ N}$. $G = F_z$ klopt dus niet helemaal.

4 Hefbomen

- 39 a** Met de formule $M = F \cdot r$.
- b** De werklijn van een kracht is de (oneindig) lange lijn die je kunt trekken door de pijl (vector) die de kracht voorstelt.
- c** Enkele hefboom: handvat van deur, breekijzer/koevoet, schroevendraaier (voor het openen van een verfblik), steeksleutel, bandenlichter, flesopener.
Dubbele hefboom: diverse soorten scharen, notenkraker, nijptang, pincet.
- d** De arm r is de afstand tussen de werklijn van de kracht en het draaipunt van de hefboom. r staat altijd loodrecht op de werklijn.
- e** Door een hefboom te gebruiken, kun je veel grotere krachten op een voorwerp uitoefenen dan je met je 'blote handen' zou kunnen.

- *40 a** De kracht die Lisette op de wip uitoefent is $F_z = m \cdot g = 26 \times 9,8 = 255 \text{ N}$. De arm van deze kracht is 1,50 m. Het moment linksom is dus: $255 \times 1,50 = 382 \text{ Nm}$. Evenzo kun je voor haar moeder uitrekenen dat het moment rechtsom gelijk is aan 353 Nm. De momenten zijn niet gelijk, dus er is geen evenwicht.
- b** Het moment dat Anneke veroorzaakt, moet gelijk zijn aan 382 Nm. De kracht die Anneke uitoefent, is $80 \times 9,8 = 784 \text{ N}$. Dan volgt uit $M = F \cdot r$:

$$r = \frac{M}{F} = \frac{382}{784} = 0,49 \text{ m}$$

Anneke moet dus 4 cm naar rechts opschuiven.

- 41 a** De massa van het linkervisje noemen we m_1 en die van het rechtervisje m_2 .
 $m_1 = 20 \text{ g} = 0,020 \text{ kg}$
 $F_1 = m_1 \cdot g = 0,020 \times 9,8 = 0,196 \text{ N}$
 Er is evenwicht, dus geldt:
 $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$ (je mag hier trouwens ook de massa's m in plaats van de krachten F gebruiken)
 $0,196 \times 0,20 = 0,0392 = F_2 \cdot 0,40$

$$F_2 = \frac{0,0392}{0,40} = 0,098 \text{ N}$$

$$m_2 = \frac{F_2}{g} = \frac{0,098}{9,8} = 0,010 \text{ kg} = 10 \text{ g}$$

- b** Je moet nu het moment dat het stokje veroorzaakt meenemen in je berekening. Je kunt het moment uitrekenen voor het deel van het stokje links van het draaipunt en voor het deel rechts van het draaipunt, maar je kunt het ook sneller doen. Het stokje heeft zijn zwaartepunt op 10 cm rechts van het draaipunt. Het levert dus een moment rechtsom. In plaats van krachten gebruiken we hier massa's in gram in de momentenwet (de factor 9,8 van de zwaartekracht en de factor 0,001 voor het omrekenen naar kilogram kun je toch links en rechts wegstrepen tijdens je berekening).

Dan geldt:

$$m_1 \cdot r_1 = m_2 \cdot r_2 + m_{\text{stokje}} \cdot 10$$

$$20 \times 20 = m_2 \cdot 40 + 10 \times 10$$

$$m_2 \cdot 40 = 400 - 100 = 300$$

$$m_2 = \frac{300}{40} = 7,5 \text{ g}$$

- 42** Het is handig om de massa's van links naar rechts te nummeren. Visje B heeft een massa m_1 , visje A heeft een massa m_2 en het visje rechts een massa $m_3 = 10 \text{ g}$.

- 1 Eerst bereken je de massa van visje A:

$$m_3 = 10 \text{ g} = 0,010 \text{ kg}$$

$$F_3 = m_3 \cdot g = 0,010 \times 9,8 = 0,098 \text{ N}$$

Er is evenwicht, dus geldt:

$$F_2 \cdot r_2 = F_3 \cdot r_3 \text{ (je kunt ook weer } m \text{ gebruiken in plaats van } F \text{ zoals bij opgave 41)}$$

$$F_2 \cdot 0,20 = 0,098 \times 0,10$$

$$F_2 = \frac{0,098}{0,20} = 0,049 \text{ N}$$

$$m_2 = \frac{F_2}{g} = \frac{0,049}{9,8} = 0,0050 \text{ kg}$$

De massa van visje A is dus 5,0 g.

- 2 Dan bereken je de massa van visje B:

Aan het bovenste stokje hangt rechts een massa m_{2+3} van $15 \text{ g} = 0,015 \text{ kg}$

$$F_{2+3} = m_{2+3} \cdot g = 0,015 \times 9,8 = 0,147 \text{ N}$$

Er is evenwicht, dus geldt:

$$F_1 \cdot r_1 = F_{2+3} \cdot r_{2+3}$$

$$F_1 \cdot 0,50 = 0,147 \times 0,20$$

$$F_1 = \frac{0,0294}{0,50} = 0,0588 \text{ N}$$

$$m_1 = \frac{F_1}{g} = \frac{0,0588}{9,8} = 0,0060 \text{ kg}$$

De massa van visje B is dus 6,0 g.

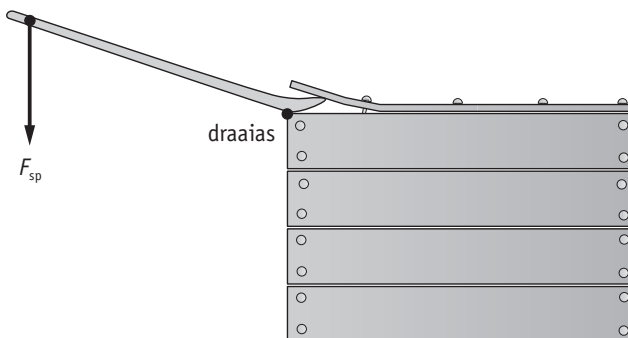
- 43 a** Zie figuur 11.

- b** Zie figuur 11.

- c** De afstand tussen spierkracht en draaipunt is 3,4 cm. De afstand tussen de werkkraft (de kracht op het deksel) en het draaipunt is 0,5 cm.

- d** De arm van de spierkracht is $\frac{3,4}{0,5}$ is 6,8× zo groot als de arm van de werkkraft. Dat

betekent dat de spierkracht 6,8× zo klein is als de werkkraft: $\frac{750 \text{ N}}{6,8} = 110 \text{ N}$



▲ figuur 11

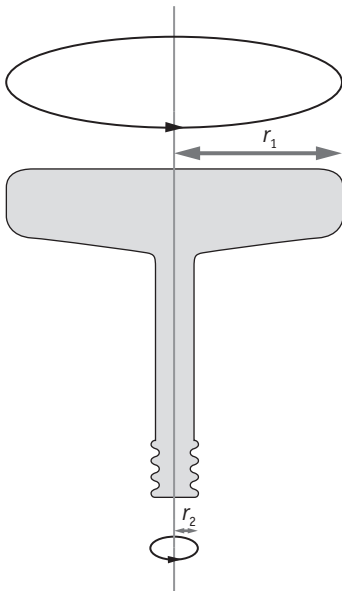
- 44** Je gaat uit van evenwicht, dus geldt (1 is de kant van de draad, 2 is de kant van de hand):

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

$$95 \times 1,5 = F_2 \cdot 9,0$$

$$F_2 = \frac{142,5}{9,0} = 16 \text{ N}$$

- *45 a** De spierkracht van je hand op de stemknop heeft een grote arm r_1 .
De werkkraft op het draaimechanisme heeft een kleine arm r_2 .
Zie figuur 12.
- b** Zie vraag a en figuur 12.
- c** Om de dikke snaren van een basgitaar op spanning te brengen, zijn grotere trekkrachten nodig dan voor de dunne snaren van een gewone gitaar. Om die grote trekkrachten te kunnen leveren, krijgt een basgitaar extra grote stemknoppen. Zo wordt de arm van de spierkracht – en dus ook de grootte van de kracht waarmee de snaren aangespannen worden – zo groot mogelijk gemaakt.



▲ figuur 12

- 46** Het draaipunt van de notenkraker zit helemaal links. Arm r_1 van de spierkracht is $4,0 + 7,2 = 11,2$ cm. Arm r_2 van de krachten op de noot is 4,0 cm.
Je gaat uit van evenwicht, dus geldt:

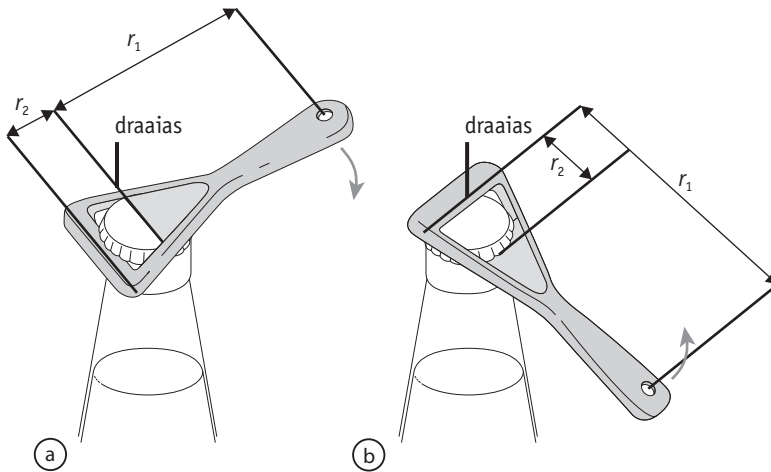
$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

$$15 \times 11,2 = F_2 \cdot 4,0$$

$$F_2 = \frac{168}{4,0} = 42 \text{ N}$$

Op beide kanten van de walnoot werkt een kracht van 42 N.

- *47** Arm r_1 van de spierkracht is in situatie b groter dan in situatie a doordat het draaipunt bij b anders ligt dan bij a.
 Arm r_2 van de kracht op de dop is in beide situaties even groot.
 Dat betekent dat de kracht het sterkst vergroot wordt in situatie b. In situatie b heb je dus de minste spierkracht nodig.
 Zie figuur 13.



▲ figuur 13

- 48** Er zijn vier mogelijkheden om de plank los te krijgen van een van de schragen: duwen op of tillen aan de linker- of de rechterkant van de plank.
 Bekijk ze alle vier. Noem de kracht die je uitoefent F . Het zwaartepunt van de plank zit op 1,5 m van de linkerschraag en op 1,0 m van de rechterschraag.
- | | |
|----------------|---|
| links duwen: | $F \cdot 0,5 = 600 \times 1,5 \rightarrow F = 1800 \text{ N}$ |
| links tillen: | $F \cdot 3,0 = 600 \times 1,0 \rightarrow F = 200 \text{ N}$ |
| rechts duwen: | $F \cdot 1,0 = 600 \times 1,0 \rightarrow F = 600 \text{ N}$ |
| rechts tillen: | $F \cdot 3,5 = 600 \times 1,5 \rightarrow F = 257 \text{ N}$ |
- Dus het goede antwoord is B.

- 49** Je moet een bepaald moment leveren om het moment dat de zwaartekracht op het wiel veroorzaakt te 'overwinnen'. Voor elk van de vier plaatsen is dat te leveren moment hetzelfde. Dus de plek waar de arm het kleinst is, is het goede antwoord. De arm is de kortste afstand tussen de werklijn en het draaipunt (de hoek van de stoeprand waar het wiel tegen zit). Plaats 2 heeft de grootste arm, namelijk de hele diameter van het wiel. Dus 2.

Plus De momentsleutel

- 50 a** Noem de maximale kracht X . Dan moet gelden: $80 = 0,5 \times X$. Dus $X = 160 \text{ N}$.
b Het maximale moment blijft gelijk. De arm wordt kleiner, dus de kracht wordt groter.
- *51 a** Kalibratie is het aanbrengen van de juiste schaalverdeling op een meetinstrument. Kalibratie is belangrijk bij een momentsleutel, omdat je niet wilt dat bijvoorbeeld een automonteur een bout of moer te strak of te los aandraait. Hij moet kunnen vertrouwen op de schaal die op het apparaat staat.
- b** Deze momentsleutel is zo gebouwd dat hij goed te gebruiken is voor momenten tussen 40 en 210 Nm.
- c** Dit betekent dat het moment dat je uitoefent met de momentsleutel in 4% groter of kleiner kan zijn dan het moment dat je hebt ingesteld op de momentsleutel.
- d** 4% van 160 Nm = $0,04 \times 160 = 6,4 \text{ Nm}$. Dus het maximale moment kan liggen tussen $160 - 6,4 = 153,6$ en $160 + 6,4 = 166,4 \text{ Nm}$.

5 Krachten overbrengen

52 a Voordelen:

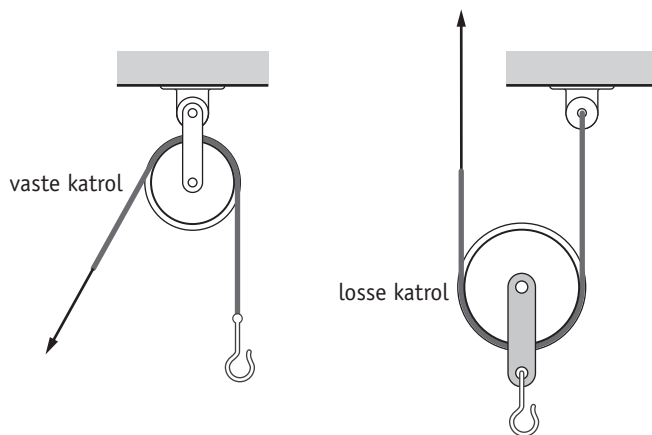
- met een vaste katrol kun je op de grond staan terwijl je iets ophijst;
- elke meter touw die je binnenhaalt, betekent ook dat de last een meter omhooggaat;
- je kunt met je hele gewicht aan het touw hangen.

Nadeel: de grootte van de vereiste spierkracht is even groot als het gewicht van de last en die kan vrij groot zijn.

b Met de formule $W = F \cdot s$, waarbij s de afstand in meters weergeeft.

c Een losse katrol kan op en neer bewegen, deelt de vereiste spierkracht door twee, maar verandert de richting van de uit te oefenen kracht niet. Bij een vaste katrol is er geen voordeel wat betreft spierkracht, maar kun je wel op de grond blijven staan bij het hijsen. Zie figuur 14.

d Je telt het aantal touwen N waaraan de last hangt. De takel vergroot de hijskracht dan $N \times$.



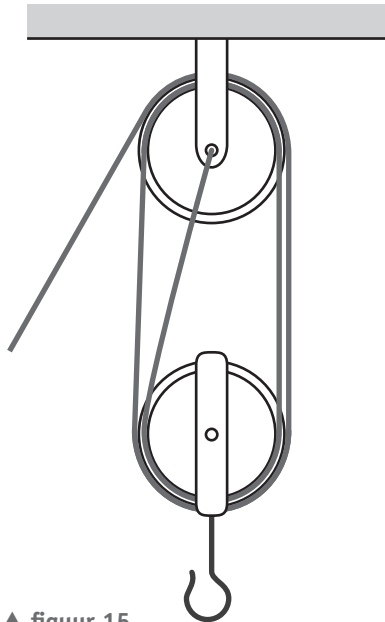
▲ figuur 14

- 53 a** Door een takel te gebruiken, kun je met dezelfde hijskracht een grotere massa hijsen. Je wint dus aan kracht F .
- b** Doordat het voorwerp aan meerdere touwen hangt, moet je meer meters touw binnenhalen. Je verliest dus aan weg s .
- c** De arbeid $W = F \cdot s$ die tijdens het hijsen verricht wordt, blijft even groot.
- 54 a** De maximale trekkracht die Robbert kan uitoefenen, is gelijk aan de zwaartekracht op zijn lichaam (hij gaat dan aan het touw hangen): $F_z = m \cdot g = 86 \times 9,8 = 843 \text{ N}$. Het maximale gewicht is dus 843 N.
- b** Een vaste katrol verandert alleen de richting van de kracht: Robbert zal dus een even grote kracht moeten uitoefenen. (Het uitoefenen van grote krachten is wel moeilijker als het touw schuin staat doordat je er dan niet meer met je hele gewicht aan kunt gaan hangen.)
- 55 a** $m = 10 \text{ g} = 0,010 \text{ kg}$
 $s = 78 \text{ cm} = 0,78 \text{ m}$
 $F_z = m \cdot g = 0,010 \times 9,8 = 0,098 \text{ N}$
 $W = F \cdot s = 0,098 \times 0,78 = 0,076 \text{ Nm}$
- b** $F_z = m \cdot g = 1200 \times 9,8 = 11\,760 \text{ N}$
 $W = F \cdot s = 11\,760 \times 3,5 = 41\,160 \text{ Nm} = 41 \text{ kNm}$

- 56 a** De massa van de lamp $m_1 = 1,5$ kg. De massa van de cilinder is m_2 .
 $N = 2$ (de lamp hangt aan twee stukken touw)
 $F_1 = m_1 \cdot g = 1,5 \times 9,8 = 14,7$ N

$$F_2 = \frac{F_1}{N} = \frac{14,7}{2} = 7,35$$
 N

$$m_2 = \frac{F_2}{g} = \frac{7,35}{9,8} = 0,75$$
 kg
- b** De lamp en cilinder verkeerden al in evenwicht. Om de lamp in beweging te brengen, is dus nauwelijks spierkracht nodig.
- c** De cilinder gaat 2×20 cm = 40 cm omlaag.
- 57 a** De massa van Franciens vader is $\frac{79}{22} = 3,5\times$ zo groot als de massa van Francien. Hetzelfde geldt voor de zwaartekracht die Franciens vader en Francien zelf op het touw uitoefenen, als ze daaraan gaan hangen. Om haar vader te kunnen ophijzen, heeft Francien dus een takel nodig die haar kracht meer dan $3,5\times$ vergroot. Dus N is 4.
- b** Francien heeft een takel nodig met twee vaste en twee losse katrollen. Zie figuur 15.



▲ figuur 15

- *58 a** Het middelpunt van de twee cirkels is het draaipunt van de hefboom. De armen zijn de stralen van de twee cirkels.

$$r_1 = \frac{35}{2} = 17,5 \text{ cm}$$

$$r_2 = \frac{10}{2} = 5,0 \text{ cm}$$

De zwaartekracht op de emmer is: $F_2 = m \cdot g = 10 \times 9,8 = 98$ N

Je gaat uit van evenwicht, dus:

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

$$F_1 \cdot 17,5 = 98 \times 5,0 = 490$$

$$F_1 = \frac{490}{17,5} = 28 \text{ N}$$

De kracht waarmee je het touw moet inhalen is dus 28 N.

- b** Hoe je aan het touw trekt, maakt niet uit. De kracht die werkt op de windas, is de kracht die wordt uitgeoefend op de plek waar het touw vastzit aan de houten trommel (bij het gat in figuur 65) en de arm daarvan is altijd even groot.

- c** De windas maakt de hijskracht $\frac{98}{28} = 3,5\times$ zo klein, dus $N = 3,5$. Dus moet je $3,5\times$ zo

veel touw binnenhalen. Dat komt overeen met $3,5 \times 4,0 = 14$ m touw.

- d** Als Marijn 14,0 m touw binnenhaalt, is de arbeid:

$$W = F \cdot s = 28 \times 14 = 392 \text{ Nm.}$$

Zonder windas zou hij de emmer 4,0 m moeten optillen. De arbeid wordt dan:

$$W = F \cdot s = 98 \times 4,0 = 392 \text{ Nm.}$$

- *59 a** Om de stoel plus de losse katrol op te hijsen is een kracht nodig van $F_z = m \cdot g = (12 + 1) \times 9,8 = 127,4 \text{ N}$. Met deze takel wordt de kracht gehalveerd ($N = 2$),

$$\text{dus Max moet uitoefenen: } \frac{127,4}{2} = 63,7 \text{ N.}$$

- b** Omdat $N = 2$, moet Max $2 \times 7,5 = 15$ m touw inhalen.

- c** $W = F \cdot s = 63,7 \times 15 = 956 \text{ Nm}$

- d** Een takel verandert in principe niets aan de hoeveelheid arbeid die je moet verrichten. Maar bij deze takel moet hij niet één maar twee losse katrollen ophijsen, dus de benodigde kracht wordt groter.

- 60** De helling maakt de af te leggen afstand $\frac{6}{0,8} = 7,5\times$ zo groot, dus de benodigde

kracht wordt $7,5\times$ zo klein. Voor de arbeid maakt het niet uit of je de koffer optilt ($F = m \cdot g = 20 \times 9,8 = 196 \text{ N}$, $s = 0,8 \text{ m}$) of langs de helling omhoogtrekt

$$(F = \frac{196}{7,5} = 26,1 \text{ N}, s = 6,0 \text{ m}):$$

optillen: $W = F \cdot s = 196 \times 0,8 = 157 \text{ Nm}$

trekken: $W = F \cdot s = 26,1 \times 6,0 = 157 \text{ Nm}$

- 61 a** $N = \frac{20}{3,0} = 6,67$

De 'optilkracht' op het bed met de patiënt wordt dus $6,67 \times 165 = 1100 \text{ N}$.

Als je uitgaat van evenwicht, is de zwaartekracht op het bed en de patiënt ook 1100 N.

Dus:

$$m = \frac{F_z}{g} = \frac{1100}{9,8} = 112 \text{ kg}$$

- b** $W = F \cdot s = 1100 \times 0,30 = 330 \text{ Nm}$

Plus Hydraulische werktuigen

- 62 a** Met een hydraulische krik kun je je kracht vergroten met een factor $N \left(\frac{\text{kracht bij B}}{\text{kracht bij A}} \right)$.

Maar dan is de afstand waarover je zuiger A moet induwen wel N keer groter dan de afstand die zuiger B stijgt.

- b** Voor druk geldt: $p = \frac{F}{A}$, dus $F = p \cdot A$ (kracht = druk $\times$ oppervlakte). De druk is bij A en

B even groot maar de oppervlakte is bij B groter, dus is de kracht daar groter.

- *63 a** De oppervlakte van B is $100\times$ groter dan de oppervlakte van A. Aangezien de druk op de vloeistof even groot is, is de kracht bij B ook $100\times$ groter, dus $100 \times 1500 = 150 \text{ kN}$.
- b** Denk aan de regels voor kracht en verplaatsing zoals die ook bij een takel gelden: de kracht wordt $100\times$ groter, dus de verplaatsing wordt $100\times$ kleiner, dus $\frac{50}{100} = 0,50 \text{ cm}$.
- c** Klep 1 is een scharnierende klep die alleen rechtsom kan draaien. Als de zuiger bij A omhooggaat, wordt de druk rechts van klep 1 kleiner dan de druk links van die klep. Klep 1 gaat dan open.
- d** De druk links van klep 2 wordt ook kleiner terwijl de druk rechts van die klep hoog blijft. Daardoor gaat klep 2 dicht.
- e** Deze kleppen zorgen ervoor dat er alleen maar vloeistof van het reservoir naar de ruimte onder zuiger B kan stromen en niet andersom.
- f** Per slag van de pomp gaat zuiger B $0,5 \text{ cm}$ omhoog, dus voor 100 cm stijging moet zuiger A $\frac{100}{0,5} = 200\times$ op en neer worden bewogen.
- g** Als klep 3 opengaat, stroomt de vloeistof onder zuiger B weer terug naar het reservoir.

Test Jezelf

- 1**
- a elastisch
 - b elastisch
 - c plastisch
 - d plastisch
- 2**
- a zwaartekracht en magnetische kracht
 - b Ze zijn even groot.
 - c tegengestelde richting
 - d ja
 - e ja
- 3** totale massa $m = 2500 + 4470 = 6970 \text{ kg}$
 $F_z = m \cdot g = 6970 \times 9,8 = 68\,306 \text{ N} = 68 \text{ kN}$
- 4**
- a $\frac{84 \text{ N}}{20 \text{ N/cm}} = 4,2 \text{ cm}$
 - b Gegeven is: $4,8 \text{ cm} \hat{=} 240 \text{ N}$
 Als je beide kanten deelt door $4,8$, vind je: $1 \text{ cm} \hat{=} 50 \text{ N}$.
 - c Pythagoras: $F_{\text{res}} = \sqrt{240^2 + 320^2} = 400 \text{ N}$
- 5**
- a veer 1
 - b Bij $F = 5,0 \text{ N}$ is de uitrekking $u = 4,0 \text{ cm}$.

$$C = \frac{F}{u} = \frac{5,0}{4,0} = 1,25 \text{ N/cm}$$
- 6**
- a onwaar
 - b waar
 - c onwaar
 - d onwaar

- 7 26 cm komt overeen met 13 000 km, dus 1 cm komt overeen met 500 km.
- $$\frac{150\,000\,000\text{ km}}{500\text{ km}} = 300\,000, \text{ dus op deze schaal wordt de afstand aarde-zon}$$
- $$300\,000\text{ cm} = 3000\text{ m}.$$

8 B en D

9 A

10 2

11 B

12 a $N = 2$

b $N = 6$

13 a $F_z = m \cdot g = (150 + 5) \times 9,8 = 1519\text{ N}$
 $N = 3$

$$F_{\text{trek}} = \frac{F_z}{N} = \frac{1519}{3} = 506\text{ N}$$

b $6,0 \times 3 = 18\text{ m}$

c $W = F \cdot s = 506 \times 18 = 9108\text{ Nm}$

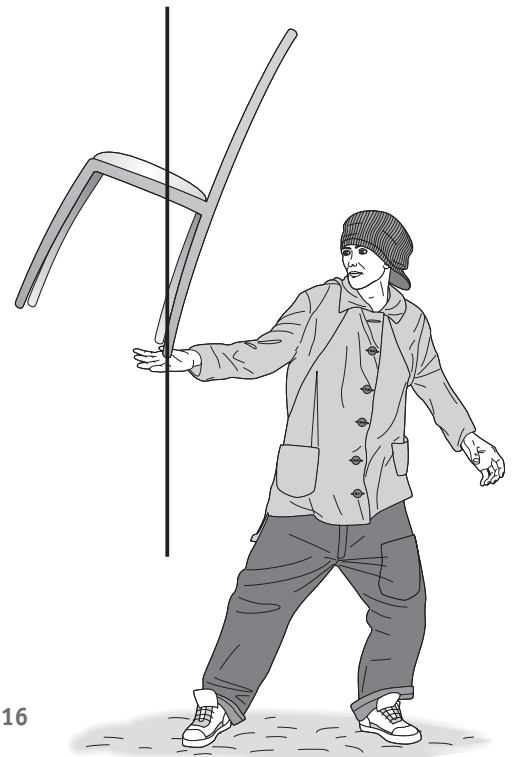
14 Het moment rechtsom komt van het gewichtje, het moment linksom komt van het plankje. In plaats van met kracht kun je rekenen met massa.

Het zwaartepunt van het plankje ligt 10 cm links van de rand. Noem de massa van het plankje m .

De plank is maar net in evenwicht, dus:

$$100\text{ g} \times 20\text{ cm} = m \cdot 10\text{ cm}, \text{ dus } m = 200\text{ g}$$

- 15 a zwaartekracht, spierkracht (van de hand van Dennis)
 b De stoel is in evenwicht, dus de twee krachten zijn even groot en wel $3,2 \times 9,8 = 31,36\text{ N}$ (31 N).
 c Zie figuur 16.



► figuur 16

- 16 a $F_z = m \cdot g = 0,200 \times 9,8 = 2,0\text{ N}$. Je kunt in de grafiek aflezen dat het elastiek dan 12 cm lang is.
 b Bij een lengte van 16 cm hoort een kracht van 3,0 N. Het schaartje zorgt voor een extra trekkkracht van 1,0 N. Als het schaartje alleen aan het elastiek zou hangen, is het elastiek 9,8 cm lang.
 c Aan de grafiek zie je dat de verlenging van de veer per N steeds groter wordt. De veer wordt dus steeds slapper.

- 17 a** Piet moet niet op A of D zitten, want hij levert het grootste moment. Zet Piet bijvoorbeeld op B. Zet Klaas op C en Jan op D.
- b** Je berekent eerst de krachten van Piet, Klaas en Jan:
- $$F_1 = m_1 \cdot g = 60 \times 9,8 = 588 \text{ N}$$
- $$F_2 = m_2 \cdot g = 30 \times 9,8 = 294 \text{ N}$$
- $$F_3 = m_3 \cdot g = 25 \times 9,8 = 245 \text{ N}$$
- het moment linksom van Piet: $588 \times 3,0 = 1764 \text{ Nm}$
 het moment rechtsom van Klaas: $294 \times 3,0 = 882 \text{ Nm}$
 het moment rechtsom van Jan: $245 \times 3,6 = 882 \text{ Nm}$
 $1764 = 882 + 882$. De oplossing klopt dus.
- *18** Je kunt de plek waar de veer vastzit aan de staaf als draaipunt nemen. Dan zorgen het gewicht m en de staaf zelf voor een moment rechtsom. Het gewicht aan het touw zorgt voor een moment linksom. Noem de afstand tussen de gaatjes x en neem voor de momenten niet de zwaartekracht maar de massa.
- Er is evenwicht, dus er geldt: $(m \cdot x) + (4,0 \cdot 2x) = 2,5 \cdot 4x$. Daaruit volgt: $m = 2,0 \text{ kg}$.
- 19 a** Het punt waar de vinger zit, is het zwaartepunt van de bezem.
- b** Het moment dat de steel levert ten opzichte van het zwaartepunt moet even groot zijn als het moment dat de borstel levert. Het borsteldeel heeft een veel kleinere arm dan het steeldeel. Dus de massa van het borsteldeel moet wel groter zijn: C.
- 20** De zwaartekracht (gravitatiekracht) zorgt ervoor dat de astronaut in de cirkelbaan om de aarde blijft. Hij/zij is daardoor gewichtloos en voelt de zwaartekracht op het pak niet.

Praktijk

Torenkranen: evenwichtskunst op grote hoogte

- 1 a** Dat het contragewicht verplaatsbaar is, betekent dat je de arm van het contragewicht kunt variëren. Op die manier kun je het 'contramoment' aanpassen aan het moment van de last. Als de last een groot moment heeft, beweegt het contragewicht bij de mast vandaan om een groot 'contramoment' te leveren. Als de last een klein moment heeft, blijft het contragewicht dicht bij de mast, omdat er dan ook maar een klein 'contramoment' nodig is.
- b** De hoogte van de last (verticaal) heeft geen invloed op de arm van de last: die blijft even groot. Daarom hoeft het 'contramoment' ook niet te veranderen: het contragewicht kan op zijn plaats blijven.
- c** Als de afstand tussen de last en de mast wordt veranderd, verandert de arm van de last. Als de arm langer wordt, neemt het moment van de last toe; als de arm korter wordt, neemt het moment van de last af. Het 'contramoment' moet daarom ook toenemen of afnemen. Dat bereik je door het langs de contragiek te laten bewegen: bij de mast vandaan voor een groter moment, naar de mast toe voor een kleiner moment.
- 2** Je docent zal je vertellen hoe deze opdracht nagekeken en beoordeeld wordt.
- *3 a** Hoe groter de giek lengte, des te kleiner is de maximale last. Bij een vlucht van 30 m bijvoorbeeld varieert de maximale last van 16,8 t (bij een giek lengte van 80 m) tot 19,8 t (bij een giek lengte van 35 m).
- b** De giek heeft zelf een moment dat je bij het moment van de last moet optellen. Hoe langer de giek, des te groter is zijn moment (want de massa en de arm zijn dan groter). Het moment van de last moet dan wel kleiner zijn om – in totaal – op evenwicht uit te komen.

2 Elektrische energie

1 Elektrische energie produceren

- 1
 - a Uit de formule $P = U \cdot I$ volgt dat de spanning en de stroomsterkte het vermogen bepalen. (Maar je zou ook de weerstand van het apparaat kunnen noemen.)
 - b wisselspanning
 - c $E = P \cdot t$
 - d kilowattuurmeter ofwel kWh-meter
- 2
 - a De warmte van de branders wordt gebruikt om het water in de ketel te verhitten tot stoom.
 - b De stoom spuit met grote snelheid tegen de schoepen van de turbine.
 - c In de generator wordt bewegingsenergie omgezet in elektrische energie.
 - d In de transformator wordt de spanning van de generator omgezet in hoogspanning.
 - e Koeltorens zijn nodig als er in de buurt van de centrale geen rivier of meer is waaruit men koelwater kan halen.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
stroomsterkte	I	ampère	A
spanning	U	volt	V
vermogen	P	watt	W
energie	E	joule	J

- 4
 - a Als je aan de handel draait, dan wordt een dynamo aangedreven. Die levert stroom aan een accu en daarop kan de radio werken.
 - b Als je voor 20 minuten radiogeluid 1 minuut moet draaien, dan moet je voor 1 uur geluid 3 minuten draaien en voor 8 uur geluid $8 \times 3 = 24$ minuten.
- 5 Als de dynamo langzamer draait, worden de toppen en dalen van de wisselspanning minder groot en is de spanning dus kleiner (kleinere amplitude). Ook is de tijdsduur van één volledige 'golf' groter.

apparaat	spanning	stroomsterkte	vermogen
rekenmachine	1,5 V	0,08 mA	0,12 W
startmotor	10,2 V	118 A	1,2 kW
stofzuiger	230 V	4,2 A	966 W

- 7**
- a** Grafiek A zal voor de winter gelden. Dan branden er in huis vaker lampen en staan bijvoorbeeld ook elektrische kachels langer aan.
 - b** Het minimale vermogen lees je af bij ongeveer 5.00 uur: 0,22 kW. Het maximale vermogen ligt bij ongeveer 20.00 uur: 0,73 kW. Het verschil is 0,51 kW.
 - c** Door de wisselende vraag naar energie kunnen de generatoren van de centrale niet op een constant toerental draaien. In daluren moeten ze langzamer draaien dan in piekuren. Het is voor deze machines en voor het rendement beter als het toerental altijd op een bepaald niveau kon blijven.
Een oplossing zou zijn om altijd het vermogen te leveren dat nodig is tijdens de piekuren. De energie die de overige uren niet wordt afgenomen, zou dan opgeslagen moeten worden in een buffer. Je kunt ook een aantal kleine eenheden bouwen die dan aangezet worden als dat nodig is.
 - d** Je moet een horizontale lijn trekken zodanig dat de oppervlakte tussen het deel van de grafiek onder die lijn en die lijn en de oppervlakte van het deel van de grafiek boven de lijn en de lijn even groot zijn. Dan kom je uit op iets meer dan 0,4 kW, zeg 0,41 kW.
 - e** $E = P \cdot t = 0,41 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 9,8 \text{ kWh}$
- 8**
- a** De wind laat de rotorbladen ronddraaien. Die bladen zijn verbonden via een as met een tandwielkast. De as die uit de tandwielkast komt, laat de generator ronddraaien waardoor een wisselstroom wordt opgewekt. Met de transformator wordt de spanning van deze stroom veranderd.
 - b** De rotorbladen draaien vrij langzaam. Als er geen tandwielen zouden zijn, zou de generator ook langzaam draaien en een lage spanning leveren.
 - c** Net als een fietsdynamo zal de generator wisselspanning leveren.
 - d** Als de molen sneller draait, draait de generator sneller rond en komen er meer 'wisselspanningsgolven' per seconde, dus de frequentie neemt dan toe.
 - e** Het lichtnet is berekend op een frequentie van de wisselspanning van 50 Hz. Als de molen een wisselspanning met een andere frequentie levert, moet die worden aangepast.
- 9** het verhitten van het water:
 $E = P \cdot t = 1200 \text{ W} \times 30 \text{ s} = 36\,000 \text{ J} = 36 \text{ kJ}$
 het water door de koffie persen:
 $E = P \cdot t = 200 \text{ W} \times 20 \text{ s} = 4000 \text{ J} = 4,0 \text{ kJ}$
 totale hoeveelheid elektrische energie = $36 + 4,0 = 40 \text{ kJ}$ (= 0,011 kWh)
- *10** Bij wassen op 60 °C gebruikt de wasmachine 1,5 kWh elektrische energie.
 Per jaar verbruikt de wasmachine dan $1,5 \times 2 \times 52 = 156 \text{ kWh}$.
 Bij wassen op 30 °C gebruikt de wasmachine 0,9 kWh elektrische energie.
 Per jaar verbruikt de wasmachine dan $0,9 \times 2 \times 52 = 93,6 \text{ kWh}$.
 Ze bespaart hiermee $156 - 93,6 = 62,4 \text{ kWh}$ (je kunt ook doen: $0,6 \times 2 \times 52$).
 De besparing in geld is: $62,4 \times \text{€ } 0,22 = \text{€ } 13,73$.
- *11 a** $P = 0,0040 \text{ kW}$ en $t = 24 \times 365 = 8760 \text{ h}$
 $E = P \cdot t = 0,0040 \times 8760 = 35 \text{ kWh}$ (= $1,3 \cdot 10^8 \text{ J}$)
- b** De kosten zijn: $35 \times \text{€ } 0,22 = \text{€ } 7,70$.
 - c** als de tv aan staat: $E = P \cdot t = 0,26 \text{ kW} \times (365 \times 1,5 \text{ h}) = 142 \text{ kWh}$
 als de tv uit staat: $E = P \cdot t = 0,004 \text{ kW} \times (365 \times 22,5 \text{ h}) = 33 \text{ kWh}$
 totaal per jaar: $142 + 33 = 175 \text{ kWh}$
 - d** $\frac{33}{175} \times 100\% = 19\%$

Plus Het vermogen van een mens

$$12 \text{ a jongen: } P = \frac{E}{t} = \frac{12\,600\,000}{86\,400} = 146 \text{ W}$$

$$\text{meisje: } P = \frac{E}{t} = \frac{9\,600\,000}{86\,400} = 111 \text{ W}$$

- b De berekende vermogens zijn kleiner dan in de leertekst. De reden hiervoor is dat de jongen en het meisje niet de hele dag fietsen of zich sterk lichamelijk inspannen.

- 13 a Het nuttige vermogen is ongeveer 25%, dus een kwart van het opgenomen vermogen. Het opgenomen vermogen is dus $4 \times 350 = 1400 \text{ W} = 1,4 \text{ kW}$.

$$b \quad P = 1400 \text{ W en } t = 0,5 \times 3600 = 1800 \text{ s}$$

$$E = P \cdot t = 1400 \times 1800 = 2,52 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$c \quad \frac{2,52 \cdot 10^6}{480 \cdot 10^3} = 5,25$$

$$100 \text{ g} \times 5,25 = 525 \text{ g pasta}$$

2 Elektrische energie vervoeren

- 14 a Als de spanning hoog is, kan de stroomsterkte laag blijven en daardoor blijft het energieverlies beperkt.
- b Bij een wisselspanning verandert de spanning op een regelmatige manier van plus naar min (volgens een sinus). Bij een frequentie van 50 Hz herhaalt een 'golf' met een maximum en een minimum zich 50 keer in een seconde.
- c Wat een transformator doet hangt af van de verhouding van het aantal windingen van de primaire en de secundaire spoel.
- d De effectieve waarde van een wisselspanning is gelijk aan de waarde van een gelijkspanning die net zoveel energie levert als de wisselspanning.

15

de transformator	transformeert de spanning		
	omhoog/omlaag	van	naar
in de elektriciteitscentrale	omhoog	20 kV	380 kV
in het transformatorstation buiten de stad of het dorp	omlaag	380 kV	10 kV
in het transformatorhuisje in de stad of het dorp	omlaag	10 kV	230 V
in de adapter van haar mobieltje	omlaag	230 V	12 V

- 16 a $P = U \cdot I = 110\,000 \times 560 = 61\,600\,000 \text{ W} = 61,6 \text{ MW}$
- b $P_{\text{verlies}} = I^2 \cdot R = 560 \times 560 \times 0,17 = 53\,312 \text{ W} = 53 \text{ kW}$
- c $P = U \cdot I$ en het vermogen blijft dat van vraag a: $61\,600\,000 = 10\,000 \cdot I$.

$$\text{Dan is } I = \frac{61\,600\,000}{10\,000} = 6160 \text{ A. Met de formule van vraag b volgt: } P_{\text{verlies}} = 6,5 \text{ MW.}$$

$$17 \quad \frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} \rightarrow \frac{230}{120} = \frac{N_p}{500}$$

$$230 \times 500 = 120 \cdot N_p, \text{ dus: } N_p = \frac{115\,000}{120} = 958 \text{ windingen}$$

- 18 a** Mogelijkheid 1: primaire spoel is spoel A, secundaire spoel is spoel B.
Mogelijkheid 2: primaire spoel is spoel B, secundaire spoel is spoel C.
b Mogelijkheid 1: primaire spoel is spoel B, secundaire spoel is spoel A.
Mogelijkheid 2: primaire spoel is spoel C, secundaire spoel is spoel B.

- 19 a** De verhouding tussen het aantal windingen van primaire en secundaire spoel moet zo groot mogelijk zijn, dus je neemt die van 200 windingen en die van 600 windingen.

$$\mathbf{b} \quad \frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} \rightarrow \frac{6,0}{U_s} = \frac{200}{600}$$

$$200 \cdot U_s = 6,0 \times 600 = 3600, \text{ dus: } U_s = \frac{3600}{200} = 18 \text{ V}$$

- c** Het magnetische veld moet telkens wisselen om aan de secundaire kant van de transformator een spanning op te wekken. Een wisselend magnetisch veld wordt alleen opgewekt als de spanning van de spanningsbron ook wisselt. Dus wisselspanning $\sim$.
- 20** Voor de secundaire kant van de transformator geldt: de spanning is de spanning waarmee de telefoon wordt opgeladen: 5,0 V.
Het vermogen is 75% van het opgenomen vermogen: $P = 0,75 \times 9,2 \text{ W} = 6,9 \text{ W}$.

$$\text{Dus: } I = \frac{P}{U} = \frac{6,9}{5,0} = 1,4 \text{ A}$$

- *21 a** Transformator T_1 zet de spanning van het stopcontact om in een lagere spanning. Deze spanning staat ook op de primaire winding van transformator T_2 . De secundaire kant van deze transformator zit in de tandenborstel. De stroom die daar ontstaat, zorgt voor het opladen van de accu van de tandenborstel.
b Als het opgenomen vermogen 1,0 W is en de spanning is 230 V, dan volgt:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1,0}{230} = 0,0043 \text{ A} = 4,3 \text{ mA}$$

- c** De secundaire spoel van T_2 levert een vermogen van 1,0 W aangezien de transformatoren

$$\text{hier ideaal zijn. De spanning is 2,4 V, dus: } I = \frac{P}{U} = \frac{1,0}{2,4} = 0,42 \text{ A}$$

- d** De stroom die uit een transformator komt, is een wisselstroom en daarmee kun je geen accu opladen. Deze moet nog worden omgezet in een gelijkstroom.

- 22 a** Aan de secundaire kant heeft de aansluiting PQ het minst aantal windingen. De spanning tussen PQ zal dus het laagst zijn: 3 V.

$$\mathbf{b} \quad \frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} \rightarrow \frac{230}{8} = \frac{800}{N_s}$$

$$230 \cdot N_s = 8 \times 800 = 6400, \text{ dus: } N_s = \frac{6400}{230} = 28 \text{ windingen}$$

- c** $U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s$
 $230 \cdot I_p = 5 \times 1,6$ (tussen P en Q staat 3 V en tussen P en R staat 8 V)
 $230 \cdot I_p = 8$

$$I_p = \frac{8}{230} = 0,035 \text{ A} = 35 \text{ mA}$$

- *23** $P_p = U_p \cdot I_p = 12,0 \times 0,25 = 3,0 \text{ W}$
 $P_s = U_s \cdot I_s = 6,0 \times 0,42 = 2,5 \text{ W}$
 $P_{\text{verloren}} = P_p - P_s = 3,0 - 2,5 = 0,5 \text{ W}$

$$\text{rendement} = \frac{P_{\text{verloren}}}{P_p} \cdot 100\% = \frac{0,5}{3,0} \times 100\% = 17\%$$

***24 a** $U_{\text{eff}} = x \cdot U_{\text{max}}$

$$230 = x \times 325 \text{ en dus geldt } x = \frac{230}{325} = 0,708.$$

b De effectieve waarde van de wisselspanning moet gelijk zijn aan de gelijkspanning die evenveel vermogen levert. Dat is dus 12 V.

c $U_{\text{eff}} = x \cdot U_{\text{max}}$ en dus geldt $12 = 0,708 \times U_{\text{max}}$.

$$U_{\text{max}} = \frac{12}{0,708} = 17 \text{ V}$$

Plus Hoogspanningsleidingen

- 25 a** Staal: voordeel = hoge treksterkte, lage prijs; nadeel = relatief zwaar, grote weerstand.
 Aluminium: voordeel = licht, redelijke prijs; nadeel = vrij grote weerstand, erg lage treksterkte.
 Koper: voordeel = lage weerstand; nadeel = zwaar, duur.
 Zilver: voordeel = lage weerstand; nadeel = zwaar, duur.
- b** Staal heeft een hoge dichtheid en stalen kabels zijn daardoor erg zwaar. Bovendien hebben stalen kabels een relatief grote weerstand en dat betekent meer energieverlies.
- c** Staal valt dus af. Kabels van aluminium zouden te snel breken. Zilver is veel te duur, dus blijft koper over.
- 26 a** De stalen kern zorgt ervoor dat de kabel niet zo snel breekt. De treksterkte van staal is veel groter dan die van aluminium.
- b** Door de stalen kern wordt de kabel al vrij zwaar. Door aluminium te kiezen in plaats van koper maak je de kabel niet al te zwaar.
- c** Het volume van het stalen deel is: $A \cdot l = 60 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \times 200 \text{ m} = 0,012 \text{ m}^3$. De massa is dus: $m = \rho \cdot V = 7,8 \cdot 10^3 \times 0,012 = 93,6 \text{ kg}$ (de dichtheid vind je in tabel 3).
 Het volume van het aluminium deel is: $257 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \times 200 \text{ m} = 0,0514 \text{ m}^3$. De massa is dus: $m = 2,7 \cdot 10^3 \times 0,0514 = 138,78 \text{ kg}$.
 De totale massa is dus $93,6 + 138,78 = 232 \text{ kg}$.

3 Elektricititeit in huis

- 27 a** De fasedraad is bruin, de nuldraad is blauw, de schakeldraad is zwart en de aardedraad is geelgroen gestreept.
- b** Bij kortsluiting kiest de elektrische stroom een andere weg. Als de weerstand daarvan erg klein is, wordt de stroomsterkte enorm groot. Daardoor kan er brandgevaar ontstaan.
- c** – Als er in een groep te veel apparaten tegelijk worden aangezet (overbelasting).
 – Als de elektrische stroom een andere weg met een kleinere weerstand kiest (kortsluiting).
- d** Als door een defect een apparaat 'onder stroom' staat, kan stroom weglekken zodra iemand het apparaat aanraakt. Op dat moment schakelt de aardlekschakelaar de stroom uit en blijft de schade voor die persoon beperkt.
- 28 a** c
b a
c b

29 a $P_{\text{tot}} = P_{\text{element}} + P_{\text{ventilator}} + P_{\text{grill}} = 1450 + 80 + 1300 = 2830 \text{ W}$

$$I_{\text{tot}} = \frac{P_{\text{tot}}}{U} = \frac{2830}{230} = 12,3 \text{ A}$$

- b Op een groep kan het vermogen maximaal $230 \text{ V} \times 16 \text{ A} = 3680 \text{ W}$ zijn. De oven had al een vermogen van 2830 W . Als je dan alleen al de afwasmachine aanzet, dan gaat het zeker mis. (Je kunt ook net als bij vraag a alle vermogens bij elkaar optellen en dan de totale stroomsterkte uitrekenen.)
- c Als de oven een eigen groep heeft, kun je als deze aan staat ook nog al die andere apparaten aanzetten zonder dat de zekering omkapt. Het nadeel is wel dat het aanleggen van een extra groep extra geld kost.

*30 a – helemaal afgerold: $I_{\text{tot}} = \frac{P_{\text{tot}}}{U} = \frac{3500}{230} = 15,2 \text{ A}$

– op de haspel: $I_{\text{tot}} = \frac{P_{\text{tot}}}{U} = \frac{1100}{230} = 4,78 \text{ A}$

- b Door de hoge stroomsterkte wordt de kabel warm. Als de kabel niet is afgerold, kan de kabel smelten. Er kan dan kortsluiting optreden en zelfs brand ontstaan.
- c De maximale stroomsterkte door de kabel is $15,2 \text{ A}$. Dit is vrijwel even groot als de maximale stroomsterkte in de groep van een huisinstallatie.

- 31 a De contactweerstand van je lichaam wordt kleiner, dus de stroomsterkte wordt groter.
- b De spieren kunnen zich niet ontspannen, waardoor je de draad moeilijker los kunt laten.

- 32 a overbelasting of kortsluiting

- b De televisie in de huiskamer is aangesloten op een andere groep.
- c Kennelijk zit er een kortsluiting in de groep. Maar waar? Peter kan dat uitzoeken door bij de apparaten een voor een de stekker eruit te halen. Als de hefboom dan niet meer terugvalt, weet hij dat er een kortsluiting zit in het uitgeschakelde apparaat.

- 33 a 1 De lamp in de bureaulamp is stuk of is niet goed aangebracht.
2 De groepszekering is uitgeschakeld doordat de stroomsterkte in de groep groter dan 16 A was geworden.
3 In de hele wijk waar zij woont, is er geen elektriciteit waardoor haar huis ook geen elektriciteit via de hoofdkabel krijgt.
- b Optie 3 kan zij dan uitsluiten.
- c Optie 2 kan zij dan ook uitsluiten.
- d Optie 1 blijft over. Allereerst moet ze dan nagaan of de lamp beter aangedraaid of ingestoken moet worden. Als dit niet de oorzaak is, moet zij de lamp vervangen.

- 34 a 1, 3
b 2, 5 (3 zou ook kunnen als de televisie aangesloten is op een geaard stopcontact)
c 4

- 35 a $I_{\text{lek}} = 8,25 - 8,21 = 0,04 \text{ A}$
- b De aardlekschakelaar zal de stroom uitschakelen, omdat de lekstroom groter is dan 30 mA .
- c De lekstroom zou dan niet via Davids lichaam naar de aarde lopen maar door de groengele aardendraad naar de aardleiding en aardelektrode in de meterkast lopen.

- 36 a Lees af in het diagram: bij 20 mA moet de stroom uitgeschakeld worden binnen 500 ms en bij 200 mA binnen 40 ms (is lastig af te lezen op de logaritmische schaal).
- b Ja, dat klopt. Je kunt in de grafiek aflezen dat een lekstroom van 30 mA pas gevaarlijk is boven circa 200 ms . Ver voor die tijd, al na 20 ms , heeft de aardlekschakelaar de stroom uitgeschakeld.

- *37 a** De stroom is niet te voelen, anders had Gilles de spanningzoeker wel losgelaten. De stroomsterkte is dus klein.
- b** De stroom gaat via de spanningzoeker en de arm van Gilles naar de (geaarde) waterkraan. Deze weg heeft veel minder weerstand dan de weg via zijn lichaam en zijn (waarschijnlijk goed geïsoleerde) voeten. De stroomsterkte zal daardoor groter worden en het neonlampje in de spanningzoeker zal feller branden.
- c** Uit vraag b blijkt dat de waterleidingbuizen de elektrische stroom goed geleiden. Anders zou het neonlampje niet feller gaan branden na het aanraken van een waterkraan. De buizen zijn dus van koper; plastic geleidt slecht.

Plus Zonnepanelen

- 38 a** Als één paneel 80 kWh per jaar levert, heb je voor een gemiddeld huishouden
- $$\frac{3500}{80} = 43,75 \text{ panelen nodig. Als elk paneel 250 Wp levert, is totaal nodig:}$$
- $$43,75 \times 250 = 10\,938 \text{ Wp} = 11 \text{ kWp.}$$
- b** Je hebt dus 44 zonnepanelen nodig (je kunt alleen hele panelen installeren). Die leveren samen $44 \times 250 = 11\,000 \text{ Wp}$. De kosten zijn dus $11\,000 \times 0,82 = € 9.020,-$.
- c** Per jaar betaalde het huishouden $3500 \times 0,22 = € 770,-$. De kosten van vraag b heb je dus
- $$\text{bespaard na } \frac{9020}{770} = 11,7 \text{ jaar.}$$
- d** Als de stroomprijs hoger wordt dan € 0,22, dan wordt het jaarlijkse bedrag van vraag c hoger dan € 770,- en heb je de zonnepanelen dus in minder dan 11,7 jaar terugverdiend.
- 39 a** In Zuid-Frankrijk is de zon feller en staat hij langere tijd hoger boven de panelen. De panelen leveren daar dus een hoger vermogen en dus meer kWh per dag. In Frankrijk duurt het daardoor minder lang tot er 500 kWh is opgewekt.
- b** Als het paneel 1 m^2 is, levert het in Nederland $13,2 \text{ W} = 0,0132 \text{ kW}$. In een jaar zitten $365 \times 24 = 8760$ uur. Dus $E = P \cdot t = 0,0132 \text{ kW} \times 8760 \text{ h} = 116 \text{ kWh}$.
- c**
$$\frac{500 \text{ kWh}}{116 \text{ kWh per jaar}} = 4,3 \text{ jaar}$$

Test Jezelf

- 1** **a** warmte
b hoog
c generatoren, omhoog
- 2** D
- 3** **a** 18 V
b $1,125 \text{ V} = 1,1 \text{ V}$
- 4** **a** 36 windingen
b $0,02087 \text{ A} = 0,021 \text{ A} = 21 \text{ mA}$

- 5 a 12,5 kWh
b 0,5 kWh
c 16,2 MJ
d 720 kJ
- 6 a 8,7 A
b 720 000 J = 0,2 kWh
- 7 a 46 000 W = 46 kW
b 6400 W = 6,4 kW
c 14%
d 0,0014%
- 8 a 5,4 MJ of 1,5 kWh
b € 0,33
- 9 15 uur
- 10 a wisselspanning
b bij 1 hoort grafiek C; bij 2 hoort grafiek A; bij 3 hoort grafiek D; bij 4 hoort grafiek B
- 11 0,83 A
- 12 D
- 13 a 6
b 1 = automatische zekering, 2 = aardlekschakelaar, 3 = kWh-meter, 4 = hoofdleiding
- 14 kleiner; groter; zekering; groot; klein; zekering
- 15 aardlekschakelaar
- 16 a onwaar
b waar
c onwaar
d waar

$$*17 \frac{€ 4,-}{0,22 €/\text{kWh}} = 18,2 \text{ kWh (in één jaar)}$$

$$E = 18,2 \text{ kWh}$$

$$t = 1 \text{ jaar} = 24 \times 365 = 8760 \text{ h}$$

$$P = \frac{E}{t} = \frac{18,2 \text{ kWh}}{8760 \text{ h}} = 0,00207.. \text{ kW} = 2,1 \text{ W}$$

- 18 Lars heeft gelijk, omdat het energiegebruik ook afhankelijk is van de tijd dat het elektrische apparaat aan staat.

- *19 1 De gebruikte elektrische energie E berekenen:
Bij 1200 omwentelingen wordt 1 kWh = $3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ (3,6 MJ) gebruikt.

$$\text{Bij 1 omwenteling wordt } \frac{3,6 \cdot 10^6 \text{ J}}{1200} = 3,0 \cdot 10^3 \text{ J gebruikt.}$$

Bij 57 omwentelingen wordt $57 \times 3,0 \cdot 10^3 \text{ J} = 1,71 \cdot 10^5 \text{ J}$ gebruikt.

- 2 Het vermogen berekenen:

$$E = 1,71 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$t = 3,0 \times 60 = 180 \text{ s}$$

$$P = \frac{E}{t} = \frac{1,71 \cdot 10^5}{180} = 9,5 \cdot 10^2 \text{ W} = 0,95 \text{ kW}$$

- 20 a Voor de badkamer gelden strenge veiligheidsregels, die een erkend installateur wel kent en jij niet. Bovendien zijn de gevolgen, als je iets zelf doet, al gauw levensgevaarlijk.
- b In de zone rond de kraan is het gevaar voor ongelukken het grootst. Daar krijg je gemakkelijk natte handen en als je dan een draad aanraakt waar spanning op staat, krijg je een enorme schok. Dat komt doordat de contactweerstand klein is.

Praktijk

Een supernetwerk voor Europa

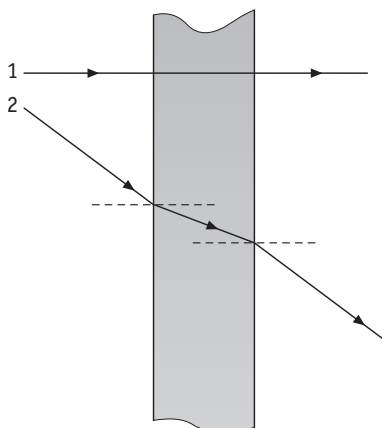
- 1 a $P = 700 \text{ MW} = 7,00 \cdot 10^8 \text{ W}$
 $U = 450 \text{ kV} = 4,50 \cdot 10^5 \text{ V}$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{7,00 \cdot 10^8}{4,50 \cdot 10^5} = 1,56 \cdot 10^3 \text{ A}$$
- b $P = 700 \text{ MW} = 7,00 \cdot 10^5 \text{ kW}$
 $t = 24 \text{ h}$
 $E = P \cdot t = 7,00 \cdot 10^5 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 1,7 \cdot 10^7 \text{ kWh}$
- 2 In Noorwegen is het 's nachts een stuk kouder dan in Nederland en men wil voorkomen dat gebouwen dan te koud worden. Daarom houdt men in Noorwegen ook in de nacht de verwarming een beetje aan. Die verwarming is (meestal) elektrisch.
- 3 De kabel tussen Nederland en Denemarken is net als die tussen Nederland en Noorwegen een kabel voor 700 MW. Volgens de tekst is de laatste kabel goed voor 1 miljoen huishoudens dus dat geldt dan ook voor de eerste kabel.
- 4 a Als de te overbruggen afstand groter is dan circa 100 km, is HVDC energie-efficiënter dan de gewone hoogspanningsleidingen die met wisselspanning (AC) werken. De energieverliezen in de kabels zijn bij HVDC kleiner en dat maakt het mogelijk om de elektrische energie rendabel te transporteren.
- b Het omzetten van wisselstroom (AC) naar gelijkstroom (DC) en – na transport – weer van gelijkstroom naar wisselstroom vereist dure en omvangrijke apparatuur. De kosten van die apparatuur wegen bij korte afstanden niet op tegen het – door de korte afstand relatief lage – extra energieverlies bij gebruik van wisselspanning.
- 5 a Je kunt het overschot aan elektrische energie gebruiken om elektrische pompen aan te drijven die water omhoog pompen naar het stuwmeer. Het stuwmeer houdt de zwaarte-energie van het water dan 'vast'.
- b Je haalt de opgeslagen energie weer uit het stuwmeer door het water via grote waterturbines uit het meer naar beneden te laten stromen. De turbines drijven op hun beurt generatoren aan die – gemakkelijk te transporteren – elektrische energie opwekken.
- c Je kunt niet onbeperkt water naar het meer pompen: vol is vol. De capaciteit is variabel doordat het stuwmeer ook het natuurlijke wateraanbod moet opvangen. Als het veel heeft geregend, is het stuwmeer al vol en kun je er niet nog extra energie in opslaan. Als het droog is, staat het water laag en kun je er dus flink wat extra water in kwijt.

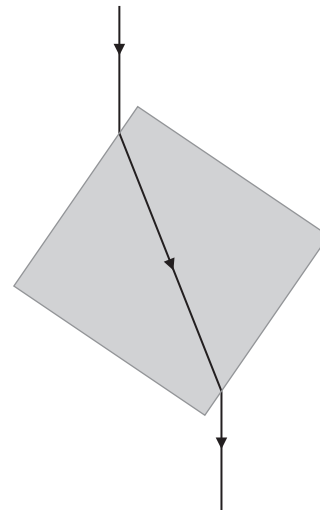
3 Licht en lenzen

1 Lichtbreking

- 1
 - a De normaal is de gestippelde lijn die loodrecht op het grensvlak staat.
 - b De lichtstraal wordt naar de normaal toe gebroken.
 - c De lichtstraal wordt van de normaal af gebroken.
- 2
 - a de normaal
 - b de hoek van inval
 - c Als een lichtstraal van water naar lucht gaat, is er breking van de normaal af. $\angle r$ is dan groter dan $\angle i$. Lichtstraal 1 moet dus wel goed zijn.
- 3
 - a Zie figuur 1.
 - b Zie figuur 1.



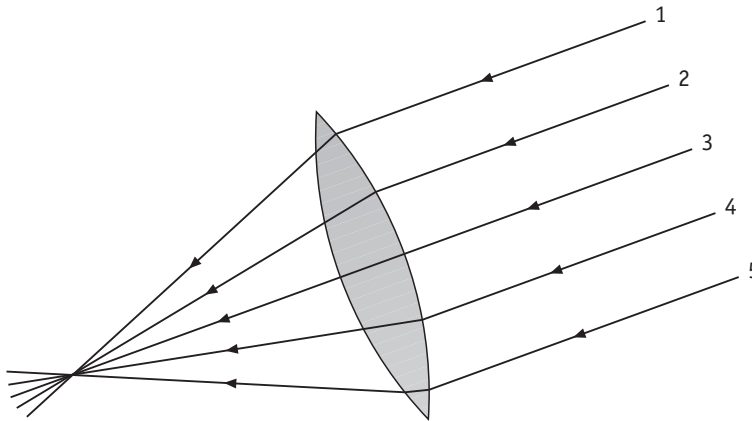
▲ figuur 1



▲ figuur 2

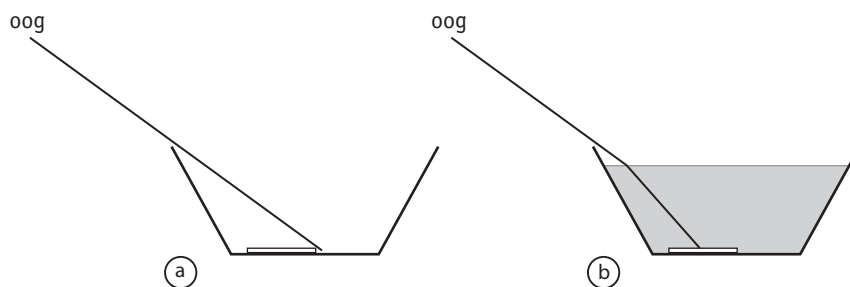
- 4
 - a In B: trek de stippellijn door.
 - b In A: een lichtstraal die vanuit A op het wateroppervlak valt, breekt na het grensvlak water-lucht van de normaal af.
- 5 Figuur B: bij de overgang van water naar lucht is er breking van de normaal af.
- *6
 - a Zie figuur 2. Als het blokje rechtop zou staan, zou er geen breking zijn, dus het moet wel schuin staan.
 - b Zie figuur 2. Lichtstralen zijn altijd recht en er is geen breking in het voorwerp zelf, alleen aan de grensvlakken.

- 7 a Lichtstraal 3 valt bij het binnentreden en het verlaten van het vergrootglas loodrecht op het grensvlak. De lichtstraal breekt daarom niet.
b Zie figuur 3.



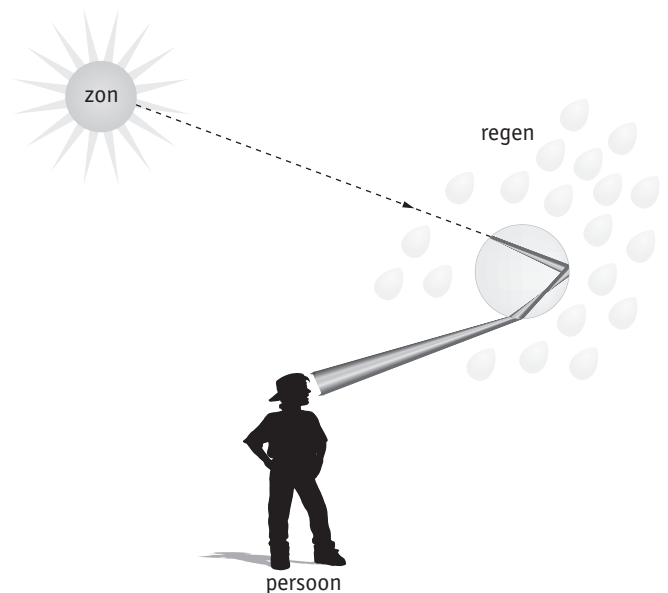
▲ figuur 3

- 8 Als het bakje gevuld wordt met water, breken de lichtstralen afkomstig van het muntje op het grensvlak van water en lucht. De lichtstralen die van het muntje komen, treffen nu door de aanwezigheid van het water wél de ogen van Karen. Zie figuur 4.



▲ figuur 4

- *9 a Het bolletje stelt een regendruppel voor.
b De normaal is de rechte lijn die loopt van het middelpunt van de cirkel naar het punt waar de lichtstraal op de cirkel valt.
c De invallende lichtstraal is wit (zonlicht) en je ziet dat door breking aan het grensvlak lichtstralen van verschillende kleuren 'ontstaan'. Ze hebben allemaal een iets andere richting. De hoek van breking is voor elke kleur duidelijk anders en daaraan kun je zien dat de brekingsindex voor elke kleur iets anders is.
d Je ziet dat de rode straal het meest rechtdoor gaat. Blauw wordt het meest afgebogen en voor blauw is de brekingsindex dus het grootst.
e Bij A wordt het witte zonlicht 'uit elkaar getrokken' doordat elke kleur net iets anders breekt. Bij B weerkaatsen de lichtstralen. Bij C breekt het licht nogmaals waardoor de verschillende kleuren licht nog iets verder uit elkaar komen te liggen.
f Zie figuur 5.



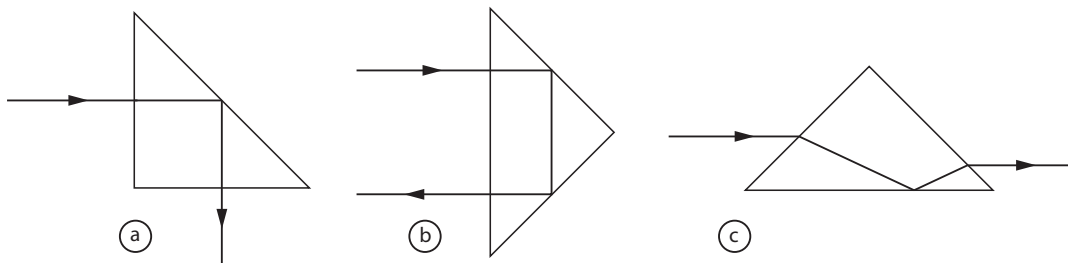
► figuur 5

***10 a** Zie figuur 6.

Situatie A: De straal valt loodrecht op het oppervlak en gaat dus rechtdoor. Bij de schuine zijde is de hoek van inval 45° (dat zijn de twee kleinste hoeken van de driehoek), en dat is groter dan de grenshoek. De straal wordt dus weerkaatst. Bij de onderste zijde van de driehoek valt de straal loodrecht in en breekt dus niet.

Situatie B: Net als bij A gaat de straal eerst rechtdoor en wordt daarna weerkaatst op het bovenste schuine deel. Op het onderste schuine deel wordt hij opnieuw weerkaatst. De situatie is dus volkomen symmetrisch.

- b** Zie figuur 6. De lichtstraal wordt eerst gebroken en valt dan op de onderste zijde van de driehoek. De hoek van inval is daar groter dan de grenshoek en dus treedt totale weerkaatsing op. Aan de andere schuine zijde van de driehoek treedt vervolgens eenzelfde situatie op als aan de linkerkant. De straal zal dus weer horizontaal uit het stuk glas komen.
- c** Trek de normaal in het punt waar de lichtstraal weerkaatst wordt; dat is een verticale lijn. Meet de hoek van inval (de hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal) en je komt op ongeveer 65° . Die hoek zit ruim boven de grenshoek.



▲ figuur 6

Plus Wet van Snellius

- 11 a** Je zou dit kunnen onderzoeken door een halve cirkel te maken (zoals in figuur 4 van je leeropdrachtenboek) van zowel diamant als glas. (Voor diamant zal dat lastig zijn.) Als je dan op beide een lichtstraal laat vallen, bijvoorbeeld onder 45° , dan zie je direct dat diamant sterker breekt.
- b** $\angle i = 45^\circ$ en $n = 2,4$ (zie tabel 3 in je leeropdrachtenboek)
 $\angle r = ?$

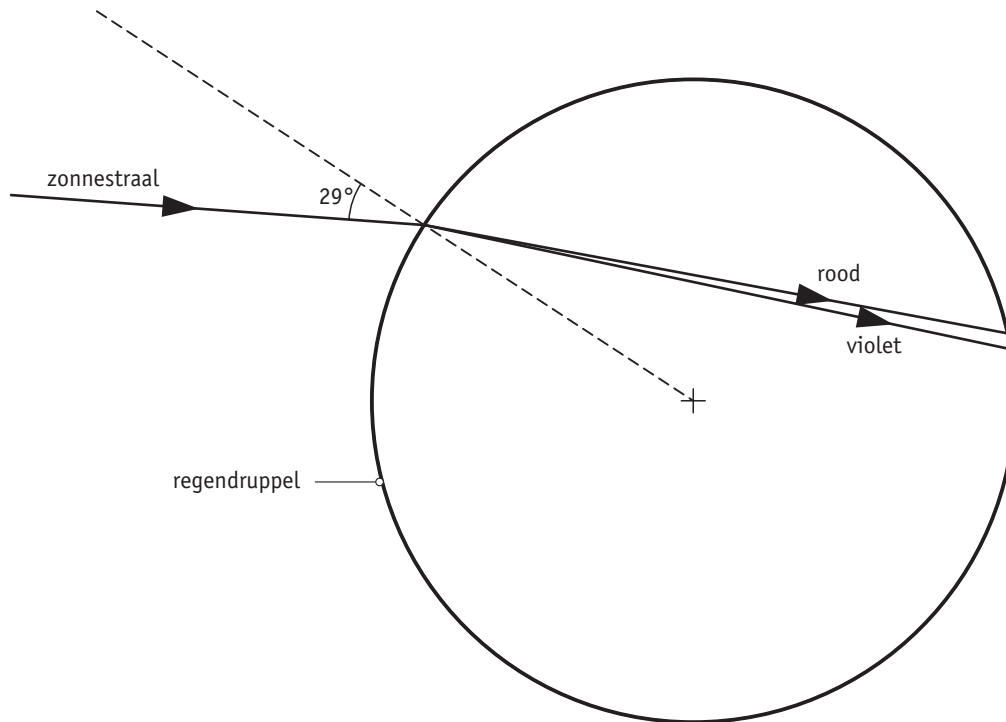
Uit de brekingswet volgt: $\frac{\sin 45^\circ}{\sin r} = 2,4$

$$\sin 45^\circ = 2,4 \cdot \sin r$$

$$\sin r = \frac{\sin 45^\circ}{2,4} = 0,2946$$

Met de toets voor de inverse van sinus op je rekenmachine vind je: $\angle r = 17^\circ$.

- *12 a** Trek een lijn vanuit het middelpunt van de cirkel naar het punt waar de straal op de druppel valt.
- b** Zie figuur 7. De hoek van inval is 29° . Als je rekent met $n = 1,33$, volgt een hoek van breking van $21,4^\circ$. In figuur 7 is ook getekend hoe de rode straal verdergaat.
- c** Zie figuur 7. De hoek van inval is weer 29° . Als je nu rekent met $n = 1,34$, volgt een hoek van breking van $21,2^\circ$. Het verschil met de rode straal is dus zeer klein. In figuur 7 is dat verschil opzettelijk te groot getekend.



▲ figuur 7

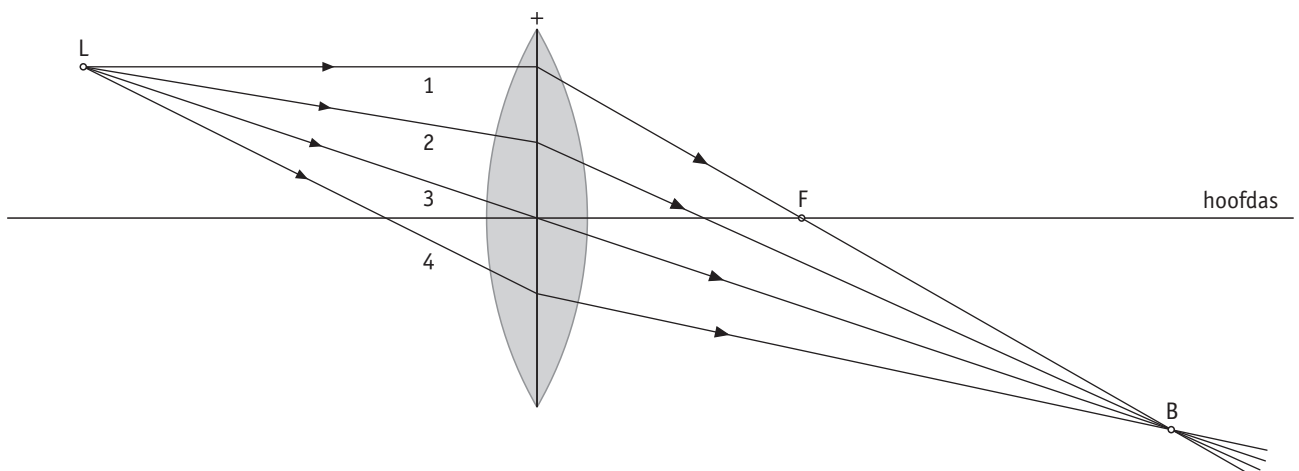
- 13 a** De grenshoek speelt alleen een rol als een lichtstraal van een 'dichte' stof naar een minder dichte stof beweegt. Hier is dat dus van kunststof naar lucht.
- b** Als de hoek van inval precies gelijk is aan de grenshoek, valt de lichtstraal uit langs het oppervlak. De hoek van breking is dan 90° .
- c** Het antwoord op vraag b kun je ook omdraaien. Als de lichtstraal met een hoek van inval van 90° op de kunststof valt, zal de hoek van breking 48° zijn.

Pas dan de formule toe:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin 48^\circ} = \frac{1}{0,743} = 1,3$$

2 Lenzen

- 14 a** Positieve lenzen zijn aan de rand dunner dan in het midden. Ze hebben een bolle vorm. Negatieve lenzen zijn aan de rand dikker dan in het midden en hebben een holle vorm.
- b** Een evenwijdige bundel zonlicht voor de lens wordt een convergente bundel na de lens, dus de stralen gaan naar elkaar toe.
- c** Voordeel: ze zijn vrij plat en niet zo zwaar. Nadeel: je kunt er geen mooie beelden mee maken.
- 15 a** Ze zal een lichtvlek zien waar alle lichtstralen samenkomen. Als ze het glas op een bepaalde afstand houdt, ziet ze zelfs alleen een lichtpunt.
- b** Ze ziet een grote wazige lichtvlek.
- c** Ze moet het glas op die afstand (de brandpuntsafstand) houden waarbij ze een scherpe lichtpunt ziet. Het papier wordt dan op die plek zo heet dat het in brand kan vliegen.
- d** Zwart papier absorbeert meer warmte dan wit papier; wit reflecteert namelijk meer licht.
- 16 a** in gebied 1 evenwijdig, in gebied 2 convergent, in gebied 3 divergent
- b** in gebied 1 evenwijdig, in gebied 2 divergent, in gebied 3 convergent
- 17** positieve lens: doosjes 3 en 4; negatieve lens: doosjes 1 en 2
 Bij 1 gaan de lichtstralen uit elkaar na de lens en bij 2 was er een convergente bundel maar de lens heft de convergentie op door zijn divergerende werking. Bij 3 gaat een divergente bundel over in een convergente bundel en bij 4 gaat een sterk divergerende bundel over in een minder sterk divergerende bundel.
- 18 a** Lens a is het sterkst. Dat zie je het gemakkelijkst als je aanneemt dat de lichtstralen van links komen. Bij a komen de lichtstralen van de evenwijdige bundel het dichtst achter de lens samen. Het brandpunt ligt het dichtst bij de lens.
- b** Dit moet je opmeten en dan met 2 vermenigvuldigen. Lens a: $f = 3,2$ cm, lens b: $f = 4,9$ cm.
- 19 a** lichtstralen 1 en 3
- b** Zie figuur 8.
- c** Zie figuur 8.

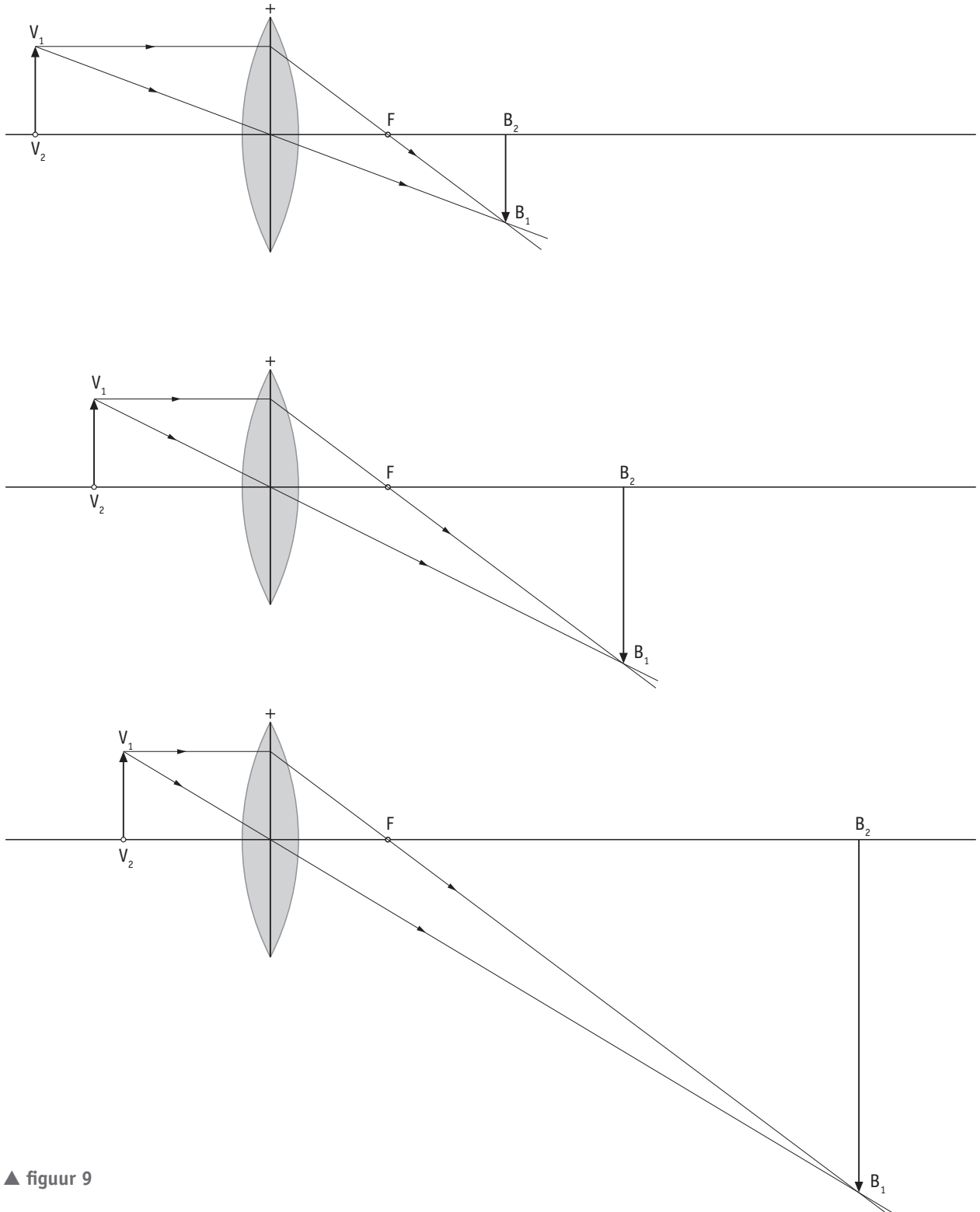


▲ figuur 8

- 20 a Zie figuur 9.
 b Als het voorwerp dichterbij de lens komt, wordt het beeld groter en komt het beeld verder van de lens te staan.
 c Bij een recht evenredig verband tussen de voorwerpsafstand en de grootte van het beeld moet gelden:

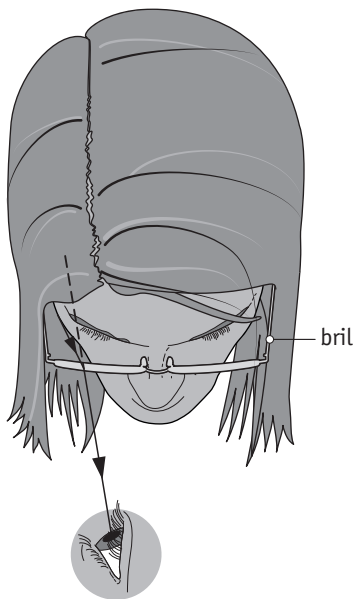
$$\frac{\text{voorwerpsafstand (afstand van } V_2 \text{ tot het midden van de lens)}}{\text{grootte } B_1B_2 \text{ van het beeld}} = \text{constant}$$

In het eerste plaatje is die verhouding 1 : 1 en in de andere twee is dat zeker niet zo. Het is dus geen recht evenredig verband.



▲ figuur 9

- *21 a** Divergente lichtbundel. De lichtstralen die uit het kastje komen, bewegen bij elkaar vandaan en dan is de lichtbundel divergent.
- b** De lichtstralen uit het kastje moeten evenwijdig gaan. Daarvoor moeten de lichtstralen in het kastje minder divergent op de lens vallen. Ze moet het lampje verder van de lens plaatsen, dus naar links verschuiven.
- c** Als het lampje in het brandpunt staat, gaan de lichtstralen na breking door de lens evenwijdig aan de hoofdas verder. Ze moet het lampje verschuiven tot op 8,0 cm afstand van het midden van de lens.
- *22** Achter het rechter brillenglas lijkt het gezicht van het meisje smaller dan het in werkelijkheid is. In figuur 10 is getekend hoe dat kan. Een lichtstraal die vanaf de zijkant van het gezicht op het brillenglas valt, wordt gebroken en bereikt dan het oog van de waarnemer. Die waarnemer denkt dat de lichtstraal afkomstig is van een punt dat meer naar rechts ligt. Deze manier van breking kan alleen optreden bij een negatieve lens, dus een lens met een divergerende werking.



▲ figuur 10

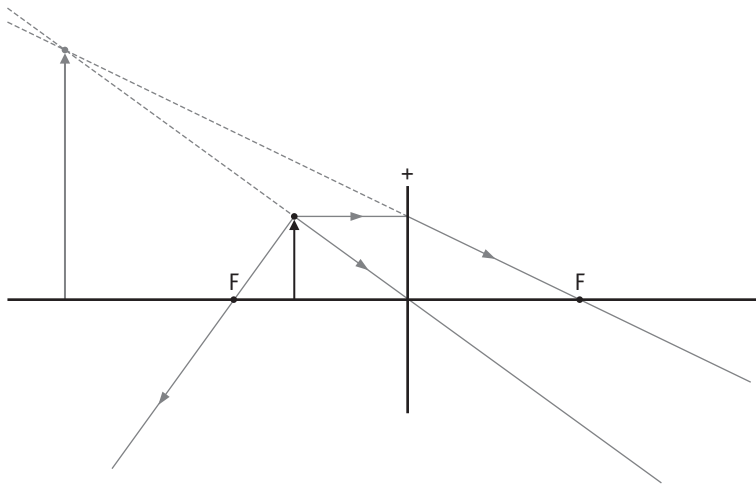
- 23 a** Als een lens alleen maar kleiner is maar geen andere brandpuntsafstand heeft, dan breekt deze lichtstralen op dezelfde manier. Dus de plaats van het beeld verandert niet.
- b** Ook de grootte van het beeld verandert niet (zie vraag a).
- c** Een kleine lens vangt minder lichtstralen op en dus komen er in elk beeldpunt minder lichtstralen samen. De lichtsterkte is dan kleiner en het beeld is donkerder.
- 24 a** De linkerlens is een positieve lens, omdat het beeld op zijn kop staat.
- b** Op bestelbusjes zit soms een negatieve fresnellens, zoals de lens rechts in figuur 27. Zoals je op de foto ziet, kun je door zo'n lens een groter gebied zien dan wanneer je zonder lens kijkt. Een bestuurder van een busje kan dus dankzij zo'n lens meer zien van wat er achter zijn auto aanwezig is en gebeurt.

Plus Reële en virtuele beelden

- 25 a** Een virtueel beeld kun je niet vastleggen op een scherm. Een virtueel beeld staat niet op zijn kop.
- b** Door een microscoop zie je een beeld dat niet op zijn kop staat. Het is dus een virtueel beeld.

- 26 a Zie figuur 11.
 b Je ziet in figuur 11 dat de twee constructiestralen (grijze kleur) die aan de rechterkant van de lens aanwezig zijn, elkaar nergens snijden. De derde constructiestraal komt er al helemaal niet in beeld aan de rechterkant.
 c Zie figuur 11. Je kunt twee van de drie constructiestralen doortrekken naar links en op het punt waar ze elkaar snijden, ligt het virtuele beeld van de pijl. Dat beeld staat rechtop.
 d Het beeld is 4,5 cm lang (opmeten in je tekening) en het voorwerp is 1,5 cm lang.

De vergroting is dus $\frac{4,5}{1,5} = 3$.



▲ figuur 11

3 Camera's en projectoren

- 27 a Bij het scherpstellen verandert de afstand tussen de lens en de beeldchip. Dat is dus de beeldafstand.

$$b \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{b}$$

f is de brandpuntsafstand, v de voorwerpsafstand en b de beeldafstand.

$$c \quad N = \frac{\text{lengte beeld}}{\text{lengte voorwerp}} = \frac{\text{beeldafstand } b}{\text{voorwerpsafstand } v}$$

$$28 \quad a \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{b}$$

$$\frac{1}{8} = \frac{1}{18} + \frac{1}{b}$$

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{8} - \frac{1}{18} = 0,0694..$$

$$\text{dus: } b = \frac{1}{0,0694} = 14 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{b}$$

$$\frac{1}{8} = \frac{1}{16} + \frac{1}{b}$$

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{8} - \frac{1}{16} = \frac{1}{16}$$

dus: $b = 16$ cm

$$\text{b } N = \frac{b}{v} = \frac{16}{16} = 1$$

Dus bij $b = 16$ cm $= 2 \times 8$ cm $= 2 \cdot f$ is het beeld even groot als het voorwerp.

- c Als $v = 16$ cm zit je op de grens tussen vergroten en verkleinen. Bij vraag a bleek dat als $v = 18$ cm, dat dan b kleiner is dan v en dus is er dan een verkleining. Dus voor alle waarden van v groter dan 16 cm is het beeld verkleind.

- 29 a Als je nu gaat rekenen, volgt:

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{8} - \frac{1}{8} = 0$$

Dit kan niet berekend worden. De lichtstralen lopen aan de andere kant van de lens evenwijdig en ontmoeten elkaar nooit. (Je kunt ook zeggen: het beeld ligt oneindig ver weg.)

- b Dit is een evenwijdige lichtbundel.

- *30 a In beide gevallen moet gelden:

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

Als je eerst kijkt naar een voorwerp op een afstand van 90 cm, en dan naar een voorwerp ver

weg, maak je v groter. Dan wordt $\frac{1}{v}$ dus kleiner. Omdat $\frac{1}{f}$ even groot blijft, moet dan $\frac{1}{b}$

wel groter worden. En dus moet b kleiner worden. Dus in dit geval zal de afstand tussen de lens en de beeldchip verkleind moeten worden.

- b In de eerste situatie geldt:

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{50,0} - \frac{1}{900} = 0,01889..$$

dus: $b = 52,9$ mm

In de tweede situatie staat het voorwerp ver weg en staat het beeld dus in het brandpunt.

De beeldchip moet dus $52,9 - 50,0 = 2,9$ mm verschoven worden.

- 31 a Zie figuur 12.

$$\text{b } \frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{3} - \frac{1}{5} = \frac{2}{15}$$

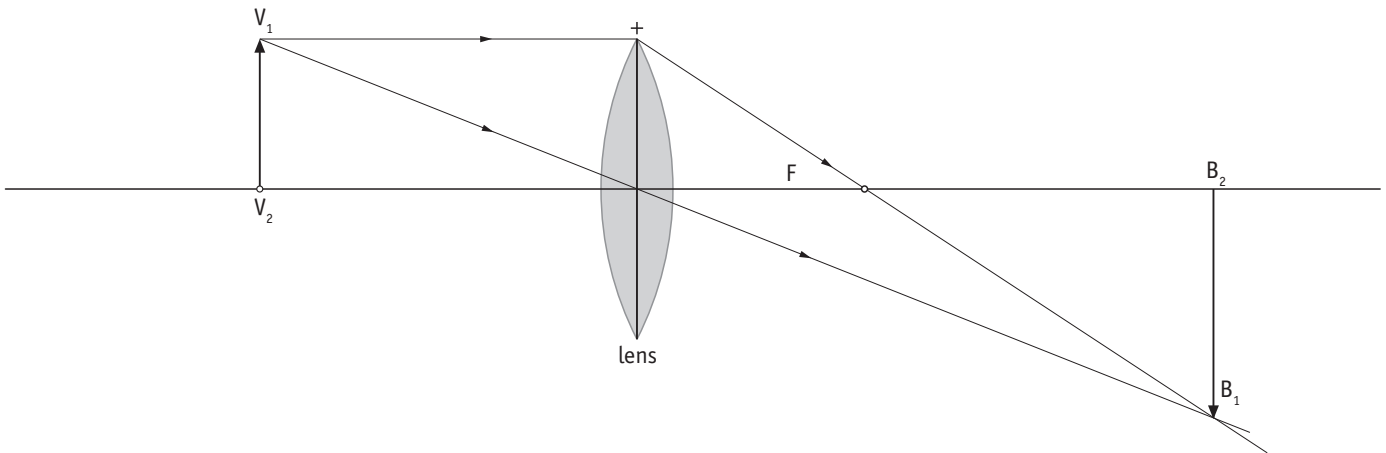
Dus $b = \frac{15}{2} = 7,5$ cm. Het beeld in de tekening moet dus $1,5\times$ zo ver van de lens staan

als het voorwerp.

- c Het voorwerp V_1V_2 staat op 5,0 cm afstand van de lens. Het beeld B_1B_2 ontstaat op 7,5 cm afstand van de lens.

$$\text{Dus: } N = \frac{b}{v} = \frac{7,5}{5} = 1,5$$

Het beeld moet in de tekening dus $1,5 \times$ zo groot zijn als het voorwerp. Als de pijl 2 cm lang is, dan moet in jouw tekening het beeld dus 3 cm lang zijn.



▲ figuur 12

$$32 \text{ a } N = \frac{\text{lengte beeld}}{\text{lengte voorwerp}} = \frac{0,008 \text{ m}}{1,6 \text{ m}} = 0,005$$

$$\text{b } b = N \cdot v = 0,005 \times 4,0 = 0,020 \text{ m}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{b}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{4,0} + \frac{1}{0,020} = 50,25$$

$$f = \frac{1}{50,25} = 0,020 \text{ m} = 2,0 \text{ cm}$$

*33 a

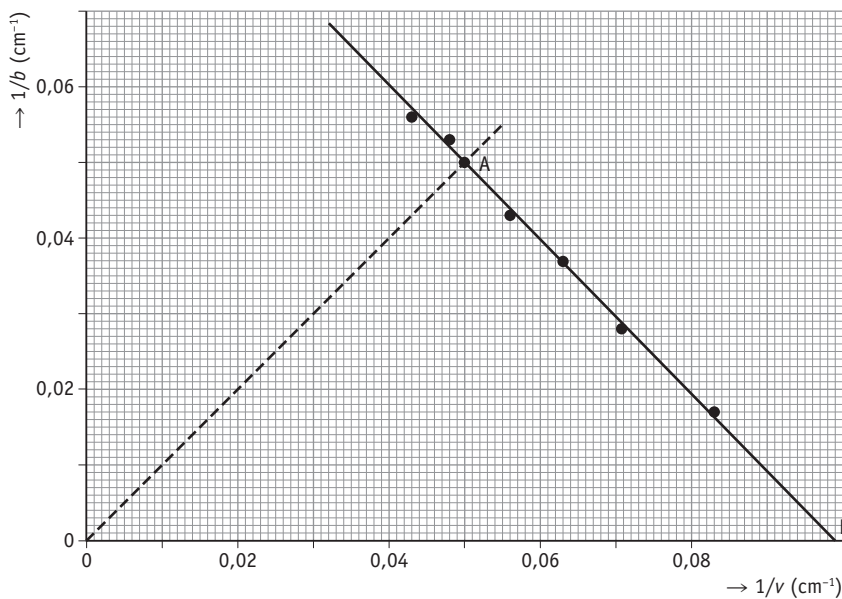
meting	v (cm)	$1/v$ (cm ⁻¹)	b (cm)	$1/b$ (cm ⁻¹)
1	12	0,083	60	0,017
2	14	0,071	36	0,028
3	16	0,063	27	0,037
4	18	0,056	23	0,043
5	21	0,048	19	0,053
6	23	0,043	18	0,056

b Zie figuur 13.

c Als $N = 1$, dan geldt $b = v$, dus ook $\frac{1}{b} = \frac{1}{v}$. Je moet dus een A zetten bij het punt van de grafiek dat snijdt met de lijn die in figuur 13 met een stippellijn is aangegeven.

d Voor het snijpunt van de grafiek met de x-as (punt B in figuur 13) geldt: $\frac{1}{b} = 0$. Uit de lenzenformule volgt dan dat daar geldt: $v = f$. Voor punt B lees je af: $\frac{1}{v} = 0,099$.

$$\text{Dus: } f = v = \frac{1}{0,099} = 10 \text{ cm.}$$



▲ figuur 13

*34 Als v heel groot is, volgt uit de lenzenformule dat f ongeveer gelijk is aan b :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\text{heel groot getal}} + \frac{1}{b}$$

$$\frac{1}{f} = \text{heel klein getal} + \frac{1}{b}$$

$$\text{Dus je mag stellen: } \frac{1}{f} = \frac{1}{b} \text{ ofwel } f = b.$$

Dan volgt voor de vergroting:

$$N = \frac{b}{v} = \frac{f}{v}$$

35 a Met een telescoop wil je vergroten, dus N moet groter zijn dan 1. Dus moet het brandpunt van het objectief groter zijn dan dat van het oculair. Dus moet je voor het objectief de lens met de grootste brandpuntsafstand nemen: $f = 20 \text{ cm}$.

b In figuur 32 zie je dat het brandpunt (waar de lichtstralen elkaar kruisen in de telescoop) verder van het objectief ligt dan van het oculair. Dus het objectief heeft inderdaad een grotere brandpuntsafstand.

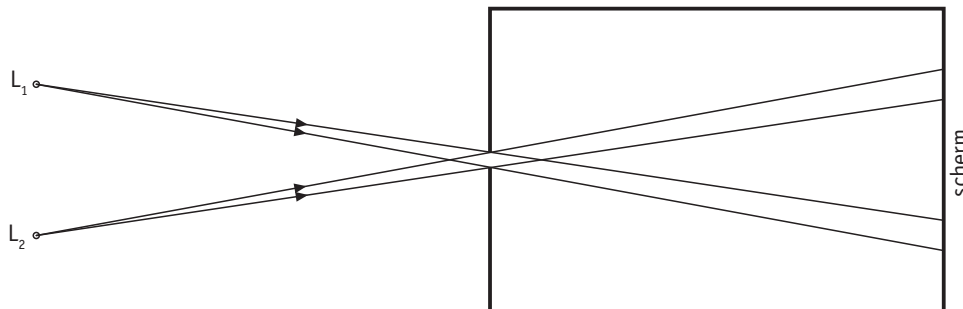
$$c \quad N = \frac{f_{\text{obj}}}{f_{\text{ocu}}} = \frac{20}{4} = 5$$

d Dit is dus wat je ook ziet in figuur 32. De afstand tussen de beide lenzen is $20 + 4 = 24$ cm.

- *36 a** De grenshoek van beide prisma's is kleiner dan 45° . Daardoor wordt de getekende lichtstraal teruggekaatst in beide prisma's zoals is getekend en verlaat hij het tweede prisma in dezelfde richting als die waarin hij op het eerste prisma viel.
- b** Als de som van brandpuntsafstanden van beide lenzen vrij groot is, dan zou bij een 'normale' telescoop de kijker vrij lang zijn. Het meenemen en hanteren van een lange kijker is niet zo handig en daarom is het gebruik van de prisma's handig: de lichtstralen worden als het ware opgevouwen.

Plus De gaatjescamera

- 37 a** Zie figuur 14.
- b** Als de gaatjes kleiner zijn, zijn de lichtbundels die de camera ingaan smaller en zijn de lichtvlekken op het scherm dus ook kleiner.
- c** Het beeld is dan scherper, maar ook minder helder omdat er minder licht de camera inkomt.

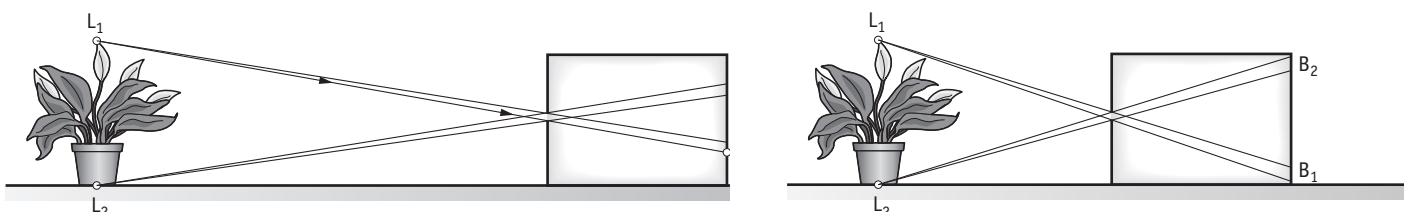


▲ figuur 14

- 38 a** Zie figuur 15: het beeld wordt groter.
- b** Maak een tekening op schaal zoals in figuur 36 bovenaan, zonder de kamerplant. Trek de lijnen naar links door tot de afstand tussen de punten L_1 en L_2 overeenkomt met een afstand van 60 cm. Als je nauwkeurig tekent, volgt uit opmeten dat de afstand tussen de plant en het gaatje ongeveer 1,2 m is. Je kunt dit ook berekenen. Als het beeld $3\times$ zo klein is als het voorwerp, dan is de beeldafstand ook $3\times$ zo klein als de voorwerpsafstand. Dus de vaas staat op $3 \times 40 = 120$ cm = 1,2 m van het gaatje.
- c** Gebruik de lenzenformule:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{120} + \frac{1}{40} = \frac{4}{120}$$

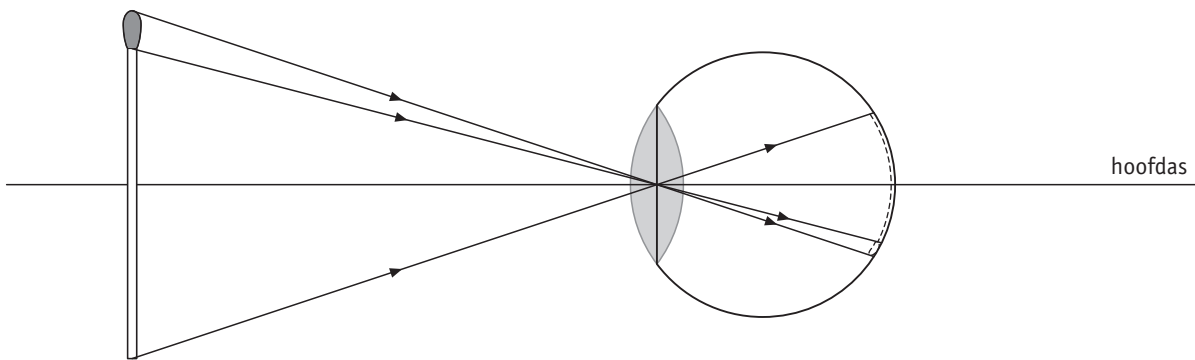
$$\text{dus: } f = \frac{120}{4} = 30 \text{ cm}$$



▲ figuur 15

4 Oog en bril

- 39 a De brandpuntsafstand kan veranderd worden door de ooglenzen platter of boller te maken.
 b Bij bijzienden is de ooglenzen te sterk (of de oogas te lang). De ooglenzen vormt daardoor beelden vóór het netvlies.
 c De lenzen van een bijziende zijn te sterk, dus te veel plus. Met negatieve lenzen kun je het probleem oplossen.
- 40 a Als Paul naar buiten kijkt, zijn zijn ooglenzen ontspannen en relatief plat. Als hij naar zijn telefoon kijkt, worden zijn ooglenzen boller waardoor ze de lichtstralen beter kunnen convergeren.
 b Bij het naar de telefoon kijken worden de spiertjes aangespannen en de ooglenzen wordt boller. Dit is daarom inspannender dan ver weg kijken.
- 41 a Zie figuur 16.
 b Het beeld is verkleind.
 c Het beeld staat ondersteboven.
 d Als de lucifer verder van het oog staat, wordt het beeld kleiner.



▲ figuur 16

- 42 a $v = 10 \text{ cm}$
 b $b = 1,7 \text{ cm}$
 c
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{b}$$

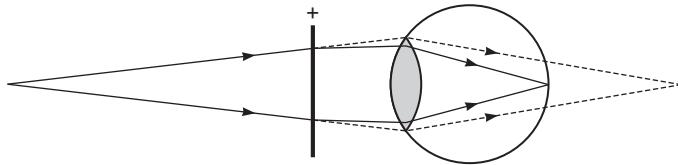
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{10} + \frac{1}{1,7}$$

$$\frac{1}{f} = 0,688$$

$$f = 1,45 \text{ cm}$$

 d Nu geldt: $v = 100 \text{ m}$, $b = 1,7 \text{ cm} = 0,017 \text{ m}$. Als je weer de lenzenformule gebruikt zoals bij vraag c, dan vind je: $f = 0,017 \text{ m} = 1,7 \text{ cm}$. (Het brandpunt ligt dus op het netvlies.) De brandpuntsafstand is dus $1,7 - 1,45 = 0,25 \text{ cm}$ groter geworden. Dat komt overeen met $\frac{0,25}{1,45} \times 100\% = 17\%$.

- 43 a De contactlenzen zijn negatief. Kennelijk zijn de ooglenzen van José te veel plus, dus ze is bijziend.
 b Nee, ze is bijziend. Ze kan alles van dichtbij goed lezen.
 c Ja, want in de verte ziet ze niet goed. Ze kan haar ooglenzen niet genoeg 'ontspannen'.
- 44 a Marjan is bijziend.
 b Ze heeft een bril met negatieve glazen nodig (zie ook opgave 43).
- 45 a $f = \frac{1}{S} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ m} = 25 \text{ cm}$
 b Gerard is nog jong, dus oudziend zal hij niet zijn. Hij heeft pluslenzen nodig, dus hij is verziend.
- 46 a De ooglenzen zijn te zwak (convergeert te weinig) en Ester is te jong om oudziend te zijn. Ester is dus verziend.
 b Figuur A: het beeld komt achter het netvlies terecht.
 c Zie figuur 17. De stippellijnen geven de lichtstralen weer zonder bril en de doorgetrokken lijnen laten de lichtstralen zien met bril.



▲ figuur 17

- *47 Er valt een evenwijdige bundel licht op het scherm. Het lampje is daarom in het brandpunt geplaatst, dus de afstand tussen lens en lamp is gelijk aan f .
 De brandpuntsafstand f bereken je met:

$$f = \frac{1}{S} = \frac{1}{17} = 0,059 \text{ m} = 5,9 \text{ cm}$$

- 48 a De ooglenzen van een bijziende zijn te bol (ze convergeren het licht te veel). Bij de laserbehandeling worden de lenzen minder bol gemaakt.
 b Het probleem van oudzienden is dat de spiertjes in hun ogen niet meer in staat zijn om de ooglenzen voldoende te laten accommoderen. In rust zijn hun lenzen prima. Door laseren worden de ooglenzen juist zwakker, dus dat maakt het probleem alleen maar erger.

Plus Vertepunt en nabijheidspunt

- 49 a Dit heet oudziendheid.
 b Oudziendheid treedt vooral op bij oude mensen. Met oudziendheid kun je nog prima in de verte zien, net als bij verziendheid.
 c Het nabijheidspunt komt door een leesbril dicht bij hun ogen te liggen.
 d De leesbril moet helpen bij het accommoderen. De ooglenzen kunnen dat niet meer voldoende. De lenzen van de bril moeten dus positief zijn.
- 50 Eigen antwoord. Sommige leerlingen kunnen zelfs bij een afstand van 10 cm nog wel scherp zien.

***51 a** Dat betekent dat deze mensen voorwerpen die heel ver weg zijn nog scherp kunnen zien.

b Als v heel groot is, dan valt het deel $\frac{1}{v}$ weg uit de lenzenformule.

c Er volgt dan $\frac{1}{f} = \frac{1}{b}$, dus $f = b$.

52 Bijzienden hebben 'van nature' al sterke ooglenzen en als ze accommoderen, worden die lenzen nog sterker en convergeren ze de lichtstralen heel sterk. Daardoor kunnen ze voorwerpen dichtbij toch nog scherp zien.

Test Jezelf

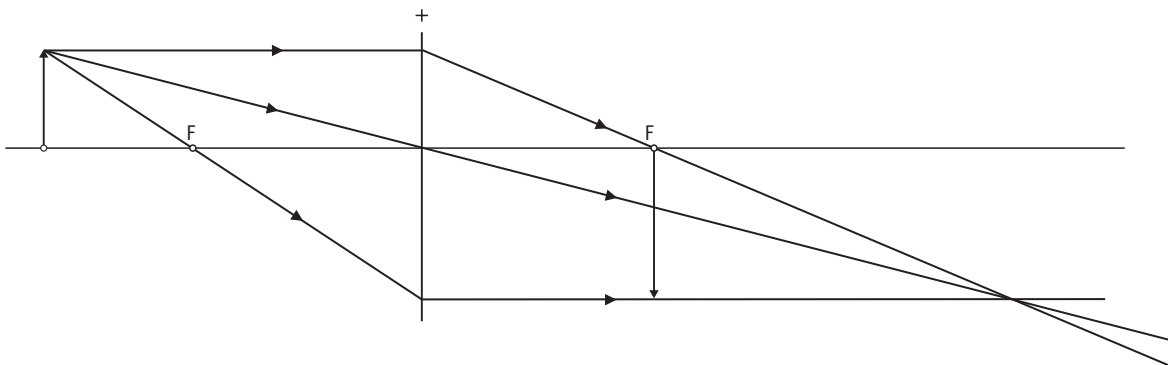
- 1**
 - a** 32°
 - b** 43°
 - c** glas
- 2** C
- 3** B
- 4**
 - a** bij lens a
 - b** lens b
- 5**
 - lens 1: convergerende werking, positieve lens
 - lens 2: divergerende werking, negatieve lens
 - lens 3: divergerende werking, negatieve lens
- 6** beeldpunt
- 7** B
- 8** 5,0 cm (of 5 cm)
- 9** $6,75 \text{ cm}^2$
- 10**
 - a** 18 cm
 - b** 2,8 cm
- 11**
 - a** boller
 - b** groter
- 12**
 - a** verziendheid
 - b** positief
- 13** 2,5 dpt
- 14** 2,0 cm (of 2 cm)

- 15 a onwaar
b waar
c onwaar
d onwaar
e onwaar
- 16 11 cm
- 17 a De rechterlens heeft de grootste diameter en dat is het objectief.
b De linkerlens is het bolst (je ziet ook in de tekening dat bij deze lens het brandpunt het dichtst bij ligt) en dat is het oculair.
c De vergroting bereken je bij een telescoop door de f van het objectief te delen door de f van het oculair. De vergroting is hier gelijk aan 4.
d Je wilt dat er veel licht in de telescoop valt, anders is het beeld te donker om goed te zien. Vooral als je naar lichtzwakke objecten kijkt, zoals verre sterren, wil je zo veel mogelijk licht daarvan 'opvangen'.

- 18 a Zie figuur 18.
b Opmeten in de tekening van figuur 18 geeft:

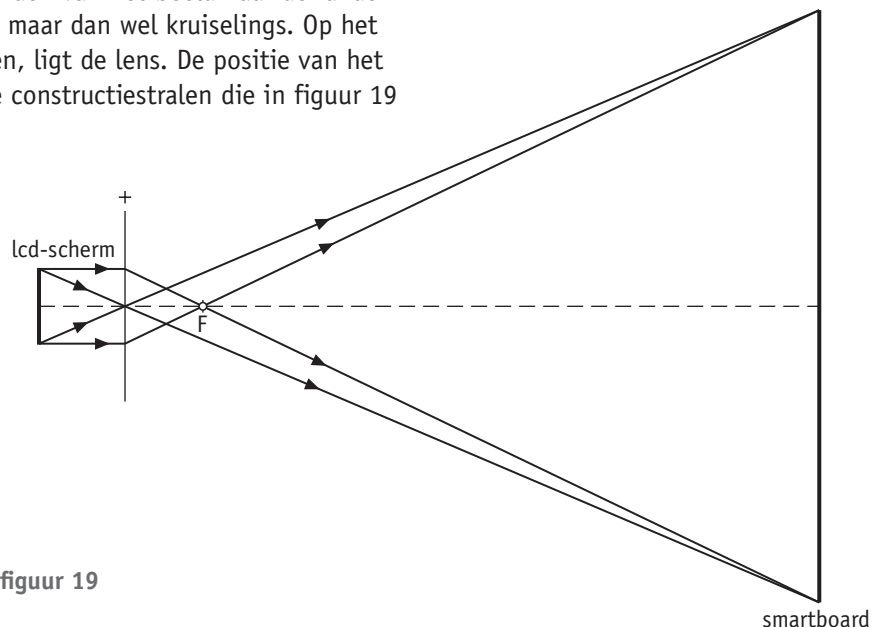
$$N = \frac{\text{lengte beeld}}{\text{lengte voorwerp}} = \frac{2,0}{1,3} \approx 1,5$$

- c De vergroting wordt bepaald door de brandpuntsafstand en de voorwerpsafstand (die samen de beeldafstand bepalen). Als je het voorwerp langer maakt en f en v niet verandert, verandert N ook niet. Die blijft dus 1,5.



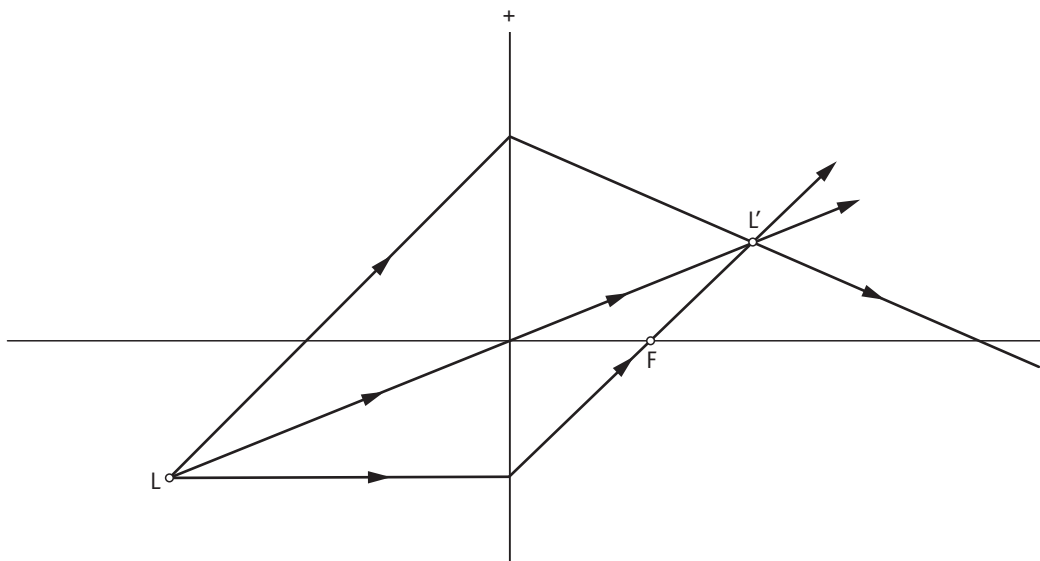
▲ figuur 18

- 19 a Zie figuur 19. Trek lijnen van de randen van het beeld naar de randen van het voorwerp (het lcd-scherm) maar dan wel kruiselings. Op het punt waar deze lijnen elkaar snijden, ligt de lens. De positie van het brandpunt bepaal je met de andere constructiestralen die in figuur 19 getekend zijn.
b Zie figuur 19.
c Zie figuur 19.



▲ figuur 19

- 20 a** Mevrouw is bijziend, omdat ze scherp kan zien als ze de kaart heel dicht bij haar ogen houdt. Meneer moet zijn ogen ver van de kaart houden om deze te kunnen lezen. Hij kan oudziend zijn of verziend. Gezien zijn leeftijd zal hij wel oudziend zijn.
- b** Als meneer inderdaad verziend is, dan heeft hij dit probleem. Bij oudzienden kunnen de ogen niet voldoende accommoderen doordat de spiertjes rond de lens niet meer goed werken.
- 21 a** De lens is positief: de lichtstraal wordt omgebogen in de richting van de hoofdas. Bij een negatieve lens zou hij nog meer van de hoofdas afbuigen.
- b** Zie figuur 20. Teken de lichtstraal die door het midden van de lens gaat. Het snijpunt met de al gegeven straal is het beeldpunt L' .
- c** Zie figuur 20. Teken de constructiestraal die vanuit L evenwijdig aan de hoofdas loopt en achter de lens naar het beeldpunt L' . Waar deze lijn de hoofdas snijdt, daar ligt het brandpunt.



▲ figuur 20

Praktijk

Hoe werkt ... een camera?

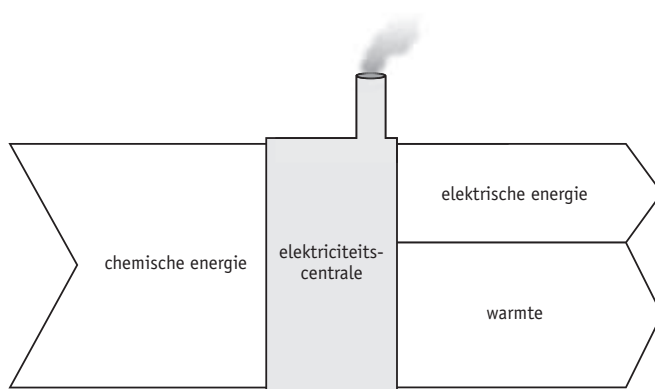
- Xaviers beeldscherm heeft $1280 \times 1024 = 1\,310\,720$ pixels. Dat zijn er afgerond 1,3 miljoen, dus duidelijk minder dan de ruim 5 miljoen pixels van zijn camera. Het beeldscherm kan de foto dus niet in zijn geheel scherp weergeven, daarvoor heeft het te weinig pixels.
- De resolutie wordt bepaald door het aantal pixels waaruit het beeld bestaat. Resolutie heeft dus niets met het aantal kleuren te maken. Dus de resolutie verandert niet.
- De camera stelt scherp door de contrastverschillen te bekijken in een horizontale rij pixels. Als het voorwerp veel horizontale lijnen heeft, is de kans groot dat een camera zo'n lijn neemt om naar de contrastverschillen te zoeken. Omdat die contrastverschillen er nauwelijks zijn in zo'n lijn, lukt het dus niet om scherp te stellen.

- 4 a Als je wilt zoomen, wil je dat het beeld groter wordt. Voor voorwerpen die ver weg staan, volgt uit de lenzenformule: $b = f$. Dus volgt voor de vergroting: $N = \frac{f}{v}$. Wil je een grotere N , dan moet je f groter maken.
- b Als het beeld groter wordt, dan past er minder op de beeldchip in de camera. Dus het gezichtsveld wordt kleiner.
- c Bij digitaal zoomen verandert de brandpuntsafstand niet. De computer in de camera bewerkt het beeld.
- 5 Voordeel 1: de foto neemt minder geheugenruimte in op de server waar je hem naar uploadt. Voordeel 2: de foto kan sneller (en tegen lagere energiekosten) verstuurd worden van de server naar de gebruiker.
- 6 a In de tekening zie je dat elke rode pixel vier groene burens heeft die er direct aan grenzen. Verder zijn alle vier de hoekpunten van een rode pixel verbonden met blauwe pixels. Elke rode pixel heeft totaal acht pixels om zich heen.
- b Je zou voor groen het gemiddelde kunnen berekenen van de vier aangrenzende groene pixels. Voor blauw kun je het gemiddelde berekenen van de vier blauwe pixels aan de hoekpunten.

4 Energie

1 Verwarmen

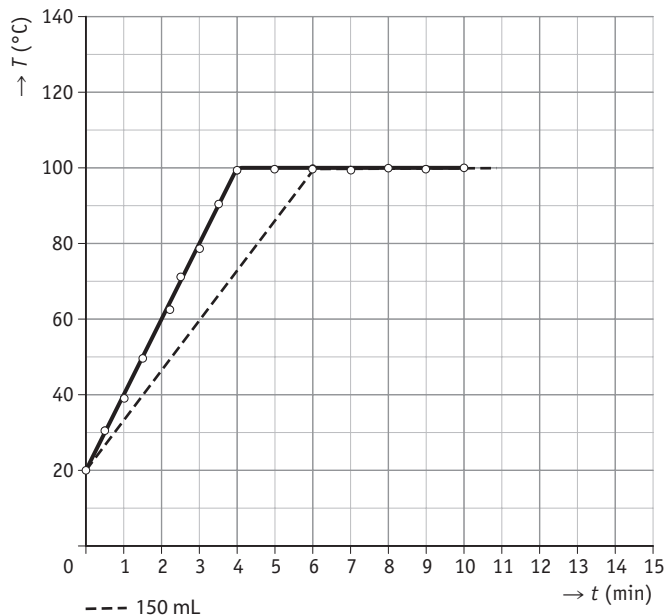
- 1
 - a Chemische energie wordt omgezet in warmte.
 - b Bij een omzetting van energie gaat er energie verloren. De breedte van de pijlen stelt het aantal joule voor, dus de totale breedte van de pijlen links en van de pijlen rechts moet gelijk zijn.
 - c Er is 4,18 J warmte nodig om 1 g water 1 °C in temperatuur te laten stijgen.
 - d Een energiesoort van hoge kwaliteit kun je voor meer toepassingen gebruiken dan een energiesoort van lage kwaliteit.
 - e Als de temperatuur daalt, bewegen de moleculen langzamer. Bij het absolute nulpunt zijn de moleculen tot stilstand gekomen. Verder afkoelen kan dus niet.
 - f $100\text{ °C} = 100 + 273 = 373\text{ K}$
- 2
 - a Door elektrische energie door een draad te laten lopen, wordt de draad warm. Het water dat zich rondom de draad bevindt, wordt zo ook verwarmd.
 - b De warmtemeter is goed geïsoleerd en afgesloten met een deksel.
 - c Je verdeelt de warmte door het water steeds te roeren.
- 3
 - a Zie figuur 1. Let op: de twee pijlen rechts zijn samen even breed als de pijl links. Verder moet de pijl 'warmte' 1,5× zo breed zijn als de pijl 'elektrische energie'.
 - b Zie figuur 1.



▲ figuur 1

- *4
 - a Bij een perpetuum mobile wordt er altijd energie omgezet. Bij die omzetting gaat de totale hoeveelheid kwaliteit van energie omlaag. Als je geen nieuwe energie van hoge kwaliteit toevoert, houd je uiteindelijk bij elke machine alleen warmte over.
 - b Nee. Verlies van kwaliteit van energie ontstaat bijvoorbeeld door wrijving (bij tandwielen en dergelijke). Die is er ook als er geen zwaartekracht is.

- 5 Zie figuur 2. Bij de tweede proef is er 1,5× zo veel water, dus het opwarmen tot het kookpunt (100 °C) duurt ook 1,5× zo lang: $1,5 \times 4 \text{ min} = 6 \text{ min}$.



▲ figuur 2

- 6 $P = \frac{E}{t}$ en dus: $t = \frac{E}{P} = \frac{5,04 \cdot 10^5}{15} = 33\,600 \text{ s} = \frac{33\,600}{3600} \text{ h} = 9,3 \text{ h}$
- 7 a $m = 150 \text{ g}$ (de dichtheid van water: $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$)
 $\Delta T = 35 - 10 = 25 \text{ °C}$
 $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \times 150 \times 25 = 1,6 \cdot 10^4 \text{ J} \text{ (16 kJ)}$
- b $t = 15 \text{ min} = 900 \text{ s}$
- $$P = \frac{E}{t} = \frac{1,6 \cdot 10^4}{900} = 18 \text{ W}$$
- c Niet alle warmte die de warmtemeter produceert, zal worden opgenomen door het water.
- 8 a Bijvoorbeeld: vloeistof B stijgt onder dezelfde omstandigheden minder in temperatuur dan vloeistof A. Dat betekent dat vloeistof B voor dezelfde temperatuurstijging méér warmte nodig heeft dan vloeistof A. Anders gezegd: vloeistof B heeft de grootste soortelijke warmte.
- b $E = P \cdot t = 12 \times (15 \times 60) = 1,1 \cdot 10^4 \text{ J} = 11 \text{ kJ}$
 Er is 11 kJ aan warmte gegenereerd door het verwarmingselement in 15 min. Deze energie heeft ervoor gezorgd dat het water steeg in temperatuur.
 $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
 $1,1 \cdot 10^4 = 4,18 \cdot 100 \cdot \Delta T$

$$\Delta T = \frac{1,1 \cdot 10^4}{418} = 26 \text{ °C}$$

 De echte temperatuurstijging is:
 – van vloeistof A: $65 - 15 = 50 \text{ °C}$
 – van vloeistof B: $40 - 15 = 25 \text{ °C}$
 Vloeistof B zou dus water kunnen zijn. (Het verschil tussen 26 °C (berekend) en 25 °C (gemeten) kan komen doordat er uit de warmtemeter toch een beetje warmte is weggelekt.)

9 a $m = 1,7 \cdot 10^3 \text{ g}$ (de dichtheid van water: $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$)

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \times 1,7 \cdot 10^3 \times 80 = 5,7 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$t = \frac{E}{P} = \frac{5,7 \cdot 10^5}{2200} = 2,6 \cdot 10^2 \text{ s (ongeveer 4 min en 20 s)}$$

- b Bij opgave 9a heb je berekend hoeveel energie er nodig is om het water te verwarmen. Het verwarmen zal langer duren doordat er ook nog warmte naar buiten weglekt.

*10 Voor het verwarmen van het water is nodig:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \times 1,5 \cdot 10^3 \times 80 = 501\,600 \text{ J}$$

Als 50% van de warmte verloren gaat, dan is voor elke joule die het water opneemt ook één joule verloren gegaan. Dus de brandstof heeft $2 \times 501\,600 = 1,003 \cdot 10^6 \text{ J} = 1003 \text{ kJ}$ geleverd.

$$\text{Dat komt overeen met } \frac{1003 \text{ kJ}}{46 \text{ kJ/g}} = 22 \text{ g brandstof.}$$

Plus Warmtecapaciteit

- 11 a massa = voorwerpseigenschap
 b dichtheid = stoffeigenschap
 c kleur = stoffeigenschap en voorwerpseigenschap
 d weerstand = voorwerpseigenschap
 e brekingsindex = stoffeigenschap
 f volume = voorwerpseigenschap

*12 a $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \times 800 \times (80 - 15) = 217\,360 = 2,2 \cdot 10^5 \text{ J}$

b $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 0,88 \times 14 \cdot 10^3 \times (80 - 15) = 800\,800 = 8,0 \cdot 10^5 \text{ J}$

c Totaal is er aan warmte toegevoerd (getallen van vraag a en b niet afgerond):
 $217\,360 + 800\,800 = 1,018 \cdot 10^6 \text{ J}$. Je kunt dan de warmtecapaciteit C uitrekenen met de formule:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{1,018 \cdot 10^6}{80 - 15} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ J/}^\circ\text{C} = 16 \text{ kJ/}^\circ\text{C}$$

2 Energiebronnen

- 13 a aardgas, aardolie en steenkool
 b Stralingsenergie van de zon wordt omgezet in warmte.
 c Windturbines zorgen voor horizonvervuiling en geluidsoverlast (en zijn gevaarlijk voor vogels).
 d Er is geen uitstoot van CO_2 (door verbranding).

14

energiebron	toegevoegde energiesoort	energie-omzetter	geleverde energiesoort
aardgas	chemische energie	cv-ketel	warmte
zonlicht	stralingsenergie	zonnecollector of zonnecel	warmte of elektrische energie
aardolie	chemische energie	elektriciteitscentrale	elektrische energie
aardwarmte	warmte	warmtewisselaar	warmte
wind(energie)	bewegingsenergie	windmolen	elektrische energie

- 15 a windenergie
b fossiele brandstoffen
c zonne-energie
d aardwarmte
- 16 a De mensen hoeven nu niet meer gebruik te maken van hout voor het koken. Hout is in veel delen van Afrika schaars. Op deze manier worden veel bomen gespaard.
b De bomen rondom een dorp zijn vaak al allemaal gekapt.
c Met een zonneoven kun je niet snel even iets koken. Je bent ook afhankelijk van de hoeveelheid zonnestraling die binnenvalt.
d Dubbel glas is warmte-isolerend: de warmte kan moeilijker uit de oven ontsnappen, zodat een hogere temperatuur bereikt kan worden.
- *17 a
$$\text{oppervlak} = \frac{\text{verbruik per jaar}}{\text{opbrengst per m}^2 \text{ per jaar}} = \frac{3500 \text{ kWh}}{80 \text{ kWh/m}^2} = 43,8 \text{ m}^2$$

b De totale oppervlakte van de zonnepanelen is: $2 \times 2\,360\,000 \text{ m} \times 4,0 \text{ m} = 1,89 \cdot 10^7 \text{ m}^2$. Dat levert per jaar $1,89 \cdot 10^7 \text{ m}^2 \times 80 \text{ kWh/m}^2 = 1,51 \cdot 10^9 \text{ kWh}$ op. Als je dat deelt door 3500 kWh, krijg je het aantal huishoudens dat hiermee bediend kan worden: 432 000. (Je kunt ook de totale oppervlakte van $1,89 \cdot 10^7 \text{ m}^2$ delen door het antwoord van vraag a.) Maar omdat je met vrij grove cijfers rekent, kun je beter zeggen: 0,43 miljoen huishoudens.
c – De kosten van de productie en de plaatsing van de panelen zijn zeer hoog.
– Het landschap wordt verpest.
– Het weerkaatsende zonlicht kan automobilisten verblinden.
– Door de uitstoot van de auto's worden de panelen snel vies.
- 18 a Olie wordt opgeslagen in grote olietanks of in overvloedige olietankers.
b De aardappelplant maakt aardappels die vol zetmeel zitten.
c Een beer eet zich vet om de winter door te komen.
- 19 a In het binnenland zorgen 'obstakels' zoals gebouwen, bossen en heuvels ervoor dat de wind minder hard kan waaien.
b De duinen zijn beschermd natuurgebied of recreatiegebied. Bovendien liggen ze vlak bij het strand, ook een belangrijk recreatiegebied. Deze gebieden worden te waardevol gevonden om daarin windmolens toe te laten.
c Voordelen:
– De windsnelheid op zee is nog hoger.
– Niemand heeft last van de turbines.
Nadeel: de kosten van het aanleggen en het onderhoud van een windmolen zijn op zee veel hoger dan op het land.
d Je zou met de energie water omhoog kunnen pompen naar een reservoir. Als het niet waait, kun je het reservoir leeg laten lopen langs turbines. Met dynamo's kun je dan weer elektrische energie opwekken.
- 20 a
$$\frac{800 \text{ MW}}{3,0 \text{ MW}} = 266,7 \text{ dus er zijn 267 molens nodig.}$$

b Als je 267 molens hebt, dan zijn er 266 tussenruimtes. Dus de afstand tussen twee molens is:
$$\frac{451 \text{ km}}{266} = 1,7 \text{ km.}$$

c Voordeel: windenergie is duurzame energie (raakt niet op, geen CO₂-uitstoot). Er zijn geen lange kabels nodig, zoals bij windenergie op zee. Nadeel: veel mensen die aan de kust wonen en recreëren, storen zich aan de molens.
- 21 Je docent zal je vertellen hoe deze opdracht beoordeeld wordt.

Plus Hoe 'groen' is biomassa?

- 22 a** Eerste generatie: hout, suikerriet, maïs, palmolie, koolzaadolie. Tweede generatie: geraffineerde biodiesel of alcohol, met een chemisch proces uit biomassa geproduceerde stoffen, gebruikt frituurvet, dierlijk vet.
- b** De gewassen die een rol spelen, zijn bomen (brandhout) en suikerriet.
- c** Bij biomassa moet je rekening houden met factoren die de energie (veel) minder duurzaam maken. Bij 'goede' biomassa zijn er geen of weinig van die factoren. Met 'foute' biomassa kan van alles mis zijn. Bijvoorbeeld:
- De verbouw van energiegewassen gaat ten koste van de voedselvoorziening.
 - De bodem is niet geschikt voor de teelt van energiegewassen en raakt uitgeput.
 - Om energiegewassen te kunnen verbouwen, worden waardevolle bossen gekapt.
 - De lokale economie wordt ontwricht door de grote vraag naar energiegewassen.
 - Het transport verloopt niet duurzaam.
- d** In algen zit olie. Die olie wordt uit gekweekte algen gewonnen.
- 23 a** $300\,000\,000 \times 7,5 = 2,25 \text{ miljard} = 2,25 \cdot 10^9 \text{ L}$
- b** $\frac{2,25 \cdot 10^9}{4,7 \cdot 10^3} = 4,8 \cdot 10^5 \text{ km}^2$ (de oppervlakte van Nederland is ongeveer $0,42 \cdot 10^5 \text{ km}^2$ en die van de USA ongeveer $9,6 \text{ miljoen km}^2$)

3

Isoleren

- 24 a** Het huis staat voortdurend warmte af aan de koudere buitenlucht. De verloren gegane warmte moet aangevuld worden om het huis op dezelfde temperatuur te houden.
- b** In huis is er, meestal in de woonkamer, een thermostaat aanwezig die is ingesteld op een gewenste temperatuur. Als het in de kamer kouder wordt dan de ingestelde temperatuur, zorgt de thermostaat ervoor dat de brander van de cv-installatie aanslaat. Het wordt dan warmer in de kamer en op een bepaald moment zal de thermostaat de brander weer uitzetten. Daarna koelt de kamer weer af en begint het proces opnieuw.
- c** Lucht geleidt de warmte extreem slecht. Anders gezegd: het is een heel goede warmte-isolator. Door lucht op te sluiten in luchtbelletjes zodat de lucht niet kan gaan stromen, creëer je een barrière die door de warmte moeilijk te passeren is.
- d** Bij een dynamisch evenwicht blijft een grootte, bijvoorbeeld temperatuur, op een bepaald niveau. Dat niveau kun je instellen door iets te veranderen, bijvoorbeeld de stand van de thermostaat. Er is dus evenwicht, maar het ligt niet vast op een bepaalde waarde. Het is dus dynamisch.
- Wat betreft het verwarmen van een huis, ontstaat het evenwicht als volgt. Bij een groter verschil tussen binnen- en buitentemperatuur wordt er ook meer warmte afgegeven aan de (koudere) buitenlucht. Op een gegeven moment is de hoeveelheid geproduceerde warmte in huis (gemiddeld) gelijk aan de warmte die het aan de buitenlucht afstaat: het wordt dan niet meer warmer in de kamer.
- 25**
- 1 het temperatuurverschil tussen binnen en buiten
 - 2 de oppervlakte van de muur
 - 3 de kwaliteit van de isolatie

- 26 a** cv-ketel = kraan; warmte = water; temperatuur = niveau van het water in de emmer; warmteverlies = waterstroom door het gat in de emmer
- b** Er zit vermoedelijk een doorzichtige plastic slang in de waterstraal waardoorheen water uit de emmer naar de kraan wordt gepompt. Er gaat dus evenveel water uit de emmer als er weer in valt. Stel je de pomp hoger in, dan stroomt er meer water in én uit de emmer: een dynamisch evenwicht.
- 27** De temperatuur van stuur en zadel is even groot. Metalen geleiden warmte goed. Als je je hand op een stuk metaal houdt, dan wordt de warmte van je huid snel afgevoerd door het metaal. Op de plek waar je hand het metaal raakt, is er dan weinig warmte en daarom voelt het metaal koud aan. Een zadel is van een materiaal dat warmte slecht geleidt en voelt daardoor warmer aan.
- 28** Sneeuw bevat veel (stilstaande) lucht en is daarom heel goed isolatiemateriaal. De sneeuw vormt een deken op het ijs waardoor er vrijwel geen warmte meer kan ontsnappen van het ijs (en het water daaronder) naar de lucht.
- 29 a** De energiebron is de zon.
- b** Zonnewarmte komt door straling in het huis en door de ramen.
- c** Als je in Nederland woont, bevindt de zon zich altijd in het zuiden. Dus de ramen moeten aan de zuidkant van het huis zitten.
- d** De noordkant van het huis is het koudst. Daar wil je zo min mogelijk warmteverlies hebben, dus moet je daar alleen kleine ramen (en niet zo veel) laten plaatsen.
- 30 a** Per m² bespaart Sebastiaan per jaar: $580 - 260 = 320$ MJ. Totaal bespaart hij dus: $320 \times 55 = 17\,600$ MJ per jaar.
- b** Per m² bespaart hij jaarlijks: $18 - 8 = 10$ m³ aardgas. Totaal bespaart hij dus: $10 \times 55 = 550$ m³ aardgas per jaar.
- c** Sebastiaan bespaart $550 \text{ m}^3 \times 0,65 \text{ €/m}^3 = \text{€ } 357,50$ per jaar. Dit is natuurlijk niet meer dan een indicatie. Een realistisch antwoord is: tussen de € 300,- en € 400,- per jaar.
- d** De kosten van de aanleg kunnen hoog oplopen, zodat het lang duurt voor deze besparing geld oplevert. Als het eenmaal zover is, dan kloppen die honderden euro's wel, zoals je bij vraag c hebt gezien.
- *31 a** Volgens figuur 29 in je leeropdrachtenboek is $U = 6$ voor enkel glas. Per jaar verdwijnt er dus de warmte van $10 \times 6 = 60$ m³ aardgas door 1 m² enkel glas. Door alle ramen verdwijnt er $60 \times 14 = 840$ m³ aardgas. Dit is een indicatie, geen exact getal.
- b** $U = 3$ voor dubbel glas (figuur 29). Hierdoor verdwijnt per m² elk jaar de warmte van $10 \times 3 = 30$ m³ aardgas. Voor alle ramen is dat $30 \times 14 = 420$ m³ aardgas. De besparing is dus $840 - 420 = 420$ m³.
- c** Het glas kostte $14 \text{ m}^2 \times 100,00 \text{ €/m}^2 = \text{€ } 1.400,-$. De besparing aan aardgas per jaar is: $420 \text{ m}^3 \times 0,65 \text{ €/m}^3 = \text{€ } 273,-$.
- $$\frac{1400}{273} = 5,1 \text{ jaar. Het terugverdienen duurt dus iets langer dan 5 jaar. (Ook dit is een indicatie.)}$$
- *32 a** Het verschil van U tussen enkel en dubbel glas is $6 - 3 = 3$ (opgave 31). De warmte die Susanne bespaart, is dus: $Q_w = U \cdot A \cdot \Delta T = 3 \times 14 \times (20 - -4) = 1008 \text{ W}$.
- b** In een periode van 16 uur zitten $16 \times 60 \times 60 = 57\,600$ s. De besparing is dus: $1008 \text{ W} \times 57\,600 \text{ s} = 58\,060\,800 \text{ J} = 58 \text{ MJ}$.
- c** Voor 58 MJ energie heb je $\frac{58}{32} = 1,8 \text{ m}^3$ aardgas nodig.

- d Volgens de vuistregel van figuur 29 in je leeropdrachtenboek bespaart Susanne per jaar 420 m³ aardgas (opgave 31b). Dat is $\frac{420}{365} = 1,2$ m³ gas per dag. Volgens het antwoord van vraag c bespaart ze zelfs meer, dus de vuistregel lijkt aan de voorzichtige kant.

Plus Energieneutraal wonen

- 33 a Bewoners kunnen bijvoorbeeld:
- lampen in huis uit doen als er geen licht nodig is;
 - de thermostaat lager zetten en een trui dragen;
 - zuiniger apparaten gebruiken (zoals ledlampen);
 - het huis beter isoleren.
- b Je kunt zonnepanelen en zonnecollectoren plaatsen op het huis. Je kunt ook aardwarmte halen uit de bodem onder het huis. Je kunt zelfs een kleine windmolen op het dak zetten. Echt in huis energie opwekken is moeilijk. Je zou zelf de energie voor een zaklamp kunnen opwekken door een zaklamp te kiezen met een dynamo. Maar dat zullen maar weinig mensen doen.
- c Vaak wordt er 's winters elektrische energie van buitenaf gebruikt, vooral 's avonds, en soms ook een beetje aardgas voor aanvullende verwarming. Meestal levert het huis daar 's zomers overdag elektrische energie voor terug, opgewekt met zonnepanelen.
- d Het bouwen van een energieneutraal huis is kostbaar en tijdrovend. De systemen zijn complex en werken niet altijd perfect.
- 34 a 1600 m³ gas komt overeen met $1600 \times 8,9 = 14\,240$ kWh energie. Samen met de elektrische energie wordt dit: $3500 + 14\,240 = 17\,740$ kWh ($18 \cdot 10^3$ kWh).
- b Als alle energie van vraag a door zonnepanelen geleverd zou moeten worden, dan kom je uit op een oppervlak van $\frac{17\,740}{90} = 197$ m².
- c Het oppervlak van vraag b is erg groot en zoveel zonnepanelen passen op vrijwel geen enkel huis. Wil men voor een energieneutraal huis alle energie opwekken met panelen, dan moet het totale gebruik omlaag zodat er minder panelen nodig zijn.

4 Rendement

- 35 a Het verschil in rendement tussen een gloeilamp en een spaarlamp, halogeenlamp of ledlamp is zo groot dat de gloeilamp uit de markt gehaald is. Voor dezelfde hoeveelheid elektrische energie leveren die andere lampen veel meer licht.
- b $\eta = \frac{E_{\text{nut}}}{E_{\text{tot}}} \cdot 100\%$ of $\eta = \frac{P_{\text{nut}}}{P_{\text{tot}}} \cdot 100\%$
- c Met de verbrandingswarmte van een brandstof geef je aan hoeveel warmte er vrijkomt bij het verbranden van een bepaalde massa / bepaald volume van die stof.
- 36 1 Kies voor energie uit duurzame bronnen. Voorbeeld: zonnepanelen.
 2 Kies zuinige apparaten met een hoog rendement. Voorbeeld: vervang de oude koelkast door een koelkast met een A++ label.
 3 Laat apparaten niet langer aan staan dan nodig is. Voorbeeld: zet de verwarming in je kamer lager als je naar school gaat.

$$37 \text{ tl-buis: } \eta = \frac{E_{\text{nut}}}{E_{\text{tot}}} \cdot 100\% = \frac{8}{40} \times 100\% = 20\%$$

$$\text{geiser: } \eta = \frac{E_{\text{nut}}}{E_{\text{tot}}} \cdot 100\% = \frac{5,9}{8,0} \times 100\% = 74\%$$

$$\text{elektriciteitscentrale: } \eta = \frac{E_{\text{nut}}}{E_{\text{tot}}} \cdot 100\% = \frac{230}{600} \times 100\% = 38\%$$

$$38 \text{ a } 75\% \text{ van } 32 \text{ MJ} = 0,75 \times 32 = 24 \text{ MJ}$$

$$\text{b } 90\% \text{ van } 32 \text{ MJ} = 0,90 \times 32 = 29 \text{ MJ}$$

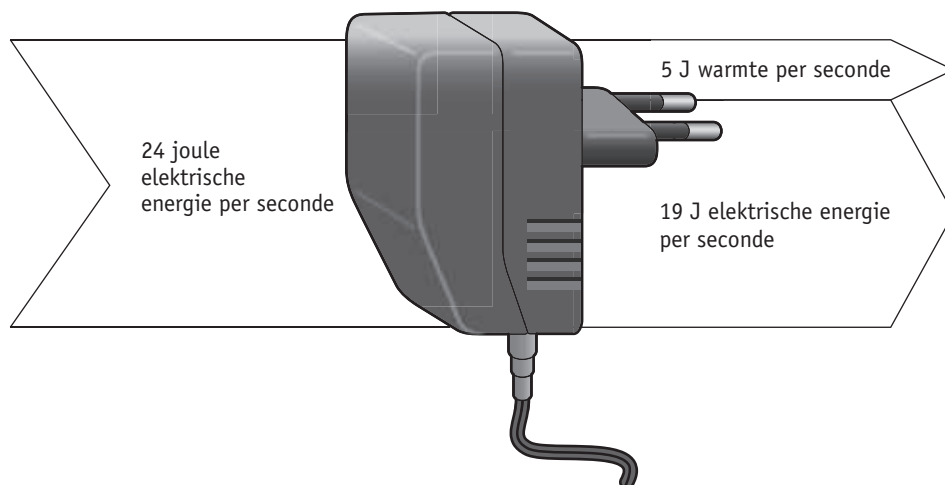
$$*39 \text{ a } \eta = \frac{P_{\text{nut}}}{P_{\text{tot}}} \cdot 100\% = \frac{19}{24} \times 100\% = 79\%$$

b Die wordt omgezet in warmte.

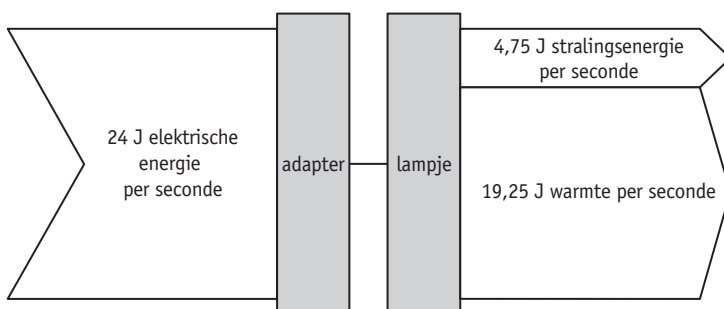
c Zie figuur 3.

d Van de 19 J die per seconde uit de adapter komt, wordt 25% nuttig gebruikt door het lampje. Dat is: $0,25 \times 19 = 4,75 \text{ J}$. De rest wordt door het lampje in warmte omgezet. Zie figuur 4.

$$\text{e } \eta = \frac{P_{\text{nut}}}{P_{\text{tot}}} \cdot 100\% = \frac{4,75}{19} \times 100\% = 25\%$$



▲ figuur 3



▲ figuur 4

40 a De verbrandingswarmte van aardgas is 32 MJ/m^3 . Er is dus $0,30 \text{ m}^3 \times 32 \text{ MJ/m}^3 = 9,6 \text{ MJ}$ vrijgekomen in die 10 min.

b $\Delta T = 85 - 15 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$

$m = 2,8 \cdot 10^4 \text{ g}$ (de dichtheid van water: $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$)

$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \times 2,8 \cdot 10^4 \times 70 = 8,2 \cdot 10^6 \text{ J}$ (8,2 MJ)

c $\eta = \frac{E_{\text{nut}}}{E_{\text{tot}}} \cdot 100\% = \frac{8,2}{9,6} \times 100\% = 85\%$

41 a 1 De zonnestrallen staan vrijwel nooit loodrecht op het zonnepaneel.

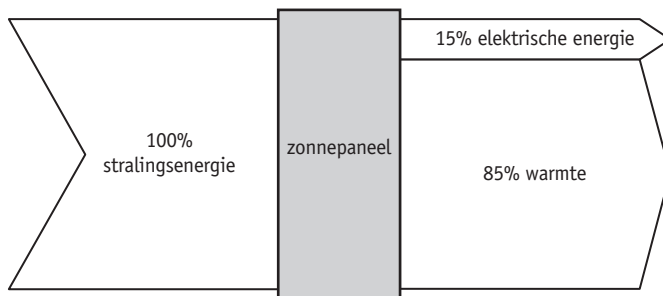
2 Regelmatig zijn er wolken die de hoeveelheid zonnestraling verminderen.

b Zie figuur 5.

c Onder ideale omstandigheden valt er volgens de tekst 1000 W stralingsenergie van de zon op een m^2 paneel. Voor een paneel van $8,0 \text{ m}^2$ is dit dus $8,0 \times 1000 = 8000 \text{ W}$. Daarvan wordt 15% omgezet in elektrische energie, dus het elektrisch vermogen is: $0,15 \times 8000 = 1200 \text{ W} = 1,2 \text{ kW}$.

d Het paneel van vraag c levert bij maximale zonnestraling 1,2 kW. Een paneel van $8,0 \text{ m}^2$ levert volgens de vuistregel $95 \times 8,0 = 760 \text{ kWh}$. De tijd die de zon er maximaal op moet schijnen, bereken je met:

$$t = \frac{E}{P} = \frac{760 \text{ kWh}}{1,2 \text{ kW}} = 633 \text{ h}$$



▲ figuur 5

42 a 1 E_{tot} berekenen:

$$t = 8,5 \cdot 60 = 510 \text{ s}$$

$$E_{\text{tot}} = P \cdot t = 80 \times 510 = 40\,800 \text{ J}$$

2 E_{nut} berekenen:

$$\Delta T = 37 - 7 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E_{\text{nut}} = Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \times 200 \times 30 = 25\,080 \text{ J}$$

3 η berekenen:

$$\eta = \frac{E_{\text{nut}}}{E_{\text{tot}}} \cdot 100\% = \frac{25\,080}{40\,800} \times 100\% = 61\%$$

- b – Om de fles gelijkmatig te verwarmen, wordt er een laag water om de fles verwarmd: dit kost extra energie.
– De flessenwarmer is niet optimaal geïsoleerd en heeft geen deksel, waardoor er relatief veel warmte ontsnapt.

43 a Het rendement van een gasgestookte wasdroger is hoger dan dat van een elektrische wasdroger. Daardoor zijn de energiekosten lager (argument 1) en wordt het milieu minder belast (argument 2).

b Bij het opwekken en transporteren van elektriciteit gaat veel energie verloren.

c De was buiten aan een waslijn hangen.

Plus Warmtekrachtkoppeling

- 44 a** Als de buizen niet goed geïsoleerd zijn, gaat er tijdens het transport van de warmte naar de huizen veel warmte verloren (verdwijnt naar de omgeving van de buizen).
- b** Deze huizen hebben geen gasgestookte ketel, want zij krijgen hun warmte via de buizen van de stadsverwarming. Er liggen daarom ook geen gasleidingen naar deze huizen en je hebt dus ook geen gas om mee te koken.
- c** In de zomer worden de huizen niet verwarmd en kan de centrale zijn afvalwarmte daar dus niet afvoeren. Daar is dan een ander systeem nodig om de afvalwarmte af te voeren.
- 45 a** $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$. Het jaarlijkse gebruik aan elektrische energie is dus $3500 \times 3,6 = 12\,600 \text{ MJ}$. De verbranding van gas levert 32 MJ per m^3 , dus per jaar is dat $1600 \times 32 = 51\,200 \text{ MJ}$. Totaal is dat: $12\,600 + 51\,200 = 63\,800 \text{ MJ}$.
- b** Voor de elektrische energie zijn de kosten: $3500 \times 0,22 = \text{€ } 770,-$. Voor het gas moet betaald worden: $1600 \times 0,65 = \text{€ } 1.040,-$. Totaal is dat: $\text{€ } 1.810,-$.
- c** Als je rekent op dezelfde manier als bij vraag a en b, dan vind je voor het totale gebruik $58\,360 \text{ MJ}$ en voor de totale kosten $\text{€ } 1.347,-$.
- d** Het energiegebruik neemt af met $63\,800 - 58\,360 = 5\,440 \text{ MJ}$. In procenten is die daling: $\frac{5440}{63\,800} \times 100\% = 8,5\%$.

Test Jezelf

- 1 a** chemische energie $\rightarrow$ warmte
b elektrische energie $\rightarrow$ warmte
- 2 a** kwaliteit
b sneller
c soortelijke warmte
d joule (J); kilowattuur (kWh)
e graad Celsius ($^{\circ}\text{C}$); kelvin (K)
- 3 a** 144 kJ
b 111 s
- 4 c**
- 5 a** warmte
b chemische energie
c bewegingsenergie
d stralingsenergie
- 6 d**
- 7 a** waar
b onwaar
c onwaar
d waar
e waar
- 8** grafiek C
- 9** -196°C

10 De onderdelen van een huis die weinig warmte doorlaten, hebben aan de buitenkant een lage temperatuur en zenden verhoudingsgewijs weinig straling uit. Plaatsen waar veel warmte weglekt, hebben juist een opvallend hoge temperatuur. Ramen hebben een hogere temperatuur dan muren en ramen met dubbel glas een lagere temperatuur dan ramen met enkel glas.

11 Uit de grafiek valt af te lezen dat ze per m^2 muur per jaar $11,9 \text{ m}^3$ aardgas bespaart. In totaal bespaart ze dus $62 \times 11,9 = 738 \text{ m}^3$.

- 12** a stralingsenergie
 b elektrische energie
 c warmte (eventueel erbij: gereflecteerde stralingsenergie)

13 spanningsmeter, stroommeter

14 80 kJ

15 $E_{\text{nut}} = 15 \text{ kJ}$
 $E_{\text{tot}} = 18 \text{ kJ}$

$$\eta = \frac{E_{\text{nut}}}{E_{\text{tot}}} \cdot 100\% = \frac{15}{18} \times 100\% = 83\%$$

16 Lamp A heeft een nuttig vermogen $P_{\text{nut}} = 20\%$ van $12 \text{ W} = 2,4 \text{ W}$.
 Lamp B heeft ook een nuttig vermogen $P_{\text{nut}} = 2,4 \text{ W}$, want de twee lampen geven evenveel licht.

Voor lamp B geldt dus: 25% van $X \text{ W} = 2,4 \text{ W}$.

Dus is 100% van $X \text{ W} = 4 \times 2,4 \text{ W} = 9,6 \text{ W}$.

Dus $X = 9,6$.

17 $t = 10 \times 60 = 600 \text{ s}$

$$E = P \cdot t = 70 \times 600 = 4,2 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T, \text{ dus } 4,2 \cdot 10^4 = 4,18 \cdot 200 \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{4,2 \cdot 10^4}{836} = 50^\circ \text{ C}$$

De eindtemperatuur van het water is $15 + 50 = 65^\circ \text{ C}$.

18 a De formule waarin U voorkomt, luidt: $Q_w = U \cdot A \cdot \Delta T$.
 Daaruit volgt:

$$U = \frac{Q_w}{A \cdot \Delta T}$$

Als je de grootheden hierin vervangt door hun eenheden, dan vind je dat de eenheid voor U gelijk is aan de opgegeven eenheid.

$$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

- b** Hopelijk heeft jouw school inmiddels dubbel glas; dan is $U = 3,5$.
 De temperatuur in de klas zal ongeveer 20° C zijn, dus $\Delta T = 22^\circ \text{ C}$.
 De oppervlakte van de ramen kun je berekenen door van alle ramen de hoogte en de breedte te schatten. Stel dat je dan uitkomt op 20 m^2 . Dan is de uitstroom van warmte per seconde:
 $Q_w = U \cdot A \cdot \Delta T = 3,5 \times 20 \times 22 = 1540 \text{ J} = 1,5 \text{ kJ}$. (Jouw antwoord kan hier nog van afwijken vanwege de variatie in A .)

- 19 a** stralingsenergie naar warmte (eventueel als extra antwoord: bewegingsenergie naar elektrische energie, voor de generatoren)
- b** – In de woestijn is de hemel bijna altijd helder en komt de straling van de zon overdag dus ongehinderd bij de spiegels.
– Woestijnen liggen (vrij) dicht bij de evenaar en de zon staat daar dus hoger aan de hemel.
- c** – Een woestijn ligt meestal ver van de gebieden waar de elektrische energie nodig is. Tijdens het transport van de elektriciteit naar dichtbevolkte gebieden gaat een deel van de energie verloren.
– Er kan veel stof en zand op de panelen komen waardoor de opbrengst daalt.

- 20** Eerst E_{tot} berekenen:

$$\text{volume gas: } 02345,651 - 02345,620 = 0,031 \text{ m}^3$$

$$E_{\text{tot}} = \text{volume gas} \times \text{verbrandingswarmte} = 0,031 \times 3,2 \cdot 10^7 = 9,92 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Dan E_{nut} berekenen:

$$\Delta T = 100 - 15 = 85 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m = 1,2 \cdot 10^3 \text{ g (de dichtheid van water is } 1,0 \text{ g/cm}^3\text{)}$$

$$E_{\text{nut}} = Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \times 1,2 \cdot 10^3 \times 85 = 4,26 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Dan η berekenen:

$$\eta = \frac{E_{\text{nut}}}{E_{\text{tot}}} \cdot 100\% = \frac{4,26 \cdot 10^5}{9,92 \cdot 10^5} \times 100\% = 43\%$$

- 21 a** $P = 408 \times 60 = 24\,480 \text{ W} = 24,48 \text{ kW}$

$$t = 1 \text{ dag} = 24 \text{ h}$$

$$E = P \cdot t = 24,48 \times 24 = 588 \text{ kWh}$$

- b** verbruik per dag = $\frac{\text{jaarverbruik}}{\text{aantal dagen in het jaar}}$

$$\text{verbruik per dag} = \frac{3500}{365} = 9,59 \text{ kWh}$$

$$\text{aantal huishoudens} = \frac{588}{9,59} = 61 \text{ huishoudens}$$

- c** Eerst E_{tot} berekenen (in één uur):

$$E_{\text{tot}} = \text{massa briketten} \times \text{verbrandingswarmte} = 80 \text{ kg} \times 16 \text{ MJ/kg} = 1280 \text{ MJ}$$

Dan E_{nut} berekenen (in 1 h = 3600 s):

$$E_{\text{nut}} = P \cdot t = 24\,480 \times 3600 = 8,813 \cdot 10^7 \text{ J} = 88,13 \text{ MJ}$$

Dan het rendement berekenen:

$$\eta = \frac{E_{\text{nut}}}{E_{\text{tot}}} \cdot 100\% = \frac{88,13}{1280} \times 100\% = 6,9\%$$

Praktijk

Sport en voeding

- 1
 - a Knäckebröd past goed in de voeding van een duursporter, omdat het voor zo'n 65% uit koolhydraten bestaat.
 - b 100 g knäckebröd bevat:
 - 10,0 g eiwit en dat levert: $10,0 \times 16,8 \text{ kJ} = 168 \text{ kJ}$
 - 64,6 g koolhydraten en dat levert: $64,6 \times 16,8 \text{ kJ} = 1085 \text{ kJ}$
 - 1,5 g vetten en dat levert: $1,5 \times 37,8 \text{ kJ} = 57 \text{ kJ}$
 Totaal: 1310 kJ
 - c Het etiket geeft een voedingswaarde van 1320 kJ, iets meer dan 1310 kJ. Dat is een te verwaarlozen afwijking.

- 2
 - a In de figuur op bladzijde 182 (linksonder) vind je de energie-inhoud van de drie maaltijden van een renner. In totaal is dat: $6,3 + 12,2 + 10,5 = 29 \text{ MJ}$. Dat komt overeen met het getal dat op bladzijde 182 in de eerste kolom wordt genoemd.
 - b Als iemand zittend werk doet, dan heeft hij per dag 10 MJ energie nodig. Je zou kunnen zeggen dat een renner als hij niet fietst ook deze hoeveelheid energie nodig heeft. Dan houdt hij over voor het fietsen: $29 - 10 = 19 \text{ MJ}$.

- 3 0,6 kg = 600 g, dus de totale hoeveelheid energie die uit de glycogeenvoorraad kan komen is: $600 \times 15,4 = 9240 \text{ kJ} = 9,24 \text{ MJ}$. De renner heeft voor een normale etappe 29 MJ nodig, dus het glycogeen kan $\frac{9,24}{29} \times 100\% = 32\%$ leveren.

- 4
 - a In het peloton wordt een wielrenner 'uit de wind gehouden' door de renners die vooraan rijden. Daardoor ontwikkelt een renner in het peloton (met hetzelfde vermogen) een hogere snelheid dan een renner die in zijn eentje rijdt. Als de renners elkaar regelmatig afwisselen aan de kop, kunnen ze om de beurt profiteren van de gunstige omstandigheden in het peloton. Een wielrenner die in zijn eentje vooruit fietst, mist dat voordeel en zijn vermogen is niet genoeg om alleen te blijven rijden.
 - b Tijdens een bergetappe speelt de wind bergopwaarts geen rol van betekenis. Een renner kan er dan niet van profiteren dat anderen hem 'uit de wind houden'. Bergafwaarts is het levensgevaarlijk om dicht op elkaar te rijden, dus ook dan speelt het afschermeffect geen rol van betekenis. Het gecombineerde effect is dat in de bergen de individuele klasse bij klimmen én dalen de doorslag geeft.

$$\begin{aligned}
 5 \quad E_{\text{tot}} &= 1425 \text{ kcal} = 5,957 \cdot 10^6 \text{ J} \quad (1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}) \\
 P &= 385 \text{ W} \\
 t &= 3600 \text{ s} \text{ (exact één uur)} \\
 E_{\text{nut}} &= P \cdot t = 385 \times 3600 = 1,386 \cdot 10^6 \text{ J} \\
 \eta &= \frac{E_{\text{nut}}}{E_{\text{tot}}} \cdot 100\% = \frac{1,386}{5,957} \times 100\% = 23\%
 \end{aligned}$$

5 Kracht en beweging

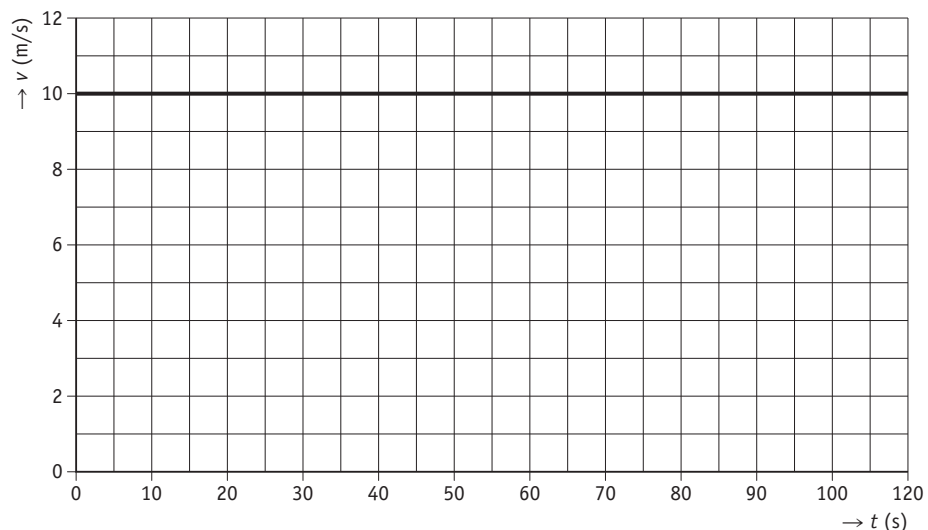
1 Beweging in diagrammen

- 1 a – Een beweging waarbij de snelheid gelijkmatig groter wordt, noem je een eenparig versnelde beweging.
– Een beweging waarbij de snelheid steeds even groot blijft, noem je een eenparige beweging.
- b De versnelling van een voorwerp kun je berekenen met de formule $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.
- c Als de versnelling van een voorwerp $3,0 \text{ m/s}^2$ is, neemt de snelheid van dat voorwerp elke seconde met $3,0 \text{ m/s}$ toe.
- d De afgelegde afstand kun je in het (v,t) -diagram vinden door de oppervlakte onder de grafiek te bepalen.

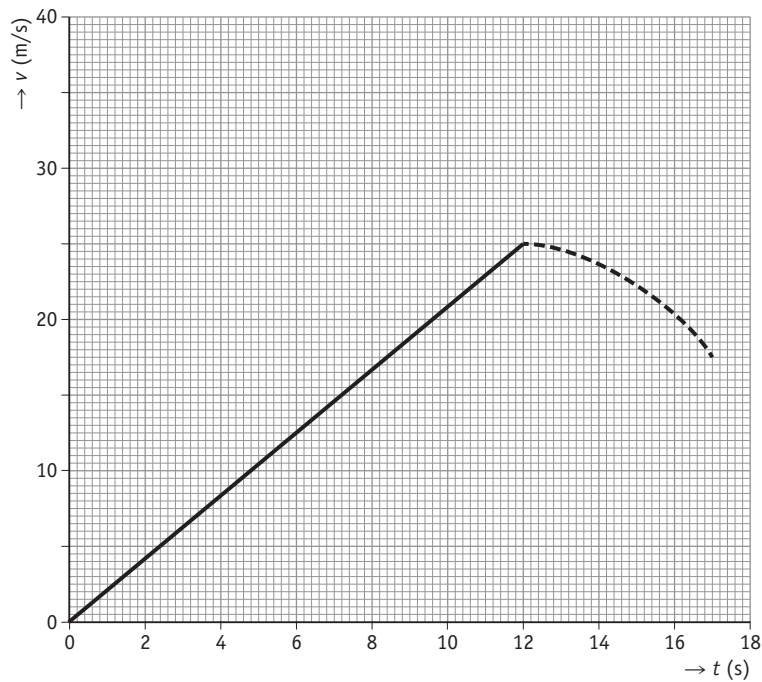
- 2

grootheid	symbool	eenheid	symbool
afstand	s	meter	m
tijd	t	seconde	s
snelheid	v	meter per seconde	m/s
versnelling	a	meter per seconde kwadraat	m/s^2

- 3 a Zie figuur 1.
 $36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$ en drie rondjes duren $3 \times 40 = 120 \text{ s}$.
- b Zie figuur 2.
 $90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$ en na 12 s zal de skispringer heel even die snelheid aanhouden.
- c Zie de stippellijn in figuur 2. Door de luchtweerstand en het stijgen in de lucht zal de snelheid van de skispringer afnemen, maar het is lastig te zeggen of dat eenparig zal zijn omdat de luchtweerstand steeds kleiner wordt en omdat het stijgen op een bepaald moment dalen wordt.



► figuur 1



▲ figuur 2

4 a $\Delta v = 8 - 0 = 8 \text{ m/s}$

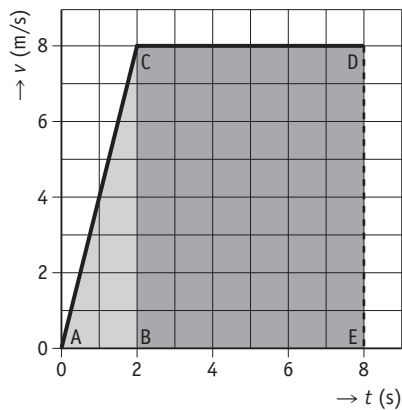
$\Delta t = 2 \text{ s}$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{8}{2} = 4 \text{ m/s}^2$$

b De afgelegde afstand is gelijk aan de oppervlakte onder het (v,t) -diagram (figuur 3):

$s = \text{oppervlakte driehoek ABC} + \text{oppervlakte rechthoek BCDE}$

$$= \frac{1}{2} \times 8 \times 2 + 8 \times (8 - 2) = 8 + 48 = 56 \text{ m}$$



▲ figuur 3

5 a Eerst reken je de beginsnelheid en eindsnelheid om naar de eenheid m/s:

$$v_b = 63 \text{ km/h} = 17,5 \text{ m/s}$$

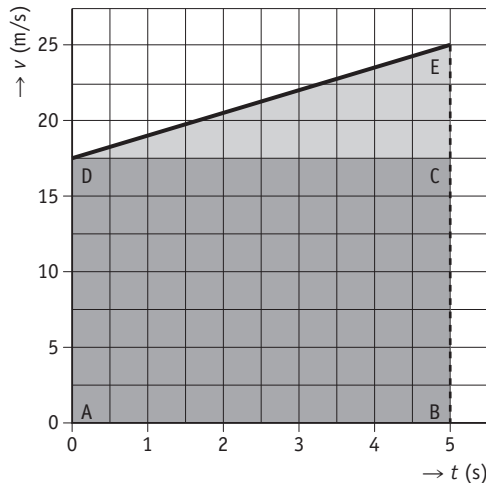
$$v_e = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$$

$$\Delta v = v_e - v_b = 25 - 17,5 = 7,5 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 5,0 \text{ s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{7,5}{5,0} = 1,5 \text{ m/s}^2$$

- b Figuur 4 is een schets van het (v,t) -diagram van de auto.
De afgelegde afstand is gelijk aan de oppervlakte onder het (v,t) -diagram:
 $s = \text{oppervlakte rechthoek ABCD} + \text{oppervlakte driehoek DCE}$
 $= 17,5 \times 5 + \frac{1}{2} \times (25 - 17,5) \times 5 = 87,5 + 18,75 = 106,25 \text{ m (of beter: } 106,3 \text{ m).}$
- c De versnelling is $1,5 \text{ m/s}^2$. Dus elke seconde wordt de snelheid $1,5 \text{ m/s}$ groter. Na $6,0 \text{ s}$ is de toename $6,0 \times 1,5 = 9,0 \text{ m/s}$. De eindsnelheid is dan dus $17,5 + 9,0 = 26,5 \text{ m/s}$.



▲ figuur 4

- *6 De gemiddelde snelheid gedurende de $5,0 \text{ s}$ is: $\frac{10 + 15}{2} = 12,5 \text{ m/s}$. Volgens de formule is

dan $s = v_{\text{gem}} \cdot t = 12,5 \times 5,0 = 62,5 \text{ m}$. Dat is inderdaad hetzelfde antwoord.

- 7 a De topsnelheid van het jachtluipaard in km/h is $27 \times 3,6 = 97,2 \text{ km/h}$ (beter: 97 km/h).
b Het aantal stappen bereken je door te kijken hoe vaak de snelheidsverandering van 3 m/s

‘past’ in de gegeven eindsnelheid (27 m/s). Het aantal stappen is dus $\frac{27}{3} = 9$ stappen.

- c Elke stap duurt $0,45 \text{ s}$ en het jachtluipaard heeft 9 stappen nodig om de topsnelheid te

bereiken. De tijd waarin de topsnelheid bereikt wordt, is dus: $\frac{27}{3}$

$$\Delta t = 9 \times 0,45 = 4,05 \text{ s}$$

$$v_b = 0 \text{ m/s}$$

$$v_e = 27 \text{ m/s}$$

$$\Delta v = v_e - v_b = 27 - 0 = 27 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{27}{4,05} = 6,7 \text{ m/s}^2$$

- 8 a Na het horen van het startschot duurt het heel even voor de hersenen van de sprinter deze ‘informatie’ verwerkt hebben en een seintje hebben gegeven naar de spieren van de benen van de sprinter. In die korte tijd staat de sprinter nog stil.

- b De gemiddelde snelheid bereken je met $v_{\text{gem}} = \frac{s}{t}$, waarin s de afgelegde afstand is en t de tijd.

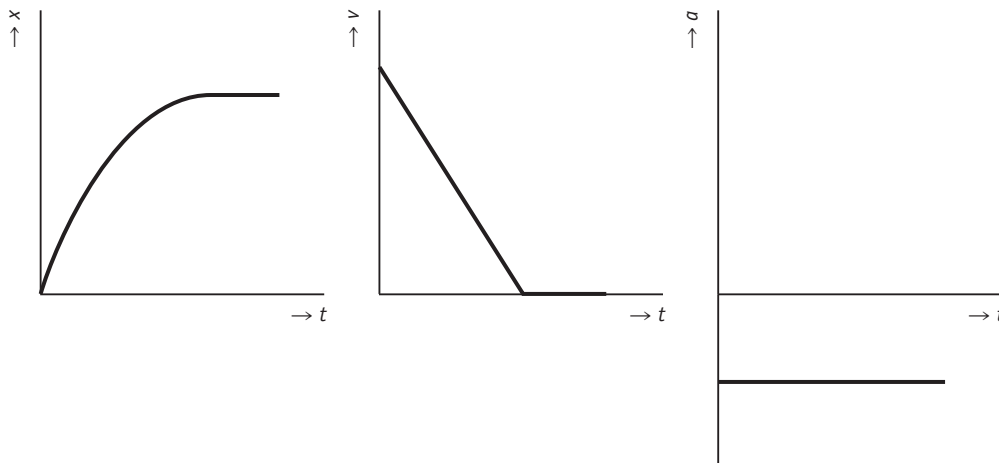
In de grafiek is langs de horizontale as te zien dat de beweging in deel B even lang duurt als in deel C. De tijdsduur t is dus voor beide bewegingen gelijk. Verder is langs de verticale as te zien dat de sprinter in deel B meer afstand aflegt dan in deel C. De afgelegde afstand s is voor deel B van de beweging dus groter. Uit de formule voor de gemiddelde snelheid volgt dan dat de gemiddelde snelheid voor deel B ook groter is.

- c $\Delta v = a \cdot \Delta t = 4,0 \times 2,0 = 8,0 \text{ m/s}$

De beginsnelheid van de sprinter was 0 m/s , dus de eindsnelheid is ook $8,0 \text{ m/s}$.

- 9 Diagram A: de verplaatsing gaat steeds sneller, dus de snelheid neemt toe, dus hier kan alleen diagram 3 bij horen.
 Diagram B: de verplaatsing gaat steeds minder snel, dus de snelheid neemt af, dus hier kan alleen diagram 2 bij horen.
 Diagram C: de verplaatsing is gelijkmatig in de tijd, dus de snelheid is constant, dus hier hoort diagram 1 bij.
 Diagram D: er is geen verplaatsing, dus de snelheid is nul, dus hier hoort diagram 4 bij.

*10 Zie figuur 5.



▲ figuur 5

- *11 a Je ziet dat de snelheid van de bal eerst afneemt en dan heel kort nul is; dat is het punt waarop de bal op het bovenste punt is. Daarna valt hij naar beneden. Een negatieve snelheid betekent dus dat de beweging naar beneden is.
 b Tussen 0 en 2,0 s gaat de bal omhoog en als je de oppervlakte onder de grafiek bepaalt, weet je hoeveel meter de bal omhoog heeft afgelegd en weet je dus de maximale hoogte. De oppervlakte van gebied A in figuur 9 in je leeropdrachtenboek is: $\frac{1}{2} \times 2,0 \times 3,0 = 3,0$ m.
 c De bal gaat 3,0 m omhoog en komt dan weer omlaag tot hij weer in de hand van de astronaut is. Hij moet dus ook weer 3,0 m naar beneden zijn gekomen en dus moet de oppervlakte van gebied B even groot zijn als die van gebied A.

Plus Niet-eenparige versnelling

- 12 In figuur 1 in je leeropdrachtenboek is er een abrupte overgang van de versnelde beweging naar de eenparige beweging (bij $t = 4,0$ s). In werkelijkheid zal een automobilist geen constante versnelling kunnen realiseren en zal hij vlak voor hij met een constante snelheid gaat rijden het gaspedaal iets minder indrukken zodat de versnelling iets afneemt.
- 13 a In de eerste periode, waarin de grafiek een rechte lijn is, reed de auto eenparig versneld. In de periode daarna nam de snelheid nog wel toe maar steeds minder; er was daarin dus een niet-eenparige versnelling. In de derde periode, vanaf het moment dat snelheid afneemt, was er een vertraging maar ook deze was niet eenparig.
 b In het begin was de snelheid van de auto nog laag en dus de luchtweerstand nog laag. Het was daardoor nog mogelijk een constante voortstuwende kracht te hebben op de auto en daardoor een constante versnelling.
 c Je kunt hier de methode van figuur 4 in je leeropdrachtenboek toepassen: trek een horizontale lijn zodanig dat de oppervlakten boven en onder die lijn even groot zijn. Als je die lijn bij 80 m/s legt, is dat te laag. Als je de lijn bij 100 m/s legt, is dat te hoog. De lijn zal bij ongeveer 98 m/s liggen, dus dat is de gemiddelde snelheid.
 d $s = v_{\text{gem}} \cdot t = 98 \times 90 = 8820 \text{ m} = 8,8 \text{ km}$
 e De versnelling is het grootst daar waar de grafiek het steilst omhoogloopt. Dat is dus in de eerste 25 s (ongeveer). Daarna wordt de grafiek alleen maar minder steil.

2 Voortstuwen en tegenwerken

- 14 a** De luchtwrijving ontstaat doordat je de lucht voor je steeds opzij moet duwen. De rolwrijving ontstaat doordat de banden en de ondergrond vervormen tijdens het rijden.
- b** Je kunt de luchtwrijving verminderen door voorovergebogen op je fiets te zitten. Zo verbeter je je stroomlijn.
- c** Als de banden van haar fiets hard opgepompt zijn, heeft ze veel minder last van rolwrijving doordat de banden minder vervormen tijdens het rijden.
- 15 a** Als de resultante in de bewegingsrichting werkt, neemt de snelheid van het voorwerp toe; het voorwerp beweegt versneld.
- b** Als de resultante gelijk is aan 0 N, verandert de beweging van het voorwerp niet. Als het stilstaat, dan blijft het stilstaan en als het beweegt, dan blijft het met dezelfde snelheid bewegen (eenparige beweging).
- c** Als de resultante tegen de bewegingsrichting in werkt, dan neemt de snelheid van het voorwerp af. Het voorwerp beweegt vertraagd (remt af).
- d** Als de resultante loodrecht op de bewegingsrichting staat, dan verandert alleen de bewegingsrichting van het voorwerp; de snelheid van het voorwerp blijft constant.
- 16 a** Een toerfietser zit rechtop op zijn fiets en een wielrenner zit voorovergebogen. Ook de kleding van de wielrenner (glad, strak om het lichaam) zorgt voor een vermindering van de luchtweerstand.
- b** Een vrachtauto is hoger en breder dan een personenauto, dus het frontale oppervlak is groter. Verder is een vrachtauto vaak minder gestroomlijnd en dus is de C_w -waarde groter.
- c** Zoals je in de formule voor luchtweerstand kunt zien, hangt deze niet alleen van de stroomlijning af. Een kleinere C_w -waarde bij een personenauto kan tenietgedaan worden door een groot frontaal oppervlak A .
- 17 a** De simpelste manier om een redelijke schatting te maken, is je lengte te vermenigvuldigen met een schatting van je breedte. Dan kom je bijvoorbeeld uit op $1,60 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} = 0,64 \text{ m}^2$.
- b** $36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$
- c** De waarde voor de C_w -waarde haal je uit tabel 2 in je leeropdrachtenboek:
 $F_{w,l} = \frac{1}{2} \cdot C_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 = 0,5 \times 0,9 \times 0,64 \times 0,9 \times 10^2 = 26 \text{ N}$ (een nauwkeuriger antwoord is niet verantwoord, want de waarde van A is niet nauwkeurig).
- 18 a** De resulterende kracht is 0 N, want de kist staat stil. De (achterwaartse) wrijvingskracht is dus gelijk aan de (voorwaartse) duwkracht. De wrijvingskracht is dus 600 N.
- b** De wrijvingskracht is dan 0 N, want de duwkracht is 0 N en de kist staat nog steeds stil.
- c** De resulterende kracht is weer 0 N, want de kist beweegt met constante snelheid. De (achterwaartse) wrijvingskracht is dus weer gelijk aan de (voorwaartse) duwkracht. De wrijvingskracht is nu dus 900 N.
- 19 a** De namen van de krachten zijn:
- F_A = motorkracht (of voorwaartse kracht)
 - F_B = wrijvingskracht (of tegenwerkende kracht)
 - F_C = zwaartekracht
 - F_D = normaalkracht
- b** F_B is gelijk aan 0 N als het busje stilstaat. De luchtweerstand en de rolweerstand op het busje zijn immers 0 N als de snelheid van het busje 0 m/s is.
- c** Bekijk eerst de drie mogelijkheden voor de krachten:
- Als $F_A > F_B$ is de motorkracht groter dan de wrijvingskracht. De resulterende kracht werkt dus in dezelfde richting als de bewegingsrichting van het busje. Het busje zal dus versnellen.

- Als $F_A = F_B$ is de motorkracht even groot als de wrijvingskracht. De resulterende kracht is dan 0 N. De snelheid van het busje zal dus niet veranderen (het busje rijdt met constante snelheid verder).
- Als $F_A < F_B$ is de motorkracht kleiner dan de wrijvingskracht. De resulterende kracht werkt nu tegen de bewegingsrichting van het busje in. Het busje zal in dit geval vertragen.

Bekijk nu de drie trajecten:

- Tussen A en B neemt de afstand tussen de opeenvolgende druppels steeds af. Het busje legt dus in dezelfde tijd een steeds kleinere afstand af. Het busje voerde dus een vertraagde beweging uit, dus $F_A < F_B$.
 - Tussen B en C blijft de afstand tussen de opeenvolgende druppels gelijk. Het busje legt in dezelfde tijd steeds dezelfde afstand af. Het busje bewoog dus met constante snelheid en $F_A = F_B$.
 - Tussen C en D neemt de afstand tussen de opeenvolgende druppels steeds toe. Het busje legt in dezelfde tijd een steeds grotere afstand af. Het busje voerde dus een versnelde beweging uit en $F_A > F_B$.
- d** De afstand tussen de stippen op het traject tussen B en C is in de tekening 3,5 mm. De schaal is 1 : 1000, dus in werkelijkheid is deze afstand 3500 mm = 3,5 m. Op dit traject viel elke seconde een druppel en dan was het busje telkens 3,5 m verder gereden. De snelheid was dus $3,5 \text{ m/s} = 12,6 \text{ km/h}$.

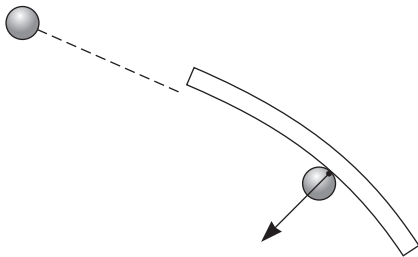
- 20 a** Als Carla met constante snelheid rijdt, is de voortstuwende kracht even groot als de tegenwerkende kracht. Om de voortstuwende kracht te bepalen, kun je dus de grootte van de tegenwerkende kracht in de grafiek aflezen bij een snelheid van 11 m/s. Hieruit volgt dat de voortstuwende kracht gelijk is aan 30 N.
- b** Op het moment dat ze begint te versnellen, is de tegenwerkende kracht (F_w) nog gelijk aan 30 N. De voortstuwende kracht is $F_{vs} = 40 \text{ N}$, dus de resulterende kracht is gelijk aan $F_{res} = F_{vs} - F_w = 40 \text{ N} - 30 \text{ N} = 10 \text{ N}$.
- c** De (constante) eindsnelheid van Carla wordt bereikt als de wrijvingskracht weer even groot is geworden als de voortstuwende kracht. De wrijvingskracht is dan dus gelijk aan 40 N. Aflezen in de grafiek bij 40 N geeft als antwoord een snelheid van 12,8 m/s.

- *21 a** De liftkooi versnelt, dus de resultante werkt in dezelfde richting als de bewegingsrichting van de liftkooi. De voortstuwende kracht (de spankracht) is dus groter dan de tegenwerkende kracht (de zwaartekracht).
- b** De liftkooi beweegt met constante snelheid, dus de resultante is 0 N. De spankracht is dus gelijk aan de zwaartekracht.
- c** De liftkooi vertraagt, dus de resultante werkt tegen de bewegingsrichting in. De voortstuwende kracht (de spankracht) is dus kleiner dan de tegenwerkende kracht (de zwaartekracht).
- d** De resultante is 0 N, dus de spankracht is gelijk aan de zwaartekracht.
- e** De liftkooi versnelt, dus de resultante werkt weer in dezelfde richting als de bewegingsrichting van de liftkooi (omlaag). De voortstuwende kracht (de omlaag gerichte zwaartekracht) is dus groter dan de tegenwerkende kracht (de spankracht).
- f** De liftkooi vertraagt, dus de resultante werkt tegen de bewegingsrichting in (de resultante wijst dus omhoog). De voortstuwende kracht (de omlaag gerichte zwaartekracht) is nu dus kleiner dan de tegenwerkende kracht (de spankracht).

- 22 a** In situatie 2 en 3 beweegt de skydiver met constante snelheid. In beide situaties geldt dus dat de resultante gelijk is aan 0 N. In situatie 1 is er een versnelling, dus is de resultante niet 0.
- b** In situatie 1 neemt de snelheid toe. In situatie 2 en 3 is de snelheid constant maar in 2 is deze een stuk groter. De snelheid van de skydiver neemt sterk af als hij zijn parachute opent. Dat komt doordat het frontaal oppervlak A veel groter wordt. Daardoor neemt ook de luchtwrijving sterk toe.

- c In situatie 1 neemt de snelheid van de skydiver toe, dus neemt de luchtwrijving ook toe. De grootte van de luchtwrijving is in situatie 2 en 3 gelijk. Dit is zo, omdat in beide situaties de skydiver met een constante snelheid beweegt. De voortstuwende kracht (de zwaartekracht) is dan gelijk aan de tegenwerkende kracht (de luchtwrijving). In beide situaties is de luchtwrijving dus gelijk aan de zwaartekracht op de skydiver.
(Als je dit een vreemde conclusie vindt, kan de volgende uitleg verhelderend zijn:
- Zonder parachute is de snelheid van de skydiver weliswaar heel groot, maar zijn frontaal oppervlak is klein.
 - Met parachute is de snelheid van de skydiver veel kleiner, maar zijn frontaal oppervlak is juist heel groot.
- Op die manier kan de luchtwrijving in beide situaties toch precies gelijk zijn.)

- *23 a** Zie figuur 6. Als de bal loskomt van de rand, werken er geen krachten meer op de bal (behalve een beetje lucht- en rolweerstand). De bal gaat daarom in een rechte baan verder, in de richting die hij had op het moment van loskomen.
- b** Zie de krachtvector in figuur 6. Deze staat overal waar de bal langs de rand rolt loodrecht op de rand.



▲ figuur 6

Plus Derde wet van Newton

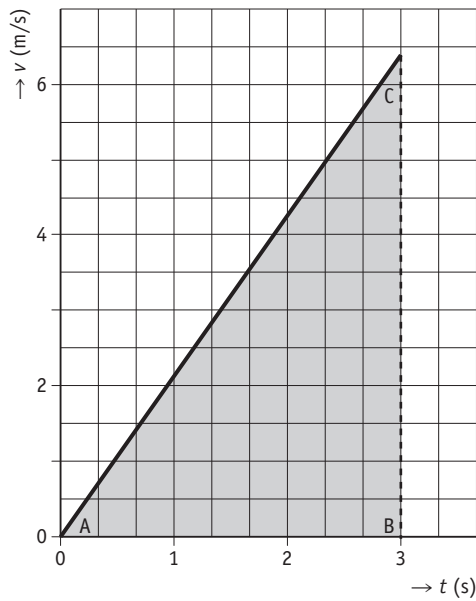
- 24 a** De actiekracht is de kracht die de motor op de verbrandingsgassen uitoefent. Door die kracht verlaten de gassen de motor.
- b** De reactiekracht is de kracht die de verbrandingsgassen op de motoren (en dus op het vliegtuig) uitoefenen.
- c** De actie- en reactiekracht zijn even groot maar tegengesteld gericht.
- d** Krachten kunnen elkaar alleen opheffen als ze op hetzelfde voorwerp werken. Dat is hier niet zo. De actiekracht werkt op de gassen en de reactiekracht werkt op de motor.
- 25 a** Jij oefent een kracht uit op je vriend. Volgens de Derde wet van Newton oefent je vriend ook op jou een kracht uit, maar dan de andere kant op. Daardoor gaat je vriend de ene kant uit en jij in de tegenovergestelde richting.
- b** Jij oefent met de peddel een kracht uit op het water, in achterwaartse richting. Het water oefent dus een kracht uit op de peddel, maar dan in voorwaartse richting. Deze kracht duwt de kano naar voren.
- c** De bladblazer oefent een kracht uit op de lucht die hij wegblaast. De lucht oefent een even grote tegengestelde gerichte kracht uit op de bladblazer en dus ook op jou. Jij gaat dus naar achteren.
- d** Jij oefent een kracht uit op de tafel. Zolang de tafel niet wegschuift, oefent deze een even grote maar tegengestelde gerichte kracht op jou uit. Daardoor ga jij met je stoel naar achteren en zou je om kunnen vallen.

3 Kracht, massa en versnelling

- 26 a** Het verband wordt gegeven door de formule $F_{\text{res}} = m \cdot a$.
- b** De glijder zweeft op een luchtlaagje zodat die bijna geen wrijving met de ondergrond ondervindt. Bovendien is de snelheid van de glijder klein en is zijn frontaal oppervlak klein zodat de luchtwrijving zeer gering is.
- c** Volgens de definitie is 1 N gelijk aan de (resulterende) kracht die een massa van 1 kg een versnelling geeft van 1 m/s^2 .
- d** Een val is een vrije val als er geen luchtweerstand werkt op het vallende voorwerp.
- 27 a** Bij het optrekken komt de vrachtwagen maar langzaam op gang.
- b** Het is veel moeilijker om met de volgeladen vrachtwagen een bocht te nemen. De chauffeur zal bij een volle lading de bocht dan ook met een veel kleinere snelheid nemen.
- c** De remweg van een volgeladen vrachtwagen is veel langer dan die van een lege vrachtwagen. Het duurt dus ook veel langer voordat de volgeladen vrachtwagen tot stilstand is gekomen.
- 28 C:** de tram remt af. Door zijn traagheid gaat de ring verder terwijl de tram afremt.
- 29 a** $v_b = 0 \text{ km/h} = 0 \text{ m/s}$
 $v_e = 100 \text{ km/h} = 27,8 \text{ m/s}$
 $\Delta v = v_e - v_b = 27,8 - 0 = 27,8 \text{ m/s}$
 $\Delta t = 4,2 \text{ s}$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{27,8}{4,2} = 6,61 \text{ m/s}^2$$
- b** $m = 6,2 + 1,6 = 7,8 \text{ kg}$
 $a = 6,61 \text{ m/s}^2$
 $F = m \cdot a = 7,8 \times 6,61 = 52 \text{ N}$
- c** Een kracht van 52 N is misschien niet heel groot maar bij plotseling remmen is de kracht veel groter dan bij optrekken. De nek is gebouwd om het hoofd rechtop te houden en te draaien, maar niet om dit soort krachten op te vangen. Dus het veelvuldig optrekken (en afremmen) van motorrijders kan best tot neklachten leiden.
- 30 a** $m = 5,6 \cdot 10^5 \text{ kg}$
 $F = 1,2 \cdot 10^6 \text{ N}$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1,2 \cdot 10^6}{5,6 \cdot 10^5} = 2,14 \text{ m/s}^2$$
- b** $\Delta t = 3 \text{ s}$
 $a = 2,14 \text{ m/s}^2$
 $\Delta v = a \cdot \Delta t = 2,14 \times 3 = 6,4 \text{ m/s}$
- c** De gemiddelde snelheid gedurende de eerste drie seconden was 3,2 m/s. Als we mogen aannemen dat de beweging eenparig versneld was, dan volgt:
 $s = v_{\text{gem}} \cdot t = 3,2 \times 3,0 = 9,6 \text{ m}$. Je kunt ook de methode gebruiken waarbij je de oppervlakte onder de grafiek in het (v,t) -diagram bepaalt; zie figuur 7.
- d** Elk van de twee motoren van de Airbus levert $0,6 \cdot 10^6 \text{ N}$. De versnelling die een auto van 1200 kg met zo'n motor krijgt, is (dezelfde berekening als in vraag a): 500 m/s^2 . Dus na 3 s zou de snelheid van de auto al $1500 \text{ m/s} = 5400 \text{ km/h}$ zijn!



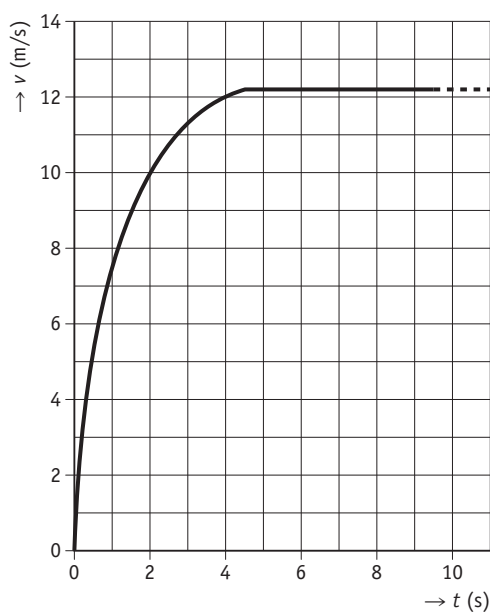
▲ figuur 7

- 31 a Hij oefent met zijn schoenzolen een kracht uit op de baan.
 b Uit de tekst kun je de volgende gegevens halen: de (horizontale) kracht die Bolt uitoefent, is $F = 817 \text{ N}$, zijn versnelling is ongeveer 10 m/s^2 .

$$m = \frac{F}{a} = \frac{817}{10} = 82 \text{ kg}$$

Dus zijn massa zal rond de 82 kg liggen.

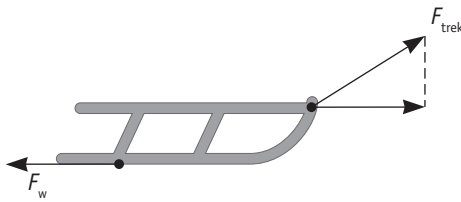
- c Zie figuur 8.
 d Het eerste deel van de race duurt 4,0 s. In deze tijd legt Bolt een afstand af van 30 m, dus in het tweede deel moet hij nog $100 - 30 = 70 \text{ m}$ afleggen, met een (constante) snelheid van $12,2 \text{ m/s}$. De benodigde tijd voor het tweede deel van de race bereken je met de formule $s = v \cdot t$, omdat de snelheid constant is. Invullen geeft $70 = 12,2 \times t$, dus $t = 5,74 \text{ s}$. De eindtijd van Bolt is dus gelijk aan $4,0 + 5,74 = 9,74 \text{ s}$ (beter: 9,7 s).



▲ figuur 8

- 32 a** Het gaat hier om de natuurkundige grootte massa.
- b** De resultante bereken je met de formule $F_{\text{res}} = m \cdot a$. De massa is vermeld in de tabel:
 $m = 1250 \text{ kg}$.
 De versnelling a moet eerst nog berekend worden. Gegeven is dat de auto in 11,3 s optrekt van 0 naar $100 \text{ km/h} = 27,8 \text{ m/s}$. Dus:
- $$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{27,8}{11,3} = 2,46 \text{ m/s}^2$$
- Daaruit volgt: $F_{\text{res}} = m \cdot a = 1250 \times 2,46 = 3073 \text{ N} = 3,07 \text{ kN}$.
- c** Tijdens het optrekken werken op de auto ook tegenwerkende krachten: rolwrijving en luchtweerstand. De laatste wordt zelfs steeds groter tijdens het optrekken. De voorwaartse kracht moet dus (veel) groter zijn dan 3,07 kN.
- *33 a** Met 'aanhanger geremd' wordt een aanhanger bedoeld die met een eigen remsysteem is uitgerust (dat door de bestuurder bediend kan worden).
- b** Omdat de aanhanger met eigen remsysteem ook een extra eigen remkracht uitoefent, kan de massa van deze aanhanger groter zijn terwijl de auto toch dezelfde (wettelijke) remvertraging kan bereiken. (Dit kun je ook zien aan de formule $F = m \cdot a$: bij een grotere remkracht F maar gelijke vertraging a hoort een grotere massa m .)
- c** De massa m van Qashqai A + aanhanger is ongeveer $2 \times$ zo groot als de massa van Qashqai B
 $(\frac{1250 + 1200}{2} \approx 2)$. De auto's zijn verder gelijk, dus de (voorwaartse) resulterende kracht F is voor beide auto's gelijk. Uit de formule $F = m \cdot a$ ofwel $a = \frac{F}{m}$ volgt nu dat de versnelling van Qashqai A ongeveer $2 \times$ zo klein is als de versnelling van Qashqai B.
- d** Auto A trekt een aanhanger en dat geheel heeft meer wielen dan een auto zonder aanhanger. Daardoor ondervindt de auto met aanhanger een grotere rolweerstand. (Misschien zorgt de aanhanger ook nog wel voor een minder goede stroomlijning waardoor de luchtweerstand bij A groter is dan bij B.)
- *34 a** Op de maan is er geen atmosfeer en daardoor geen wrijving met lucht (of andere gassen). Elke val is daar dus een vrije val.
- b** $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2,3}{1,4} = 1,6 \text{ m/s}^2$
- c** Je kunt dit weer op twee manieren doen, zoals bij opgave 30c:
- Maak eerst een schets van het (v,t) -diagram. De afgelegde afstand is gelijk aan de oppervlakte onder het (v,t) -diagram en dat is hier een driehoek: $s = \text{oppervlakte driehoek} = \frac{1}{2} \times 2,3 \times 1,4 = 1,6 \text{ m}$.
 - Gebruik de formule $s = v_{\text{gem}} \cdot t$ en bedenk dat de gemiddelde snelheid tijdens de val de helft was van de eindsnelheid.
- *35 a** Zie figuur 9.
- b** Zie figuur 9.
- c** Zie figuur 9. De totale wrijvingskracht is even groot als de horizontale component van de trekkracht aangezien de slee met een constante snelheid beweegt.
- d** Door de zeer lage snelheid en het kleine frontaal oppervlak zal de luchtweerstand hier zeer klein zijn.
- e** De horizontale component van de trekkracht bereken je met:
 $F_{\text{trek}} \cdot \cos 30^\circ = 230 \times 0,866 = 199 \text{ N}$. Dat is dus ook de grootte van de wrijvingskracht.

- f Hoe lager je het touw houdt tijdens het trekken, hoe groter de horizontale component van de trekkracht, dus hoe meer kracht je ter beschikking hebt om de slee vooruit te bewegen. Als je het touw om je schouders houdt, wordt een groot deel van de trekkracht gebruikt om de slee een beetje op te tillen!



▲ figuur 9

Plus Vallen met luchtweerstand

- 36 a Naarmate de snelheid van de skydiver toeneemt, wordt de luchtweerstand steeds groter. Hierdoor wordt de resultante (het verschil tussen zwaartekracht en luchtweerstand) steeds kleiner. De snelheidstoename wordt dan steeds minder.
- b Op $t = 67$ s opent de skydiver zijn parachute. Je kunt dit zien, omdat de snelheid op dat tijdstip plotseling afneemt. Dit komt doordat bij het openen van de parachute de wrijvingskracht sterk toeneemt.
- c De eindsnelheid wordt bereikt als de grafiek horizontaal gaat lopen: de snelheid verandert dan niet meer. Aflezen in de grafiek geeft voor de eindsnelheid een waarde van 7 m/s.
- *37 a De zwaartekracht op de druppel is (vrijwel) constant, maar de luchtweerstand neemt tijdens het vallen toe. Er komt een moment dat beide krachten even groot zijn en elkaar dus opheffen. De resultante op de druppel is dan nul en de snelheid blijft verder constant.
- b Door het aan elkaar gelijk stellen van de zwaartekracht en de luchtweerstand kun je de eindsnelheid berekenen (vraag a).

Eerst de zwaartekracht: $F_z = m \cdot 9,8$. De massa van de druppel bereken je met: $m = \rho \cdot V$.

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot 0,1^3 = 0,0042 \text{ cm}^3$$

$$m = \rho \cdot V = 1,0 \text{ g/cm}^3 \times 0,0042 \text{ cm}^3 = 0,0042 \text{ g} = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

$$\text{Dan is: } F_z = m \cdot g = 4,2 \cdot 10^{-6} \times 9,8 = 4,1 \cdot 10^{-5} \text{ N.}$$

Dan de luchtweerstand: $F_{w,l} = \frac{1}{2} \cdot C_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$. De frontale oppervlakte A kun je uitrekenen met de formule voor de oppervlakte van een cirkel, aangezien we aannemen dat de druppel een bol is: $A = \pi \cdot r^2 = 3,14 \times 0,001^2 = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$. Dus:

$$F_{w,l} = 0,5 \times 0,47 \times 3,14 \cdot 10^{-6} \times 1,3 \times v^2 = 9,6 \cdot 10^{-7} \cdot v^2.$$

Als je de beide krachten aan elkaar gelijk stelt, vind je: $v^2 = 42,7$ en dus

$$v = 6,5 \text{ m/s} = 24 \text{ km/h.}$$

- c Als je voor de straal in de berekening van vraag b een $2\times$ zo grote waarde neemt, dan wordt de zwaartekracht $2^3 = 8\times$ zo groot, aangezien de massa van de druppel direct afhangt van het volume van de druppel en in de formule voor het volume van de druppel zit r^3 . In de formule voor de luchtweerstand wordt A $2^2 = 4\times$ zo groot, omdat het oppervlak toeneemt

met r^2 . Omdat F_z $8\times$ zo groot wordt en $F_{w,l}$ $4\times$ zo groot, vind je dat $v^2 \frac{8}{4} = 2\times$ zo groot wordt.

Dus v zelf wordt $\sqrt{2}\times$ zo groot.

4 Remmen en botsen

- 38 a** een eenparig vertraagde beweging
b De snelheid van de auto neemt elke seconde met 5 m/s af.
c Je kunt de stopafstand bepalen door de oppervlakte onder de grafiek te bepalen.
d De vertraging wordt bepaald door de rijsnelheid en de botstijd.
e De eenheid van druk is de newton per vierkante meter (N/m²) ofwel de pascal (Pa).
- 39 a** $v_b = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$
 $v_e = 0 \text{ km/h} = 0 \text{ m/s}$
 $\Delta t = 7,0 \text{ s}$
 $\Delta v = 0 - 20 = -20 \text{ m/s}$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-20}{7,0} = -2,9 \text{ m/s}^2$$
b $v_b = 50 \text{ km/h} = 13,88 \text{ m/s}$
 $v_e = 0 \text{ km/h} = 0 \text{ m/s}$
 $\Delta t = 0,3 \text{ s}$
 $\Delta v = 0 - 13,88 = -13,88 \text{ m/s}$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-13,88}{0,3} = -46 \text{ m/s}^2$$
- 40 a** Door het remmen vertraagde de bus, maar de kinderen werden toen (nog) niet afgeremd. Ze bewogen door hun traagheid nog even met dezelfde snelheid verder. Ten opzichte van de bus bewogen ze dus naar voren.
b De leerlingen zaten niet op een bank in de bus. Als je staat in de bus, kun je veel heftiger vallen.
c $m = 95 \text{ kg}$
 $a = -6,0 \text{ m/s}^2$
 $F = m \cdot a = 95 \times -6,0 = -570 \text{ N}$, dus de kracht was 570 N (beter: 0,57 kN).
d $F = 570 \text{ N}$
 $A = 250 \text{ cm}^2 = 0,0250 \text{ m}^2$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{570}{0,0250} = 22\,800 \text{ Pa} = 22,8 \text{ kPa}$$
- 41 a** De lengte van het horizontale deel van de grafiek is de reactietijd: 0,7 s.
b Nu gaat het om het schuine deel van de grafiek:
 $v_b = 24 \text{ m/s}$
 $v_e = 0 \text{ m/s}$
 $\Delta t = 4,7 - 0,7 = 4,0 \text{ s}$
 $\Delta v = 0 - 24 = -24 \text{ m/s}$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-24}{4,0} = -6,0 \text{ m/s}^2$$
c $a = -6,0 \text{ m/s}^2$
 $m = 800 \text{ kg}$
 $F = m \cdot a = 800 \times -6,0 = -4800 \text{ N} = -4,8 \text{ kN}$
d De afgelegde afstand is gelijk aan de oppervlakte onder het (v,t)-diagram (figuur 45 in je leeropdrachtenboek). Die oppervlakte bestaat uit een rechthoek met een breedte van 0,7 s en een driehoek. De stopafstand is dus: $(24 \times 0,7) + (\frac{1}{2} \times 24 \times (4,7 - 0,7)) = 65 \text{ m}$.

***42 a** De airbag verlengt de remtijd (en remweg) van het lichaam en het hoofd. Hierdoor wordt de botskracht op het lichaam kleiner, en daarmee ook de kans op ernstige verwondingen.

b Als je hoofd tegen de airbag komt, is het contactoppervlak tussen je gezicht en het kussen vrij groot, veel groter dan wanneer je met je gezicht tegen bijvoorbeeld het stuur zou knallen. De kracht wordt dus over een groter oppervlak verdeeld en daardoor is de druk op je hoofd kleiner en is ook de kans op ernstig letsel kleiner.

c $v_b = 20 \text{ km/h} = 5,55 \text{ m/s}$

$$v_e = 0 \text{ km/h} = 0 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 0,10 \text{ s}$$

$$\Delta v = 0 - 5,55 = -5,55 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-5,55}{0,10} = -56 \text{ m/s}^2$$

De vertraging van de auto is 56 m/s^2 , en dit is meer dan 50 m/s^2 . De airbag zal dus worden opgeblazen.

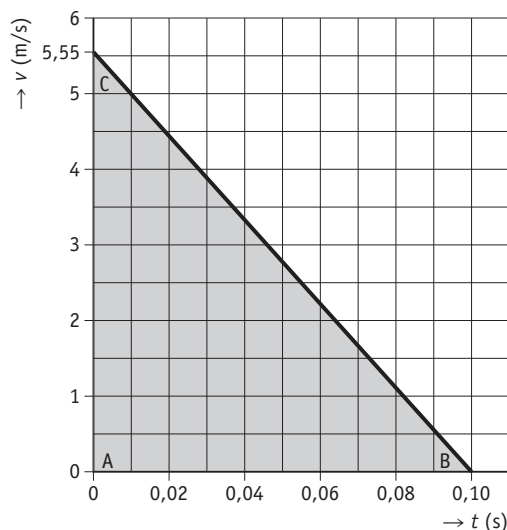
d Maak eerst een schets van het (v,t) -diagram (zie figuur 10).

De afgelegde afstand is gelijk aan de oppervlakte onder het (v,t) -diagram:

$$s = \text{oppervlakte driehoek ABC} = \frac{1}{2} \times 5,55 \times 0,10 = 0,28 \text{ m}$$

e De G-kracht (eigenlijk een versnelling) bereken je door de optredende versnelling te delen

door de versnelling van de zwaartekracht (g), dus hier: $\frac{50}{9,8} = 5,1$. (Dat is behoorlijk veel.)



▲ figuur 10

43 a – Bestuurders reageren niet in dezelfde tijd.

– De massa's van de bestuurders verschillen.

b $v_b = 20 \text{ km/h} = 5,55 \text{ m/s}$

$$v_e = 0 \text{ km/h} = 0 \text{ m/s}$$

$$a = -4,0 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta v = 0 - 5,55 = -5,55 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{-5,55}{-4,0} = 1,4 \text{ s}$$

c – De zachte binnenkant verlengt de botstijd (en remweg) van het hoofd. Hierdoor wordt de botskracht op het hoofd kleiner, en daarmee ook de kans op ernstige verwondingen.

– Als er bij een val een kracht op je hoofd wordt uitgeoefend, zorgt de helm ervoor dat die kracht 'verspreid' wordt over een grotere oppervlakte waardoor de druk omlaag gaat.

- 44 a** Lees af in de grafiek bij $s = 0,6$ m: 25 kN.
b $F = 25 \text{ kN} = 25\,000 \text{ N}$
 $m = 75 \text{ kg}$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{25\,000}{75} = 3,3 \cdot 10^2 \text{ m/s}^2$$

c De pop legt tijdens de botsproef een afstand af van 50 cm.
 De gemiddelde kracht op de pop is nu volgens de grafiek gelijk aan 30 kN.
- 45 a** Het gaat niet om krachten maar om versnellingen, dus de naam 'G-versnellingen' zou beter zijn.
b Het gaat om versnellingen tussen $2g = 2 \times 9,81 = 19,6 \text{ m/s}^2$ en $3g = 3 \times 9,81 = 29,4 \text{ m/s}^2$.
c Bij neerwaartse versnellingen blijft het bloed als het ware achter vanwege zijn traagheid. Hierdoor stroomt een grote hoeveelheid bloed naar je hoofd. Dit kan gevaarlijk zijn, omdat er dan door de oplopende druk een ader in je hoofd kan springen.
d Dit is zinvol als de richting van de versnelling opwaarts is (in de richting van het hoofd van de piloot). Zonder drukpak zou het bloed door zijn traagheid naar de benen van de piloot stromen en daardoor zouden de hersenen te weinig bloedtoevoer hebben.
- *46 a** $v_e = 110 \text{ km/h} = 30,55 \text{ m/s}$
 $\Delta v = 30,55 - 0 = 30,55 \text{ m/s}$
 $a = 3g = 3 \times 9,81 = 29,43 \text{ m/s}^2$

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{30,55}{29,43} = 1,0 \text{ s}$$

b Als je een bocht neemt, verandert de richting van de snelheid. Daar is een kracht voor nodig en dus is er ook een versnelling. Bij een scherpe bocht en hoge snelheid treden er daardoor grote G-krachten op.

Plus Liftkracht en wrijvingskracht

- 47 a** De spoilers zorgen voor een extra neerwaartse kracht. Daardoor ligt de auto steviger (stabiel) op de weg en kan de snelheid in de bocht hoger zijn. Door het betere contact tussen de banden en het wegdek is de maximale remkracht groter. De coureur kan daardoor langer wachten met remmen voor de bocht.
b Als de wielen steviger tegen het wegdek worden gedrukt, is er meer rolwrijving tijdens het rijden. Die kracht vermindert de topsnelheid en veroorzaakt een hoger extra brandstofgebruik.
c Bij de start werken de spoilers niet meteen. Pas bij een flinke snelheid helpen ze met het voorkomen van het doorslippen van de achterwielen.
d Als er alleen achterspoilers zijn, zal de auto als het ware een beetje achterover gekiept worden. Het contact tussen de voorbanden en het wegdek wordt daardoor minder goed en dat kan problemen geven bij het sturen.
- *48 a** $F_{w,\max} = f \cdot F_n$. De normaalkracht is even groot als het gewicht: $F_n = 675 \times 9,8 = 6615 \text{ N}$.
 Dan geldt: $f = \frac{F_{w,\max}}{F_n} = \frac{4,63 \cdot 10^3}{6615} = 0,70$.
b De massa van de auto is nu $600 + 75 + 30 = 705 \text{ kg}$, dus $F_z = 705 \times 9,8 = 6909 \text{ N}$. De $F_{w,\max}$ is met 20% toegenomen, dus is nu: $1,20 \times 4,63 \cdot 10^3 = 5556 \text{ N}$. Met dezelfde waarde voor f volgt dan voor de normaalkracht: $F_n = \frac{5556}{0,70} = 7937 \text{ N}$. Als je daar de zwaartekracht op de auto van aftrekt, vind je de neerwaartse kracht die de spoilers veroorzaken: $7937 - 6909 = 1028 = 1,03 \cdot 10^3 \text{ N}$.

Test Jezelf

- 1 2,7 (of 2,68) m/s²
- 2
 - a waar
 - b waar
 - c onwaar
 - d onwaar
 - e onwaar
- 3 64 m
- 4 56 (of 55,8) km/h
- 5 B
- 6 1, 2, 4
- 7
 - a waar
 - b waar
 - c onwaar
 - d onwaar
- 8
 - a niet
 - b wel
 - c niet
 - d niet
 - e niet
- 9 E
- 10
 - a nee
 - b ja
 - c ja
 - d ja
 - e ja
- 11
 - a de bus maakt een scherpe bocht = plaatje C
 - b de bus rijdt met constante snelheid = plaatje B
 - c de bus begint plotseling te rijden = plaatje A
 - d de bus remt plotseling af = plaatje D
- 12 auto B
- 13 76 N
- 14 -3 (of -3,0) m/s²
- 15 60 m
- 16 9,5 kN

$$17 \quad p = 490\,000 = \frac{F}{A} = \frac{8800}{A}, \text{ dus: } A = \frac{8800}{490\,000} = 0,018 \text{ m}^2 = 180 \text{ cm}^2$$

$$18 \quad a \quad m = 12 \cdot 10^3 \text{ kg} \\ F = -1,8 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{-180\,000}{12\,000} = -15 \text{ m/s}^2$$

$$v_b = 243 \text{ km/h} = 67,5 \text{ m/s}$$

$$v_e = 0 \text{ km/h} = 0 \text{ m/s}$$

$$\Delta v = v_e - v_b = 0 - 67,5 = -67,5 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-67,5}{4,5} = -15 \text{ m/s}^2$$

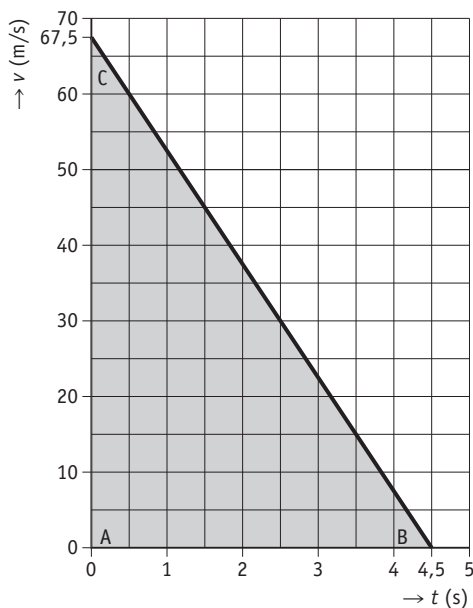
$$\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{-67,5}{-15} = 4,5 \text{ s}$$

b Zie figuur 11.

c De remafstand is gelijk aan de oppervlakte onder het (v,t) -diagram:

$$s = \text{oppervlakte driehoek ABC} = \frac{1}{2} \times 67,5 \times 4,5 = 152 \text{ m}$$

d De vertraging die het vliegtuig ondervindt (uitgerekend bij vraag a), is ook de vertraging die de piloot ondervindt. Als je dit getal door de waarde van g (9,8) deelt, dan vind je de G-kracht.



▲ figuur 11

- 19 a Het begin van de grafiek is niet recht en dat duidt erop dat Baumgartner toen versnelde. Maar bij $t = 60 \text{ s}$ lijkt hij op een rechte lijn. Dat duidt erop dat hij daar inmiddels een constante snelheid had.
- b Hoog in de dampkring van de aarde is de lucht zeer ijl en is de luchtweerstand zeer laag. Ten opzichte van de zwaartekracht is de luchtweerstand dan verwaarloosbaar. Het is daarom een vrije val.
- c Je ziet een duidelijke knik in de grafiek in de buurt van $t = 270 \text{ s}$. De snelheid van Baumgartner veranderde daar en dat kan heel goed komen door het opengaan van de parachute. In de tekst kon je lezen dat de parachute enkele minuten na zijn hoogste snelheid openging. Die hoogte snelheid haalde hij rond $t = 50 \text{ s}$, want daar daalt de grafiek het steilst. 'Enkele minuten' past bij de tijd tussen $t = 50 \text{ s}$ en $t = 270 \text{ s}$.

- d Als je met een parachute naar beneden valt, neemt de luchtweerstand toe tot het moment dat deze even groot is als de zwaartekracht op de vallende persoon. Vanaf dat moment is de resultante nul en blijft de snelheid constant.

- 20 a Vroeger werd als eenheid van kracht vaak de kg gebruikt. Dat kon doordat de kg en de newton sterk gekoppeld zijn door de formule voor de zwaartekracht (of gewicht): $F_z = m \cdot 9,8$. Een 'kracht van 1000 kilo' is dan eigenlijk een kracht van 9800 N.
- b De massa van het slaghout is vrij groot (veel groter dan de massa van de honkbal). De bal oefent dus wel een kracht uit op het slaghout, maar de vertraging die het slaghout hierdoor

ondervindt, zal klein zijn zoals volgt uit de formule $a = \frac{F}{m}$.

- c $m = 0,145 \text{ kg}$
 $v_b = 0 \text{ km/h} = 0 \text{ m/s}$
 $v_e = 170 \text{ km/h} = 47,22 \text{ m/s}$
 $\Delta v = v_e - v_b = 47,22 - 0 = 47,22 \text{ m/s}$
 $\Delta t \approx 0,001 \text{ s}$ ($\approx$ betekent: ongeveer. Omdat je Δt maar ongeveer weet, zijn alle berekeningen daarmee ook benaderingen.)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{47,22}{0,001} \approx 4,7 \cdot 10^4 \text{ m/s}^2$$

$$F = m \cdot a = 0,145 \times 4,7 \cdot 10^4 \approx 6,8 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Dit komt overeen met de zwaartekracht op een voorwerp met een massa van

$$m = \frac{F}{g} = \frac{6,8 \cdot 10^3}{9,81} \approx 7,0 \cdot 10^2 \text{ kg. De in de tekst vermelde 'kracht van een paar$$

duizend kilo' wordt dus niet bereikt.

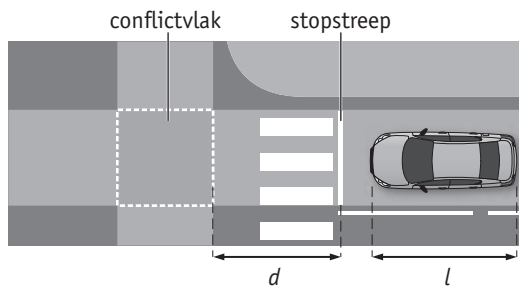
- 21 De onderzoekers moeten in elk geval ook weten:
- de tijd die de auto nodig heeft om tot stilstand te komen: daarmee kunnen ze de vertraging uitrekenen;
 - de massa van de auto met bestuurder: samen met de waarde van de vertraging kunnen ze dan de resultante op de auto uitrekenen (als ze ervan uit mogen gaan dat de beweging eenparig vertraagd was);
 - de rolweerstand en de luchtweerstand tijdens het remmen: als ze deze waarden van de resultante aftrekken, dan vinden ze de kracht die de remmen hebben geleverd.

Praktijk

Werken als verkeersmanager

- 1 a d (distance) = de afstand van de stopstreep tot aan het einde van het conflictvlak (links)
 l (length) = de lengte van de auto
- b Als de auto de afstand d heeft afgelegd, heeft alleen de voorbumper het einde van het conflictvlak bereikt; de auto zelf bevindt zich dan nog in het conflictvlak. De auto moet daarna nog een afstand l afleggen om het conflictvlak helemaal leeg te maken. De totale afstand die de auto moet afleggen om het conflictvlak over te rijden en daarna weer te verlaten, is dus $d + l$.
- c De lengte van een personenauto is 4 tot 5 m. De lengte van een stadsbus loopt uiteen van 12 tot 18 m.

- 2 a Zie figuur 12.
- b Er ontstaat gevaar op het moment dat de voorbumper de rechter grens van het conflictvlak passeert. Dat moment wordt alleen bepaald door de af te leggen afstand k , en niet door de lengte l van de auto.
- c Als voor v_{op} de snelheid wordt gebruikt die de auto heeft zodra hij bij het conflictvlak is aangekomen met zijn voorkant, dan is deze waarde duidelijk te groot en vindt men met de formule een te kleine oprijtijd. Neemt de gemiddelde snelheid bij het optrekken van de auto, dan moet men dus een kleinere snelheid invullen en vindt men een grotere oprijtijd.
- d Door het oranje licht wordt de automobilist gewaarschuwd dat het groene licht eraan komt. Zijn reactietijd zal daardoor, als het licht eenmaal op groen springt, korter zijn. Daardoor wordt de oprijtijd ook korter.



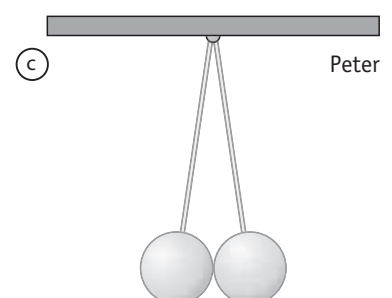
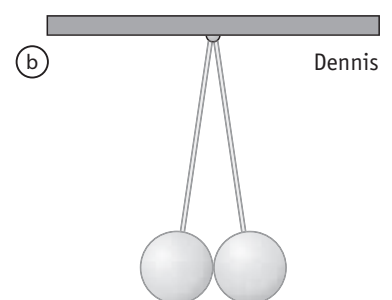
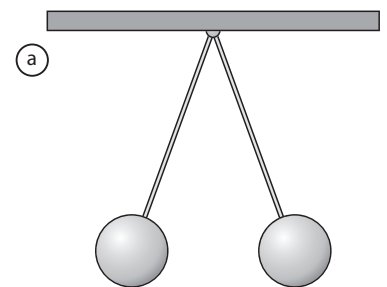
▲ figuur 12

- 3 a Op het moment dat er aan de kant van B al geen auto's meer het conflictvlak op komen rijden, komen er aan de kant van A nog geen auto's dit vlak oprijden aangezien het even duurt voordat de voorste auto de afstand tussen het stoplicht bij A en het conflictvlak heeft afgelegd.
- b $t_{ontr} = t_{AB} - t_{op}$, waarbij t_{AB} het tijdsverschil is tussen het moment dat het stoplicht bij B op rood gaat en het stoplicht bij A op groen gaat. Als A eerder op groen gaat dan B op rood gaat, dan is t_{AB} per definitie positief. De waarde van t_{op} vind je met de formule van opgave 2.
- c Als het licht bij A op rood springt, kunnen er nog auto's onderweg zijn van stoplicht A naar het conflictvlak. Ondertussen rijden er dan ook al auto's vanaf B naar het conflictvlak. De tijd voor auto's vanaf B is korter dan vanaf A. Auto's vanuit A en B zouden elkaar dus kunnen treffen in dat vlak.
- 4 Fietzers die door rood rijden, gaan ervan uit dat het nog even duurt tot de auto's die van de kant komen waar het stoplicht op groen is gesprongen, op het conflictvlak zullen zijn. Maar bij intergroen zijn die auto's er eerder dan de fietsers denken, omdat het al wat langer groen is aan de kant van de auto's.
- 5 Je docent zal je vertellen hoe deze opdracht nagekeken en beoordeeld wordt.

6 Schakelingen

1 Lading en spanning

- 1
 - a Er gaat lading van de doek naar de pvc-buis.
 - b elektronen
 - c De elektronen gaan van de doek naar de pvc-buis. De buis wordt immers negatief geladen en elektronen zijn negatief geladen deeltjes.
 - d Als voorwerpen positief geladen zijn, is daar een tekort aan elektronen. Je verklaart dat dus niet met behulp van positief geladen deeltjes. (Positief geladen deeltjes bestaan wel, maar zitten vast in de kernen van atomen.)
- 2
 - a Het voorwerp trekt dan andere voorwerpen aan, of er springen vonkjes over naar andere voorwerpen.
 - b Dit voorwerp bevat evenveel positieve als negatieve lading; er is dus geen tekort en geen overschot aan elektronen.
 - c Kunststoffen worden vaak gemakkelijk statisch geladen (denk aan een pvc-buis) en als ze geladen zijn, houden ze stofdeeltjes vast die erop vallen.
 - d De eenheid van lading is de coulomb (C).
- 3
 - a Een elektriseermachine kan voorwerpen een elektrische (statische) lading geven.
 - b Het meisje houdt een geladen bol vast en daardoor wordt ze zelf ook elektrisch (statisch) geladen. Doordat haar haren allemaal dezelfde lading krijgen, stoten ze elkaar af en gaan ze zo ver mogelijk uit elkaar staan.
- 4
 - a Kevin heeft gelijk. Voorwerpen die op dezelfde manier geladen zijn, stoten elkaar af.
 - b Zie figuur 1.
 - c Zie figuur 1.
- 5
 - a Bij het tanken wordt er via de brandstofslang een verbinding gemaakt tussen het geladen vliegtuig en de aarde. Via de brandstofslang kunnen vonken overspringen en die kunnen brandstofdampen laten exploderen.
 - b De lucht is dan droog, waardoor een vliegtuig het meest geladen is en er meer/grotere vonken ontstaan.
 - c Het vliegtuig wordt dan op een veilige manier ontladen.
 - d De chauffeur draagt goed isolerende handschoenen om te zorgen dat er geen lading via hem naar de aarde loopt.



► figuur 1

- *6** a Beide blaadjes krijgen dezelfde lading. Voorwerpen met dezelfde lading stoten elkaar af.
 b Nee, dat kun je niet zien. De blaadjes slaan in beide gevallen uit.
 c Als de staaf gemaakt was van geleidend materiaal, zou de lading via je hand wegstromen. De elektroscop zou dan niet uitslaan.
 d De staaf is gemaakt van een isolerend materiaal. Als je met de staaf de knop aanraakt, kan alleen de lading van de aanraakplek naar de elektroscop stromen. Als je de staaf langs de knop beweegt, kun je lading van meer plaatsen op de elektroscop brengen. De blaadjes gaan dan verder uit elkaar staan.
- 7** a In beide elektroscopen verdwijnt de uitslag: de blaadjes zilverpapier hangen recht naar beneden, tegen elkaar aan.
 b De elektronen die de 'negatieve' elektroscop te veel heeft, vloeien naar de 'positieve' elektroscop. Daar heffen ze het tekort aan elektronen op. Beide elektroscopen zijn na afloop neutraal.
- 8** a De bol van de elektriseermachine is positief geladen en daar is dus een tekort aan elektronen. Vanuit de vinger springen elektronen over naar de bol zodat het tekort wordt aangevuld.
 b Door de vonk stromen er elektronen naar de bol van de elektriseermachine. Het tekort aan elektronen wordt dan snel opgeheven waardoor de spanning wegvalt. Bij het lichtnet is de spanning voortdurend aanwezig en kan er continu een stroom lopen. Dat is wel gevaarlijk.
- *9** a $1 \text{ mA} = 1 \text{ mC/s}$. Een lading van 1 C komt overeen met $6,25 \cdot 10^{18}$ elektronen. Een lading van 1 millicoulomb (1 mC) komt dan overeen met $6,25 \cdot 10^{15}$ elektronen.
 b 1 C komt overeen met $6,25 \cdot 10^{18}$ elektronen, dus de lading van één elektron is:

$$\frac{1}{6,25 \cdot 10^{18}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C. (Dit is een bekend getal uit de natuurkunde.)}$$

Plus Ontlading in gassen

- 10** a Bij vochtig weer gaat de lucht beter geleiden waardoor de lading weglekt.
 b Zodra er een vonk is overgesprongen, is de lading weg en moet het apparaat opnieuw lading opbouwen.
 c Volgens de formule uit je leeropdrachtenboek springt er pas een vonk over als de spanning groter is dan (afstand tussen geleiders) $\times 3 \cdot 10^6$. De maximale afstand is $60 \text{ cm} = 0,60 \text{ m}$ en de maximale spanning is dus: $0,60 \times 3 \cdot 10^6 = 1,8 \cdot 10^6 \text{ V} = 1,8 \text{ MV}$.
- *11** a De negatief geladen onderkant van de onweerswolk stoot elektronen op het aardoppervlak af, zodat deze hiervandaan wegstromen. Het aardoppervlak onder de wolk wordt daardoor positief geladen.
 b De kerktoren in figuur 12 in je leeropdrachtenboek is 5 mm hoog. De afstand van de aarde tot de wolk is ongeveer 18 mm . Stel de hoogte van de gemiddelde kerktoren op 80 m . De onderkant van de wolk zal dan op ongeveer $\frac{18}{5} \times 80 = 288 \text{ m}$ zitten. Een goede schatting is dan 300 m .
 c $1,6 \text{ MV/m} \times 300 \text{ m} = 4,9 \cdot 10^8 \text{ V} = 490 \text{ MV}$
 d Ook tussen de boven- en de onderkant van een wolk bestaat er een grote spanning. Ook daar kan dus een bliksem overspringen.

2 Weerstand

12 a $R = \frac{U}{I}$

- b De spanning en de stroomsterkte zijn recht evenredig, ofwel: de waarde van de weerstand is bij elke spanning even groot.
 c De weerstand van een constantaandraad heeft een constante waarde.
 d NTC
 e 1 het materiaal waarvan de draad gemaakt is (dat bepaalt de soortelijke weerstand);
 2 de lengte van de draad;
 3 de doorsnede (en dus de diameter) van de draad.

13

grootheid	symbool	eenheid	symbool
spanning	U	volt	V
stroomsterkte	I	ampère	A
weerstand	R	ohm	Ω

- 14 a Als je metingen doet aan een gloeilamp en een (I, U) -diagram maakt (zie figuur 15 in je leeropdrachtenboek), dan zie je dat er geen recht evenredig verband is tussen de spanning en de stroomsterkte.
 b De maximale stroomsterkte is af te lezen in de grafiek: 4,5 A. De weerstand is dan:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4,5}{4,5} = 1,0 \Omega$$

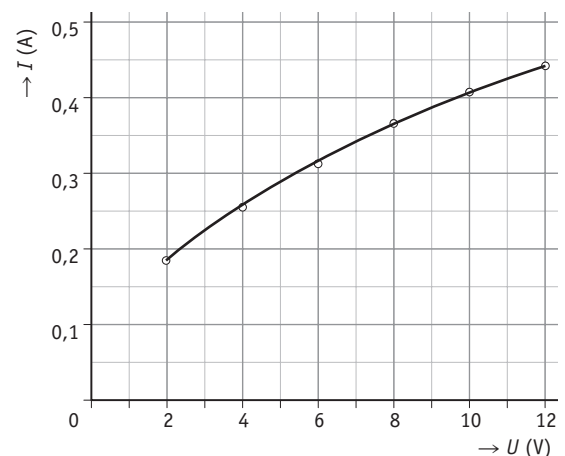
- c De temperatuur van de gloeidraad in het fietslampje stijgt, waarbij de weerstand toeneemt.
 d Na 10 ms is de stroomsterkte constant: 0,5 A. De weerstand is dan:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4,5}{0,5} = 9,0 \Omega$$

- 15 a Zie figuur 2.
 b De grafiek is geen rechte lijn door de oorsprong, dus dit gloeilampje is geen ohmse weerstand.
 c De stroomsterkte bij 7,0 V lees je af in de grafiek van figuur 2.

Dan volgt: $R = \frac{U}{I} = \frac{7,0}{0,35} = 20 \Omega$

- d Uit de vorm van de grafiek kun je afleiden dat de weerstand toeneemt als de spanning en de stroomsterkte toenemen (je kunt ook voor een paar punten op de grafiek de weerstand uitrekenen). Je weet ook dat bij grotere U en I de temperatuur van de gloeidraad in de lamp toeneemt. Je kunt een gloeidraad dus vergelijken met een PTC.

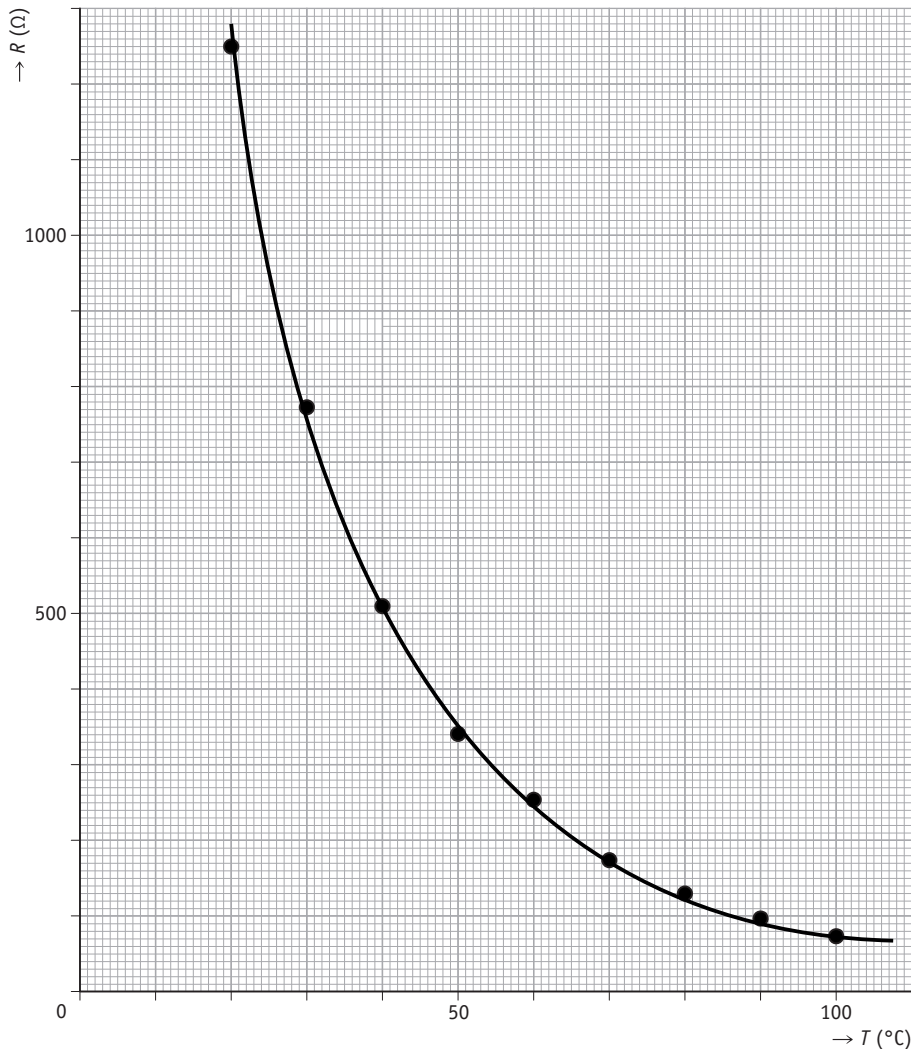


► figuur 2

***16 a** Zie figuur 3.

- b** – bij $605\ \Omega$: $T = 36\ ^\circ\text{C}$
 – bij $79\ \Omega$: $T = 96\ ^\circ\text{C}$

c Als je voor die waarden van de weerstand de temperatuur uit de grafiek wilt aflezen, moet je 'op je gevoel' de grafiek doortrekken (extrapoleren). Dat geeft altijd een zekere mate van willekeur.



▲ figuur 3

- *17 a** Of de stroom door een weerstand naar links of naar rechts loopt, maakt geen verschil. Bij een diode is dat anders. Als je die op de ene manier aansluit, gaat er boven een bepaalde spanning een stroom lopen. De spanning noem je dan positief. Als je de diode andersom aansluit, noem je de spanning negatief. Er loopt dan geen stroom.
- b** Bij een spanning $< 0,85\ \text{V}$ is de stroomsterkte klein. De weerstand is daar hoog. Boven een spanning van $0,85\ \text{V}$ schiet de stroomsterkte omhoog en is de weerstand heel klein.
- c** De doorlaatspanning is de spanning waarbij de stroom zonder (veel) beperking door de diode kan stromen. Dat is hier $0,85\ \text{V}$ (zie vraag b).
- d** Een ventiel is zo gebouwd dat er wel lucht de band in kan, maar dat er geen lucht uit kan. De lucht kan dus maar op één manier door het ventiel. Net zo kan de stroom maar in één richting door een diode gaan.
- 18 a** De leugendetector maakt gebruik van metalen plaatjes die op de huid geplakt worden. Over de plaatjes wordt een lage spanning aangesloten, waardoor er een stroompje tussen de plaatjes loopt. De leugendetector meet de grootte van dit stroompje.
- b** De huidweerstand wordt dan lager.

- c Zweet bevat zout, en zout water geleidt de elektrische stroom beter dan zuiver water.
- d de stroomsterkte
- e Het veranderen van de huidweerstand ten gevolge van het zweten kan ook een andere oorzaak hebben dan alleen liegen.

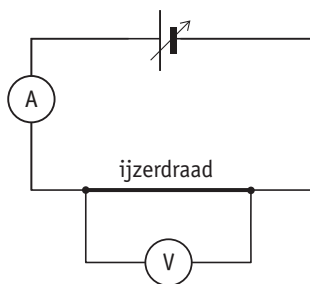
19 a Zie figuur 4.

$$b \quad R = \frac{U}{I} = \frac{0,50}{0,14} = 3,6 \, \Omega$$

- c De doorsnede $A = \pi \cdot r^2$ met r = straal = halve diameter = 0,10 mm, dus $A = 0,031 \, \text{mm}^2$. De lengte l moet in meter ingevuld worden, dus 1,00 m. Voor R gebruik je de niet-afgeronde waarde van 3,57 Ω . Omwerken van de formule geeft:

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} = \frac{3,57 \times 0,031}{1,00} = 0,11 \, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

- d Volgens de tabel is de soortelijke weerstand van ijzer $0,105 \, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ en de meting is dus behoorlijk nauwkeurig.



▲ figuur 4

*20 a De doorsnede $A = \pi \cdot r^2$ met r = straal = halve diameter = 0,125 mm, dus $A = 0,049 \, \text{mm}^2$.

- b Je kunt de formule omwerken naar een formule voor de lengte l . Voor ρ vind je de waarde in tabel 1 in je leeropdrachtenboek. Dan volgt:

$$l = \frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{1,2 \times 0,049}{0,017} = 3,5 \, \text{m}$$

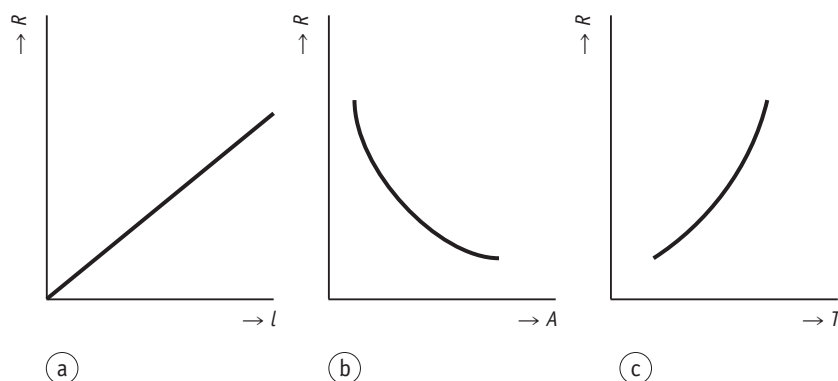
- c Als Erwin zijn meting pas na een tijdje doet, is de draad al warm geworden. De waarde van de soortelijke weerstand die in vraag b is gebruikt, hoort niet bij een hogere temperatuur.

*21 a Zie figuur 5a.

b Zie figuur 5b.

- c Zie figuur 5c. Hoe de weerstand precies stijgt bij toenemende temperatuur, is niet zo belangrijk hier.

- d Bij een omgekeerd evenredig verband geldt: als de ene grootte x keer zo groot wordt, dan wordt de andere grootte x keer zo klein. Dat is het geval bij verband b.



► figuur 5

- 22 – Als je alleen naar de lengtes van de draden kijkt, dan zou je zeggen $R_A = 2 \cdot R_B$, want A is $2\times$ zo lang als B.
- Omdat de doorsnede evenredig is met de diameter in het kwadraat, is de doorsnede van B $2^2 = 4\times$ zo groot als die van A. Dus als je alleen naar de doorsnede kijkt, dan zou je zeggen: $R_A = 4 \cdot R_B$.
- Als je nu beide conclusies combineert, dan vind je antwoord A: $R_A = 8 \cdot R_B$.

Plus Supergeleiding

- 23 a Supergeleiding is het verschijnsel dat een materiaal bij (zeer) lage temperaturen geen elektrische weerstand meer heeft.
- b De sprongtemperatuur is de temperatuur waaronder een materiaal supergeleidend wordt.
- c Een magneetveld kun je opwekken met elektromagneten, dus met spoelen waar stroom doorheen gaat.
- d Als de spoelen geen weerstand hebben, kun je er een hoge stroom doorheen laten gaan zonder dat de spoelen te heet worden en er dus veel energie verloren gaat.
- e Je moet de supergeleiders wel sterk afkoelen en dat kost natuurlijk energie. Bovendien moet er natuurlijk nog wel stroom door de spoelen lopen en stroom is nooit gratis.
- f Het zou mooi zijn als je met supergeleidende kabels elektrische energie kon transporteren. Maar je moet die kabels dan wel overal afkoelen tot een behoorlijk lage temperatuur, want er zijn nog geen materialen ontdekt die bij kamertemperatuur supergeleidend zijn.
- 24 a Supergeleiding is ontdekt door professor Heike Kamerlingh Onnes van de Universiteit van Leiden. Dat was in 1911.
- b Het zou mooi zijn als er materialen werden gevonden die supergeleidend zijn bij kamertemperatuur. Dan kunnen we voortaan door alle kabels (apparaten) stroom sturen zonder dat er vermogen (in de vorm van warmte) verloren gaat. Daardoor worden bijvoorbeeld sterke elektromagneten (zoals gebruikt voor MRI) een stuk goedkoper.
- c Het materiaal met de hoogste sprongtemperatuur was in 2014 een keramisch materiaal dat bestaat uit kwik, barium, calcium, koper en zuurstof. Dat wordt supergeleidend bij ongeveer $135\text{ K} = -138\text{ }^\circ\text{C}$.

3 Weerstanden schakelen

- 25 a Je kunt het lampje aansluiten op een batterij van 9 V door een weerstand in de schakeling op te nemen, in serie met het lampje.
- b Als je het aantal weerstanden in een serieschakeling vergroot, wordt de totale weerstand steeds groter.
- c Als je de afzonderlijke weerstanden vervangt door één weerstand met een waarde gelijk aan de vervangingsweerstand, (R_{tot}), dan maakt dat voor de rest van de schakeling niets uit (de stroomsterkte verandert in dat geval niet).
- d De formule voor het berekenen van de vervangingsweerstand van drie parallel geschakelde weerstanden is:

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

- 26 a In een serieschakeling is de stroomsterkte overal even groot.
- b In een parallelschakeling splitst de stroom zich bij elke vertakking.
- c In een parallelschakeling staat de volledige bronspanning over elke component (mits deze niet in serie staan met andere componenten).
- d In een serieschakeling verdeelt de spanning zich over de diverse componenten.

$$27 \quad R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + R_3 = 100 + 200 + 300 = 600 \, \Omega$$

$$U_{\text{tot}} = 12 \, \text{V}$$

$$I = \frac{U_{\text{tot}}}{R_{\text{tot}}} = \frac{12}{600} = 0,020 \, \text{A} = 20 \, \text{mA}$$

$$28 \quad \text{a} \quad \frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{20} + \frac{1}{120} = 0,05833..$$

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{0,05833..} = 17 \, \Omega$$

b Manier 1:

$$I_{\text{tot}} = \frac{U}{R_{\text{tot}}} = \frac{6,0}{17} = 0,35 \, \text{A}$$

Manier 2:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{6,0}{20} = 0,30 \, \text{A}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{6,0}{120} = 0,05 \, \text{A}$$

$$I_{\text{tot}} = I_1 + I_2 = 0,30 + 0,05 = 0,35 \, \text{A}$$

29 Als schakelaar 1 en 2 beide gesloten zijn, kun je voor elk lampje een route aanwijzen waarbij de stroom vanuit de batterij alleen door dat lampje stroomt. Elk lampje brandt dus op de volle spanning van de batterij. Het goede antwoord is D.

30 a Bij een serieschakeling wordt de spanning van de bron verdeeld over de componenten. Als er 23 identieke componenten zijn, dan wordt 230 V netjes verdeeld en krijgt elke

$$\text{component} \quad \frac{230}{23} = 10 \, \text{V}.$$

$$\text{b} \quad U_{\text{lampje}} = 10 \, \text{V}$$

$$I = 0,30 \, \text{A}$$

$$R_{\text{lampje}} = \frac{U_{\text{lampje}}}{I} = \frac{10}{0,30} = 33 \, \Omega$$

c De totale weerstand bereken je met de formule:

$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_{23}$$

Omdat de weerstand van elk lampje hetzelfde is (33,33.. Ω), volgt voor de totale weerstand:

$$R_{\text{tot}} = 23 \times 33,33.. = 7,7 \cdot 10^2 \, \Omega.$$

$$\text{d} \quad U_{\text{tot}} = 230 \, \text{V}$$

$$R_{\text{tot}} = 767 \, \Omega \text{ (niet afgerond zoals bij vraag c)}$$

$$I = \frac{U_{\text{tot}}}{R_{\text{tot}}} = \frac{230}{767} = 0,3 \, \text{A}$$

Dit is inderdaad gelijk aan de op de lampjes vermelde stroomsterkte.

31 Als je de weerstand van de variabele weerstand verandert in deze parallelschakeling, verandert er niets aan de spanning die over het ledlampje staat. Het lampje zal dus ook niet meer of minder licht gaan geven.

32 Er zijn twee manieren om dit aan te pakken.

Manier 1:

- Bereken eerst de totale weerstand:

$$U_{\text{tot}} = 9,0 \text{ V}$$

$$I = 18 \text{ mA} = 0,018 \text{ A}$$

$$R_{\text{tot}} = \frac{U_{\text{tot}}}{I} = \frac{9,0}{0,018} = 5,0 \cdot 10^2 \Omega$$

- Daarna gebruik je de formule voor de totale weerstand in een serieschakeling:

$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_{\text{led}}$$

$$500 = R_1 + 110$$

$$R_1 = 500 - 110 = 390 \Omega$$

Manier 2:

- Bereken eerst de spanning die over de led staat:

$$R_{\text{led}} = 110 \Omega$$

$$I = 18 \text{ mA} = 0,018 \text{ A}$$

$$U_{\text{led}} = I \cdot R_{\text{led}}$$

$$U_{\text{led}} = 0,018 \times 110 = 1,98 \text{ V}$$

- Daarna gebruik je de formule voor de spanning in een serieschakeling:

$$U_{\text{tot}} = 9,0 \text{ V}$$

$$U_{\text{tot}} = U_1 + U_{\text{led}}$$

$$9,0 = U_1 + 1,98$$

$$U_1 = 7,02 \text{ V}$$

$$R_1 = \frac{U_1}{I} = \frac{7,02}{0,018} = 390 \Omega$$

33

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{15} = \frac{1}{60} + \frac{1}{40} + \frac{1}{R}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{15} - \frac{1}{60} - \frac{1}{40} = 0,025$$

$$R = \frac{1}{0,025} = 40 \Omega$$

34 a Nummer voor het gemak de weerstanden van links naar rechts.

Voor de twee parallel geschakelde weerstanden geldt:

$$R_3 = 20 \Omega$$

$$R_4 = 20 \Omega$$

$$\frac{1}{R_{3,4}} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} = 0,10$$

$$R_{3,4} = \frac{1}{0,10} = 10 \Omega$$

$$R_1 = 20 \Omega$$

$$R_2 = 20 \Omega$$

$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + R_{3,4}$$

$$R_{\text{tot}} = 20 + 20 + 10 = 50 \Omega$$

Dus:

$$U_{\text{tot}} = 6,0 \text{ V}$$

$$R_{\text{tot}} = 50 \Omega$$

$$I = \frac{U_{\text{tot}}}{R_{\text{tot}}} = \frac{6,0}{50} = 0,12 \text{ A}$$

- b** De grootste weerstand krijg je als je alle vier weerstanden in serie schakelt:

$$R_{\text{tot}} = 20 + 20 + 20 + 20 = 80 \Omega$$

De kleinste weerstand krijg je als je alle vier weerstanden parallel schakelt:

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20} = 0,20$$

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{0,20} = 5,0 \Omega$$

(Omdat de vier weerstanden gelijk zijn, mag je ook meteen zeggen dat $R_{\text{tot}} = \frac{20}{4} = 5,0 \Omega$.)

- c** Er is in elk geval de methode van figuur 38 in je leeropdrachtenboek (50Ω) en dan zijn er de twee uit vraag b: 80Ω en $5,0 \Omega$. Je kunt ook nog drie weerstanden parallel zetten en die in serie zetten met de vierde; dan vind je een totale weerstand van $26,7 \Omega$. Je kunt ook twee groepjes van twee parallelle weerstanden in serie zetten; dan vind je een totale weerstand van 20Ω . Er zijn dus vijf verschillende waarden te maken.

- 35** Om de vervangingsweerstand van de gehele schakeling te bepalen, vervang je eerst de twee weerstanden van 120Ω in serie boven en onder door één weerstand van 240Ω . Je hebt dan een schakeling met twee weerstanden van 240Ω parallel en de vervangingsweerstand

daarvan is $\frac{240}{2} = 120 \Omega$. De totale stroomsterkte wordt dan: $\frac{240 \text{ V}}{120 \Omega} = 2 \text{ A}$ (beter: $2,00 \text{ A}$).

Dat is wat de ampèremeter aangeeft, want die meet de totale stroomsterkte.

- *36 a** $I = 19 \text{ mA} = 0,019 \text{ A}$

$$R_{\text{led}} = 80 \Omega$$

$$U_{\text{led}} = I \cdot R_{\text{led}} = 0,019 \times 80 = 1,52 \text{ V}$$

Dus:

$$U_{\text{tot}} = 4,5 \text{ V}$$

$$U_{\text{tot}} = U_{\text{led}} + U_{\text{R}}$$

$$U_{\text{R}} = 4,5 - 1,52 = 2,98 \text{ V}$$

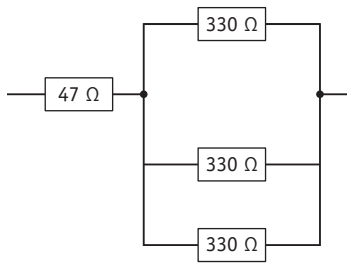
$$R = \frac{U_{\text{R}}}{I} = \frac{2,98}{0,019} = 1,6 \cdot 10^2 \Omega$$

De gevonden waarde voor de voorschakelweerstand is groter dan die van het kleinste weerstandje (47Ω). Dus dat kleinste weerstandje moet je niet parallel gaan zetten met de andere weerstandjes van 330Ω . De weerstandjes van 330Ω zijn 'te groot' en die moet je wel met zijn drieën parallel schakelen, anders houd je altijd een te grote vervangingsweerstand.

De volgende combinatie van de weerstandswaarden geeft de goede waarde van de vereiste vervangingsweerstand:

$$R_{\text{tot}} = 47 + \frac{330}{3} = 157 \Omega$$

b Zie figuur 6.



▲ figuur 6

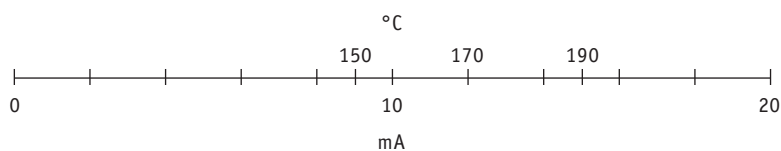
***37** Stel dat ik een paar weerstandjes A, B en C heb. A heeft daarvan de kleinste weerstandswaarde. Als ik A inbouw in een schakeling, moet alle stroom door A. Als ik nu een van de weerstanden B of C parallel aan A toevoeg aan de schakeling, komt er voor de stroom een 'tweede route' bij. Het wordt dus gemakkelijker voor de stroom om door de stroomkring te stromen. De totale weerstand is hierdoor dus lager geworden, lager dan de waarde van A.

Plus Meetschakelingen

38 a Zie de tabel.

- b** Zie de tabel. Tel bij alle getallen in de tweede kolom 200 Ω op (de weerstand van het voorschakelweerstandje in de schakeling).
- c** De stroomsterkte bereken je door de bronspanning (6,0 V) te delen door de totale weerstand en daarna om te rekenen naar mA.
- d** Zie figuur 7. Het is voldoende als je er drie temperaturen bij zet.
- e** Er is een weerstandje in serie bijgeplaatst om te voorkomen dat de stroomsterkte te groot wordt. Als een NTC warmer wordt, neemt de weerstand af en kan de stroomsterkte onveilig groot worden.

temperatuur (°C)	weerstand NTC (Ω)	totale weerstand (Ω)	stroomsterkte (mA)
150	460	660	9,1
160	370	570	10,5
170	300	500	12,0
180	240	440	13,6
190	195	395	15,2
200	160	360	16,7



▲ figuur 7

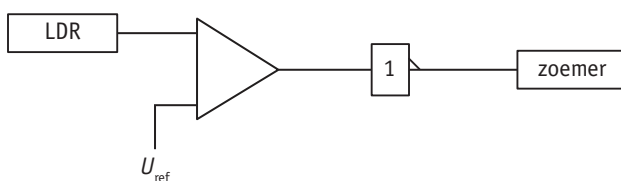
4 Schakelingen in de automatisering

- 39** a Een systeem bestaat uit de onderdelen invoer, verwerking en uitvoer.
 b Er zijn meetsystemen, stuursystemen en regelsystemen.
 c Voorbeelden van sensoren zijn de lichtsensor, de temperatuursensor, de druksensor, de geluidssensor, de versnellingssensor.
 d De comparator vergelijkt het signaal dat van een sensor komt met een vooraf door de gebruiker ingestelde (gewenste) waarde.
 e Je gebruikt een EN-poort als je twee signalen hebt die allebei 0 of 1 kunnen zijn en je wilt dat er pas iets gebeurt (dat er een 1 komt) als beide signalen 1 zijn.

40 invoer: LDR, NTC
 verwerking: comparator, EN-poort, invertor
 uitvoer: elektromotor, ledlampje, relais, zoemer

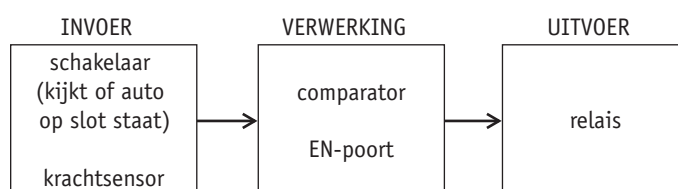
- 41** a regelsysteem
 b stuursysteem
 c meetsysteem
 d meetsysteem
 e regelsysteem
 f stuursysteem

- 42** a – Lens 1 moet van een divergente bundel een evenwijdige bundel maken.
 – Lens 2 moet van de evenwijdige bundel een convergente bundel maken: al het licht valt dan geconcentreerd op de LDR (die zich in het brandpunt van lens 2 bevindt).
 b Zie figuur 8. De LDR werkt als een lichtsensor. Als de lichtsterkte onder een bepaalde waarde komt, dan moet een zoemer aangaan (je zou ook nog een relais kunnen invoegen die een alarmsysteem aanzet). De invertor is nodig, omdat de comparator een 0 geeft als de lichtsterkte laag wordt en je wilt dat de zoemer dan juist aan gaat.
 c Ir-straling is onzichtbaar. Een inbreker zal zo'n alarm minder snel ontdekken dan een inbraakalarm met zichtbaar licht.



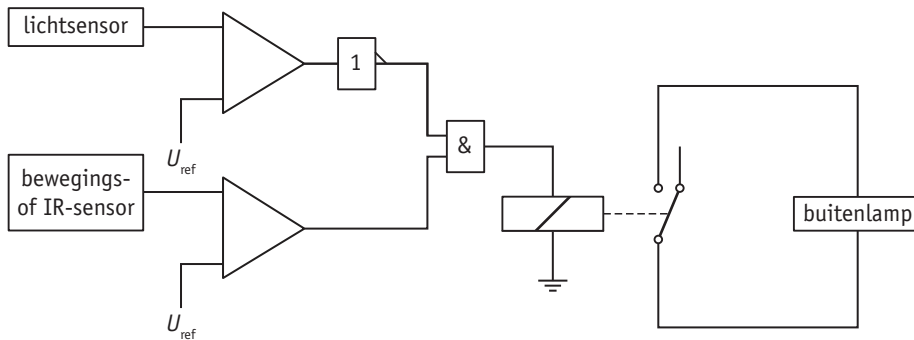
▲ figuur 8

- *43** a Zie figuur 9.
 b Zie figuur 9. Er zijn twee sensoren nodig: een sensor die 'kijkt' of de auto op slot staat en een sensor die meet hoe hard er aan de auto getrokken of geduwd wordt. Voor de eerste sensor kun je een schakelaar nemen die een 1 geeft als de auto op slot staat. Voor de tweede sensor kun je een versnellingssensor of een krachtsensor gekoppeld aan een zwaar voorwerp gebruiken.



► figuur 9

- c Zie figuur 9. Je hebt een comparator nodig om te onderzoeken of er harder dan normaal getrokken of geduwd wordt. Je hebt een EN-poort nodig om te kijken of aan beide voorwaarden wordt voldaan: de auto is op slot én er wordt hard geduwd/getrokken.
- d Zie figuur 9. Met een relais kun je zowel de sirene als de autolampen aanzetten.
- e Er is geen terugkoppeling zoals bij een regelsysteem; er wordt namelijk niet een bepaalde grootte op een bepaalde waarde gehouden. Wel is het zo dat als de autodief niet meer duwt of trekt, het alarm weer uitgaat. Dat zou je een terugkoppeling kunnen noemen.
- *44 a** Zie figuur 10. Als het donker wordt, daalt de spanning die de lichtsensor afgeeft aan de comparator. Die schakelt dan van 1 naar 0. Omdat je juist een 1 wilt als het donker wordt, heb je nog een inverter nodig. Voor de andere sensor, een bewegings- of infraroodsensor, is alleen een comparator nodig. Er is een EN-poort nodig om te onderzoeken of het én donker is én of er iemand bij de buitenlamp is. Dan geeft de EN-poort een 1 op de uitgang en schakelt het relais de buitenlamp in.
- b De lichtsensor is bedoeld om te onderzoeken of het buiten donker is. Als deze niet is afgeschermd, zal het licht van de buitenlamp op de sensor vallen en 'denkt' die dat het buiten niet meer donker is. Dan zou de lamp weer uitgaan. Maar dan 'denkt' de lichtsensor dat het weer avond is en zal de lamp weer aangezet worden door het systeem. Zo zal dat de hele tijd doorgaan.



▲ figuur 10

- 45 a** Een alarm wordt aangestuurd, dus dit is een stuursysteem.
- b** Het reedcontact is de sensor. Het is een sensor die maar twee standen kent: 0 en 1.
- c** Het relais is de actuator.
- d** Zie figuur 11.



▲ figuur 11

- 46** Als het koud is in de ruimte, zet het systeem het verwarmingselement aan. Het wordt dan warmer. Als de sensor meet dat het 20 °C is, zet het systeem het verwarmingselement weer uit. Maar dat element is nog warm en zal nog een tijdje de lucht in de ruimte verder opwarmen. Misschien wordt het dus nog wel 21 °C in de ruimte voordat er echt geen nieuwe warmte meer van het element komt. De temperatuur gaat dan zakken en op een bepaald moment komt deze onder de 20 °C. Op dat moment wordt het element weer ingeschakeld. Maar het duurt even voordat dit element voldoende warmte levert om de ruimte op te warmen. In die tijd kan de temperatuur in de ruimte nog wat zakken, onder de 20 °C. Conclusie: de temperatuur schommelt rond 20° C.

47 a

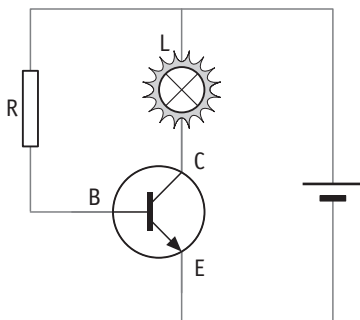
ingang 1	ingang 2	uitgang
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

b

ingang 1	ingang 2	ingang 3	uitgang
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1

Plus De transistor

- 48 a Een transistor functioneert in een schakeling als een (automatische) schakelaar.
 b de collector, de emitter en de basis
 c De transistor laat de 'apparaatstroom' door als er een kleine stroom loopt van de basis (B) naar de emitter (E).
 d De transistor houdt de 'apparaatstroom' tegen als er geen of maar heel weinig stroom van de basis naar de emitter loopt.
- 49 a Zie figuur 12.
 b De stroom door het lampje is het grootst. De stroom door het lampje is gelijk aan de stroom die van de collector naar de emitter loopt, en deze is altijd veel groter dan de basisstroom die door de weerstand loopt.
 c Als Fida haar hand over de LDR legt, wordt de weerstand van de LDR heel groot. De stroomsterkte door de basis wordt dan heel klein. Er kan dan geen stroom meer lopen van de collector naar de emitter: het lampje gaat uit.



▲ figuur 12

- 50 a – De NTC werkt als sensor.
 – De weerstand van de NTC neemt af als de temperatuur stijgt.
 – De schakelstroom wordt in dat geval groter.
 b Weerstand 2. Deze begrenst de stroom door de NTC. Bij een te grote stroomsterkte zou die stuk kunnen gaan.
 c Weerstand 1 begrenst de stroom door de basis van de transistor.

Test Jezelf

- 1 a statische
b E
- 2 5,6 A
- 3 A
- 4 a meetsystemen, stuursystemen, regelsystemen
b regelsysteem; stuursysteem; meetsysteem; stuursysteem
- 5 17,5 Ω
- 6 C
- 7 40 V
- 8 a onwaar
b waar
c onwaar
d waar
e onwaar
- 9 19 °C (antwoord moet tussen 18 en 20 °C liggen)
- 10 25 Ω
- 11 a onwaar
b waar
c onwaar
d onwaar
e waar
- 12 a 5,0 V
b 1,0 V
c 0,5 A
d 2,0 A
- 13 82 Ω (81,8 Ω)
- 14 a een comparator
b nee
- 15 4 : 1
- 16 0,5 Ω
- 17 a De weerstand van R_1 is even groot als die van R_2 en R_3 samen (namelijk 6 Ω).

Weerstandje R_1 krijgt dus de helft van de spanning van de bron: $\frac{24}{2} = 12$ V. Je kunt ook eerst de stroomsterkte uitrekenen: $\frac{24 \text{ V}}{12 \Omega} = 2,0$ A. De spanning over weerstand 1 is dan $2,0 \text{ A} \times 6 \Omega = 12$ V.

- b** Methode 1: het aandeel van weerstand 3 in de totale weerstand is $\frac{2}{12} = \frac{1}{6}$. Over weerstand 3 staat dan ook $\frac{1}{6}$ deel van de bronspanning: $\frac{24}{6} = 4,0$ V.

Methode 2: bij vraag a was al de stroomsterkte uitgerekend: 2,0 A. De spanning over weerstand 3 is dan $2,0 \text{ A} \times 2 \Omega = 4,0$ V.

- 18 a** Door het opnemen van de weerstand krijgen de leds precies de juiste spanning. Zonder deze weerstand zou de spanning over de leds te groot worden (namelijk $\frac{9,0}{2} = 4,5$ V) en zouden ze stuk gaan.

- b** De spanning over beide ledjes samen is $2 \times 1,6 = 3,2$ V.

$$U_{\text{tot}} = U_{\text{leds}} + U_R$$

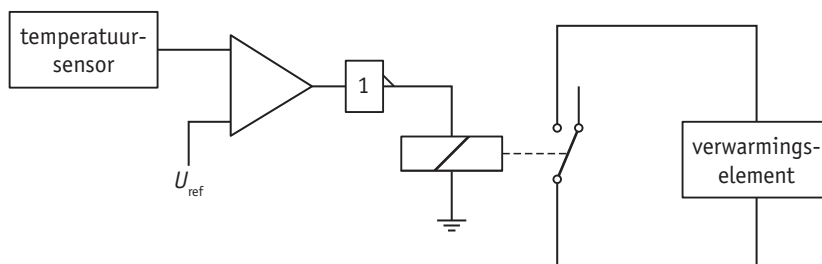
$$9,0 = 3,2 + U_R$$

$$U_R = 9,0 - 3,2 = 5,8 \text{ V}$$

$$I = 20 \text{ mA} = 0,020 \text{ A}$$

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{5,8}{0,020} = 290 \Omega$$

- 19** Zie figuur 13. Er is een invertor nodig om ervoor te zorgen dat het verwarmingselement juist uitgaat als de temperatuur te hoog wordt.



▲ figuur 13

- 20** De soortelijke weerstand van constantaan kun je vinden in tabel 1 in je leeropdrachtenboek. Uit de formule voor de weerstand van een draad volgt:

$$A = \frac{\rho \cdot l}{R} = \frac{0,45 \times 4,0}{2,0} = 0,90 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dus: } A = \pi \cdot r^2 = 0,90 \text{ mm}^2, \text{ dus } r = \sqrt{\frac{0,90}{3,14}} = 0,54 \text{ mm.}$$

- 21** Noem de spanning over de weerstand van $4,7 \Omega$ U_1 en noem de spanning over de twee parallel geschakelde weerstandjes U_2 . Dan moet gelden:

$$1 \quad U_1 + U_2 = 4,5 \text{ (bronspanning wordt verdeeld)}$$

$$2 \quad 0,3 \cdot R = U_2 \text{ (spanning over weerstanden die parallel staan is gelijk)}$$

$$3 \quad 0,3 + \frac{U_2}{10} = \frac{U_1}{4,7} \text{ (stroomsterkte)}$$

Als je U_2 in 3 vervangt door $(4,5 - U_1)$ en 3 verder uitwerkt, dan vind je: $U_1 = 2,4$ V. Daaruit volgt $U_2 = 2,1$ V en daaruit volgt met 2 dat $R = 7,0 \Omega$.

Praktijk**Speuren naar metalen**

- 1
 - a Ja. Hoe groter de munt, des te groter is de inductiestroom (en de kans op opsporing).
 - b Ja. Hoe dieper de munt onder de grond zit, des te kleiner is de inductiestroom (en de kans op opsporing).
 - c Ja. Hoe beter het metaal van de munt geleidt, des te groter is de inductiestroom (en de kans op opsporing).
 - d Ja. Hoe 'horizontaler' de positie van de munt, des te groter is de inductiestroom (en de kans op opsporing).
- 2
 - a Met metaaldetectoren kan men voorwerpen opsporen die van metaal gemaakt zijn.
 - b bijvoorbeeld naalden, schroefjes en metaalsplinters
- *3 De soortelijke weerstand bepaalt de weerstand van een voorwerp (samen met zijn afmetingen).
Stel dat de afmetingen dezelfde zijn.
Dan heeft het voorwerp met de laagste soortelijke weerstand ook de laagste weerstand.
Als de detector een inductiestroom opwekt in een metalen voorwerp, zal die stroom groter zijn als de weerstand van het voorwerp lager is.
Als de inductiestroom groter is, zal het magnetisch veld dat deze stroom opwekt ook groter zijn.
De kans op detectie is dan groter.
- 4 Je docent zal je vertellen hoe deze opdracht nagekeken en beoordeeld wordt.

7 Radioactiviteit

1 Soorten straling

- 1
 - a gelijk aan de lichtsnelheid: ongeveer $300\,000\text{ km/s} = 3,0 \cdot 10^8\text{ m/s}$
 - b radiogolven en infraroodstraling
 - c röntgenstraling
 - d De straling kan worden doorgelaten, geabsorbeerd en gereflecteerd.
- 2
 - a gammastraling, dat is de enige straling in figuur 3 in je leeropdrachtenboek die krachtiger is dan röntgenstraling
 - b röntgenstraling
 - c zichtbaar licht

voorbeeld van een stralingsbron	soort straling
radio	radiogolven
radiator van een cv	infrarode straling
tv-scherm	(zichtbaar) licht
zonnebank	ultraviolette straling
röntgenapparaat	röntgenstraling

- 4
 - a De frequentie is gelijk aan het aantal golven dat per seconde ontstaat. In figuur 7 in je leeropdrachtenboek is af te lezen dat tussen $t = 0\text{ s}$ en $t = 1\text{ s}$ twee volledige golven zijn ontstaan (er zijn immers twee golflengtes in het touw te zien). De frequentie is dus gelijk aan 2 Hz .
 - b In figuur 7 kun je met de schaal de afmetingen in de afbeelding omrekenen naar werkelijke afmetingen. Het afgebeelde balkje is 1 cm en in werkelijkheid 1 m . De schaal is dus $1\text{ cm} \triangleq 1\text{ m}$.
Op $t = 2\text{ s}$ zijn er vier golflengtes in het touw te zien, deze hebben op de tekening een lengte van $7,1\text{ cm}$, in werkelijkheid dus $7,1\text{ m}$.
 $4\lambda = 7,1\text{ m}$
$$\lambda = \frac{7,1}{4} = 1,8\text{ m}$$
 - c De golven leggen een afstand af van $7,1\text{ m}$ in 2 s . De snelheid is dus:
$$v = \frac{s}{t} = \frac{7,1}{2} = 3,55\text{ m/s} = 3,6\text{ m/s}$$
- *5
 - a De afstand tussen Mars en de aarde verandert voortdurend, omdat beide planeten in een eigen baan om de zon cirkelen, elk met een eigen omlooptijd.
 - b De tijd in seconden is $t = (13 \times 60) + 48 = 828\text{ s}$. De snelheid van het radiosignaal is $v = 3,0 \cdot 10^8\text{ m/s}$.
 $s = v \cdot t = 3,0 \cdot 10^8 \times 828 = 2,5 \cdot 10^{11}\text{ m} = 250\text{ miljoen km}$

- c De lichtsnelheid zal iets kleiner zijn, omdat licht door materie langzamer gaat dan door vacuüm.
- d De dikte van de atmosfeer is heel veel kleiner dan de afstand tussen Mars en de aarde. Ook is het verschil in lichtsnelheid tussen vacuüm en lucht minimaal.
- 6 In tabel 2 in je leeropdrachtenboek kun je de eigenschappen en golflengtes van de soorten straling aflezen:
- a Argon zendt ir-straling uit.
Helium-cadmium zendt zichtbaar licht uit.
Koper zendt zichtbaar licht uit.
Krypton fluoride zendt uv-straling uit.
Robijn zendt zichtbaar licht uit.
Stikstof zendt uv-straling uit.
- b Helium-cadmium zendt blauw licht uit.
Koper zendt groenblauw licht uit.
Robijn zendt rood licht uit.
- 7 a de ogen en de mond
b ongeveer 37 °C
c de neus
d 's Nachts zijn alle voorwerpen in de omgeving flink afgekoeld. Deze zenden dus veel minder ir-straling uit. Een warm 'object' (bijvoorbeeld een inbreker) is dan veel beter zichtbaar op zo'n opname.
- 8 a Het metaal van de veiligheidsspeld houdt de röntgenstraling meer tegen dan het weefsel eromheen.
b lucht – kleding – weefsel – beenderen – voorwerp
- *9 a $100\% - 9\% - 82\% = 9\%$
b Er wordt 82% van de opvallende straling doorgelaten door één ruit.
Door drie ruiten achter elkaar wordt dan $82\% \times 82\% \times 82\% = 55\%$ van de opvallende straling doorgelaten.
(Een fractie van het gereflecteerde licht bij de tweede en derde ruit kan (eventueel na meerdere reflecties) ook nog door de laatste ruit dringen, daarom is dit de *minimale* hoeveelheid licht die wordt doorgelaten.)
c – De coating zal ook licht absorberen, dus de hoeveelheid geabsorbeerd licht neemt toe.
– Er wordt meer licht geabsorbeerd, dus de hoeveelheid doorgelaten licht neemt af.
– De coating zal ook licht reflecteren, dus neemt de hoeveelheid gereflecteerd licht af.
d Als het in het kantoor heel warm is, zal de coating ervoor zorgen dat de straling (waaronder ir-straling) vanuit het kantoor ook moeilijker door de ruiten naar buiten kan treden.
Hierdoor zal het in het kantoor warmer zijn dan wanneer er geen coating was gebruikt.
- 10 a – radiogolven
– ir-straling
– groen licht
– röntgenstraling
b $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 $\lambda = 10 \text{ cm} = 0,10 \text{ m}$
$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,0 \cdot 10^8}{0,10} = 3,0 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$
- 11 a $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 $f = 93,4 \text{ MHz} = 93,4 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,0 \cdot 10^8}{93,4 \cdot 10^6} = 3,2 \text{ m}$$

- b In figuur 3 in je leeropdrachtenboek kun je aflezen dat een golflengte van 3,2 m hoort bij een FM-zender.
 - c In figuur 3 in je leeropdrachtenboek kun je zien dat de golflengte van radiogolven loopt van 1 cm (korte golf) tot 100 m (lange golf). Hier geldt $\lambda = 3,2$ m en dus is dit de middengolf.
- *12 a** Licht met een golflengte van 500 nm is blauw. Omdat de staafjes daarvoor het gevoeligste zijn, zie je alles een beetje blauw.
- b** Van hoofdstuk 3 en de biologieles weet je misschien nog dat staafjes geen kleuren onderscheiden. Je ziet dan alles zwart-wit. Alle gekleurde voorwerpen zie je dan een beetje blauw.

Plus Fotonen

- 13 a** beide
b beide
c deeltjes
- *14 a** Een foton is een energiepakketje.
- b** $\lambda = \frac{c}{f}$ en dus is $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,0 \cdot 10^8}{589 \cdot 10^{-9}} = 5,09 \cdot 10^{14}$ Hz
- c** $E = h \cdot f = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 5,09 \cdot 10^{14} = 3,37 \cdot 10^{-19}$ J
- d** vermogen van de straling = aantal fotonen per seconde $\times$ energie van één foton
 $15 = \text{aantal} \times 3,37 \cdot 10^{-19}$ J
- $$\text{aantal} = \frac{15}{3,37 \cdot 10^{-19}} = 4,44 \cdot 10^{19}$$

2 Ioniserende straling

- 15 a** ultraviolette straling
b De dosimeter registreert hoeveel straling de drager bij het werk oploopt. Je kunt de straling van radioactieve stoffen namelijk niet zien, horen of voelen. De werknemer mag niet te veel straling ontvangen, want dat is gevaarlijk voor zijn gezondheid.
c Van het aantal protonen en neutronen in de atoomkern.
d Het massagetal van de atoomkern daalt met vier en het atoomnummer met twee.
e kernkracht
- 16 a** isotopen
b Het getal 12 noem je het massagetal. Dit is gelijk aan het aantal protonen en neutronen (dus het totale aantal deeltjes) in de kern.
c Het atoomnummer van koolstof is 6. Het atoomnummer is gelijk aan het aantal protonen in de kern.
- 17 a** bij gammaverval
b bij bètaverval
c bij alfaverval
- 18 a** 94
b 146
c 94

- 19** a Gammastraling. Hierbij veranderen het atoomnummer en het massagetal immers niet.
 b Bètastraling. Het massagetal verandert niet, maar het atoomnummer wel (om precies te zijn: het atoomnummer neemt met 1 toe). Dit kan alleen bij bètaverval.
 c Alfastraling. Het massagetal neemt met 4 af, en het atoomnummer verandert ook (om precies te zijn: het neemt met 2 af). Dit kan alleen bij alfaverval.
- 20** a Radium heeft vier instabiele isotopen.
 b Radium komt ook in de natuur voor (het ontstaat als vervalproduct van andere instabiele isotopen).
 c 88 protonen, want het atoomnummer van radium is 88
 138 neutronen, want $226 - 88 = 138$
 d Radium-228 zendt bètastraling uit. Het atoomnummer neemt dus met 1 toe. Als je in het periodiek systeem kijkt, zie je dat de atoomsoort actinium (Ac) ontstaat.
- 21** a ${}_{-1}^0\text{e}$ (het atoomnummer neemt immers met 1 toe)
 b ${}_{91}^{234}\text{Pa}$ (het atoomnummer neemt bij dit bètaverval ook met 1 toe)
 c ${}_{83}^{210}\text{Bi}$ (het massagetal verandert bij bètaverval niet)
 d ${}_{84}^{210}\text{Po}$ (het atoomnummer neemt bij dit bètaverval weer met 1 toe)
 e ${}_{2}^4\text{He}$ (het massagetal neemt hier met 4 af en het atoomnummer neemt met 2 af)
- *22** a ${}_{94}^{240}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{236}\text{U} + {}_{2}^4\text{He}$
 b ${}_{88}^{224}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{220}\text{Rn} + {}_{2}^4\text{He}$
- *23** a Een alfadeeltje. In het diagram kun je zien dat het massagetal met 4 afneemt, en het atoomnummer neemt met 2 af.
 b Een bètadeeltje. In het diagram kun je zien dat het massagetal gelijk blijft, en het atoomnummer neemt met 1 toe.
 c P en S zijn isotopen. In het diagram kun je zien dat ze beide hetzelfde atoomnummer hebben (atoomnummer 90).
- 24** a Misschien denk je dat het waar is, maar het is niet zo. Als de producten radioactief werden, zouden ze niet verkocht mogen worden.
 b Als je eiwit of eigeel verhit, vindt er een reactie plaats waardoor je een vaste stof overhoudt. De kwaliteit van het product gaat dan sterk achteruit.
 c Als je alleen de toegestane conserveringsmiddelen gebruikt, is het nadeel klein. Maar sommige klanten hebben liever helemaal geen conserveringsmiddelen.
 d Je kunt kiezen voor de doorstraalde garnalen, omdat die geen conserveringsmiddelen bevatten. Je vertrouwt er dan op dat ze volgens de natuurkunde niet radioactief worden. Of je kiest voor de garnalen met conserveringsmiddel. Dan vertrouwt je erop dat er voldoende controle is op de hoeveelheid en de schadelijkheid van de middelen. Je kunt er natuurlijk ook voor kiezen helemaal geen garnalen te kopen.
- *25** a De lading van een proton is even groot, maar tegengesteld, aan de lading van een elektron. De beide ladingen samen heffen elkaar dus op ('plus en min heffen elkaar op').
 b Het volume van een theelepel is ongeveer 5 cm^3 .
 $V = 5\text{ cm}^3 = 5 \cdot 10^{-6}\text{ m}^3$
 $\rho = 1,0 \cdot 10^{17}\text{ kg/m}^3$
 $m = \rho \cdot V = 1,0 \cdot 10^{17} \times 5 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{11}\text{ kg}$ (ongeveer 500 miljoen ton)
 'Een miljard ton' komt overeen met $1 \cdot 10^9 \times 1000\text{ kg} = 1 \cdot 10^{12}\text{ kg}$.
 Beide getallen zijn van dezelfde orde van grootte, dus de bewering in de tekst is juist.

Plus Röntgenstraling

- 26** – Bij het onderzoek van schilderijen. Met röntgenstraling kun je door de verflaag heen kijken en zien wat zich daaronder bevindt.
- In de industrie, bijvoorbeeld voor het controleren van lasnaden.
 - Door beveiligingsdiensten, bijvoorbeeld bij het doorlichten van koffers, containers en dergelijke.
 - In de sterrenkunde, bijvoorbeeld door het bestuderen van de röntgenstraling die sterren uitzenden.
 - In de wetenschap, bijvoorbeeld door het bestralen van kristallen. Met röntgenstraling kun je dan achterhalen hoe het kristal opgebouwd is.
- 27** **a** Met een röntgenfoto kun je snel zien of er ontstekingen zijn. Ook kun je zien of tanden en kiezen onder een vulling zijn aangetast.
- b** Vullingen zijn wit op de foto. Ze laten dus weinig straling door.
- c** Weefsel is het donkerste op de foto en laat dus de meeste straling door. Ook de wortelkanalen laten meer straling door en zijn daardoor donker.
- d** De tandarts maakt elk jaar heel veel röntgenfoto's. Zou ze in de kamer blijven, dan kan ze een te hoge stralingsdosis krijgen.
- e** Het voordeel is dat je dan weet of je gebit gezond is. Nadelen zijn de hogere stralingsdosis en de hogere kosten.

3 Bescherming

- 28** **a** bètastraling
- b** De equivalente dosis geeft aan hoeveel biologische schade een bepaalde hoeveelheid straling veroorzaakt.
- c** De equivalente dosis wordt gemeten in sievert (Sv).
- d** Er is sprake van bestraling als er van buitenaf ioniserende straling op je lichaam valt. Er is sprake van besmetting als een stralingsbron (radioactieve stof) op of in je lichaam terechtkomt.
- 29** **a** Gammastraling heeft een veel groter doordringend vermogen en kan van buitenaf diep doordringen in je lichaam en daar schade aanrichten aan vitale organen. Alfa- en bètastraling komen niet verder dan je huid.
- b** Alfastraling heeft weliswaar een klein doordringend vermogen, maar dat betekent ook dat deze straling heel snel zijn (grote hoeveelheid) energie afgeeft aan het omliggend weefsel. Dat kan daardoor grote schade veroorzaken.
- c** Lood heeft een grote dichtheid; daardoor kan de gammastraling moeilijk door deze stof heendringen.
- 30** A zendt alfastraling en gammastraling uit. Een deel van de straling wordt tegengehouden door papier; de overblijvende straling wordt (gedeeltelijk) tegengehouden door lood.
B zendt gammastraling uit. De straling wordt (gedeeltelijk) tegengehouden door lood.
C zendt bètastraling uit. De straling dringt niet door een plaatje aluminium.
D zendt alfastraling uit. De straling dringt niet door papier.
- 31** **a** Een alfastraler is een radioactieve stof die alfastraling uitzendt.
- b** Doordat de alfastraler wordt ingeademd.
- c** De longen zullen dan (de energie van) de alfastraling absorberen die vrijkomt bij het verval van de alfastraler. Dit verhoogt het risico op ernstige stralingsschade.

- 32 a** – Er is een dikte van 12 mm nodig.
– Er is een dikte van 40 mm nodig.
- b** $4,5 \text{ cm} = 45 \text{ mm}$
Er wordt dan (ongeveer) 7,5% van de straling doorgelaten. De container houdt dus $100\% - 7,5\% = 92,5\%$ tegen.
- 33** 1 korte tijd
2 voorkomen van besmetting
3 voorkomen van besmetting, een grote afstand
4 afscherming
- 34 a** Elk beroep brengt bepaalde risico's met zich mee. Bij vliegtuigbemanningen is dat een verhoogd risico op een vliegtuigongeluk en een verhoogde dosis ioniserende straling.
- b** Een retourvlucht levert een extra stralingsdosis op van $2 \times 0,075 = 0,15 \text{ mSv}$. Dat komt overeen met $\frac{0,15}{2,5} \times 100\% = 6,0\%$. Of je dat extra risico acceptabel acht, kun je alleen zelf bepalen. Op die vraag bestaat geen juist antwoord.
- c** De ongeboren baby is extra gevoelig voor stralingsschade (omdat alle organen zich nog volop moeten ontwikkelen).
- d** Een retourvlucht levert een extra stralingsdosis op van 0,15 mSv.
 $\frac{1}{0,15} = 6,7$
De stewardess mag dus niet vaker dan zes keer een retourvlucht maken.

35

soort straling	ioniserend vermogen	doordringend vermogen
alfastraling	hoog	laag
bètastraling	niet hoog/niet laag	niet hoog/niet laag
gammastraling	hoog	hoog
röntgenstraling	hoog	hoog

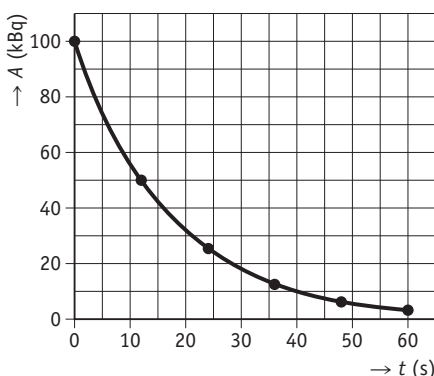
- 36 a** Gammastraling. Deze kan van buitenaf gemakkelijk in het lichaam van de patiënt binnendringen.
- b** Op die manier wordt het gezonde weefsel rondom de tumor zo kort mogelijk bestraald en is daar de kans op stralingsschade dus kleiner. De tumor zelf wordt permanent bestraald.
- c** Door de opening moet de gammastraling naar buiten kunnen treden. De opening bevindt zich dus aan de zijde van het omhulsel die naar de patiënt is gericht.
- *37 a** In totaal zijn er $\frac{100\%}{0,5\%} = 200$ kobaltbronnen.
- b** De straling uit de 200 bronnen is gericht op één punt: de plek waar de tumor zich bevindt. Dit punt absorbeert dus van alle 200 bronnen een hoeveelheid straling.
- c** Het hoofd mag niet bewegen, omdat anders de straling niet meer precies op de plek van de tumor terechtkomt.
- d** Bij dit systeem kan de behandeltime van de patiënt veel korter zijn. In plaats van één bron zijn er hier immers 200 bronnen aan het werk om de tumor te bestralen.

Plus Dracht en halveringsdikte

- 38 a** Gammastraling wordt nooit helemaal geabsorbeerd, hoe dik een afscherming ook is.
b kleiner
c De dracht van een 1,0 MeV alfadeeltje in lucht is 0,5 cm (tabel 4). Bij een 1,0 MeV bètadeeltje is dat 280 cm. Ook bij andere waarden van de energie is de dracht van het bètadeeltje groter dan van het alfadeeltje. Bij een hoger ioniserend vermogen raakt het deeltje sneller zijn energie kwijt en is de dracht daardoor kleiner.
d groter
e Bij een hoge energie kan het deeltje meer ionisaties veroorzaken voordat het al zijn energie verloren heeft.
f In weefsel is de afstand tussen de moleculen veel kleiner dan in lucht. De straling komt daardoor per cm in weefsel veel meer atomen tegen en veroorzaakt per cm dan ook meer ionisaties. Dan moet de dracht kleiner zijn.
g Nee. Als de energie n keer zo groot wordt, wordt de dracht niet n keer zo groot.
- *39 a** De halveringsdikte is de afstand waarover de intensiteit van de straling gehalveerd wordt.
b De dikte is 3,0 cm, dat is drie keer de halveringsdikte. De straling wordt dus drie keer gehalveerd. Dan blijft er over: $100 \times 0,5 \times 0,5 \times 0,5 = 12,5\%$.
c Een afname met 97% betekent dat er nog 3% overblijft. Na 3,0 cm was er nog 12,5% over. Na 4,0 cm dus nog 6,25% en na 5,0 cm is er nog 3,1% over. Afgerond is dat de gevraagde 3%. Het antwoord is dus 5,0 cm.
- 40** De halveringsdikte geeft aan in welke mate een stof de straling absorbeert. Stoffen met een verschillende halveringsdikte zullen niet evenveel straling doorlaten. Dat verschil zie je op een röntgenfoto.

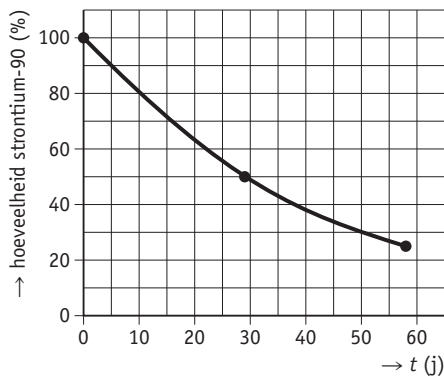
4 Activiteit en halveringstijd

- 41 a** een geigerteller
b Dat is het aantal atoomkernen dat elke seconde vervalst.
c in de eenheid becquerel
d achtergrondstraling
- 42** Zie figuur 1.
 De halfwaardetijd $t_{1/2} = 12$ s, de activiteit in het begin = 100 kBq.
 Na 12 s is de activiteit nog 50 kBq.
 Na 24 s is de activiteit nog 25 kBq.
 Na 36 s is de activiteit nog 12,5 kBq.
 Na 48 s is de activiteit nog 6,25 kBq.
 Na 60 s is de activiteit nog 3,125 kBq.



◀ figuur 1

- 43 a** [1] bètastraling. Deze wordt al tegengehouden door een plaatje aluminium.
b [2] gammastraling. Deze straling dringt wel door een plaatje aluminium (alfastraling kan niet door een plaatje aluminium heendringen).
- 44 a** Na 29 jaar is nog 50% strontium-90 over. Na 58 jaar is dat nog 25%. In 2030 is 50 jaar verstreken sinds de laatste atoomproef in 1980. In 2030 zal er dus wat meer dan 25% over zijn. Hoeveel meer? Acht jaar is ongeveer 30% van de halveringstijd. Schatting ligt tussen 28 en 32%.
b Zie figuur 2.
 In de grafiek kun je zien dat na 50 jaar nog ongeveer 30% van de strontium-90 aanwezig is.
c Die beoordeling moet je zelf maken.



◀ figuur 2

- 45 a** Voor medische doeleinden kun je alleen maar isotopen gebruiken met een tamelijk korte halveringstijd. In de natuur zijn die isotopen door verval al lang verdwenen.
b Jood verzamelt zich in de schildklier. Het functioneren van de schildklier kun je daarom met jood-131 onderzoeken. Jood-131 wordt ook in tracers gebruikt.
c Jood-131 wordt geproduceerd in een kernreactor. Daarbij wordt de stof telluur bestraald met neutronen. Een atoom van telluur-130 absorbeert een neutron en vervalt daarna naar jood-131.
d De andere isotopen hebben een te korte of juist een te lange halveringstijd (zie tabel 8).
- 46 a** 6 uur
b In deze melk is nog een grote hoeveelheid van de radioactieve stof aanwezig; dat kan schadelijk zijn voor de baby.
c Er vervallen dan per seconde 1200 miljoen atomen.
d De halfwaardetijd $t_{1/2}$ is 6 uur, de activiteit in het begin is 1200 MBq.
 Na 6 uur is de activiteit nog 600 MBq.
 Na 12 uur is de activiteit nog 300 MBq.
 Na 18 uur is de activiteit nog 150 MBq.
 Na 24 uur is de activiteit nog 75 MBq.
- 47 a** Van iridium-192, jood-125 en strontium-89. Deze isotopen hebben een halveringstijd van meer dan 30 dagen (een maand).
b Van jood-131. Deze isotoop heeft een halveringstijd van iets meer dan een week (8,04 dagen).
c Van samarium-153. Deze isotoop heeft een halveringstijd van iets minder dan twee dagen (1,95 dagen).
- *48 a** De bron met jood-125 bevat de grootste hoeveelheid jood. Deze isotoop heeft de grootste halveringstijd, dus om dezelfde activiteit (= aantal atomen dat per seconde vervalt) te bereiken, heb je van deze isotoop veel meer atomen nodig.
b De activiteit van de bron met jood-131 neemt het snelst af. Deze isotoop heeft de kleinste halveringstijd en vervalt daardoor het snelst. De activiteit neemt dus snel af.

- 49 a De radioactieve stof blijft dan niet lang in je lichaam zitten: na enige tijd zijn vrijwel alle radioactieve atomen vervallen.
 b Gammastraling kan gemakkelijk vanuit je lichaam naar buiten komen. Zo kunnen (gamma) camera's de straling goed registreren.

*50 a recht evenredig

- b Na één halveringstijd is de helft van de kernen vervallen. Het aantal kernen dat nog kan vervallen, is dan ook gehalveerd. Dus is ook het aantal kernen dat daarna per seconde vervalt nog maar de helft. En dus is ook de activiteit van de bron gehalveerd. Als N $2\times$ zo klein wordt, wordt A dus ook $2\times$ zo klein. En dat is een recht evenredig verband.
 c In de formule staat links de activiteit A . Die geeft aan hoeveel kernen er per seconde vervallen. Rechts van het $=$ -teken staat ook een aantal (N) per tijdseenheid ($t_{1/2}$). Dan moet ook $t_{1/2}$ in seconden.
 d $8 \text{ dagen} = 8 \times 24 \times 3600 = 691\,200 = 6,91 \cdot 10^5 \text{ s}$

$$A = \frac{0,693 \cdot N}{t_{1/2}} = \frac{0,693 \times 1,0 \cdot 10^9}{6,91 \cdot 10^5} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ Bq} = 1,0 \text{ kBq}$$

e $A = \frac{0,693 \cdot N}{t_{1/2}}$

$$\text{Dan geldt: } 100 = \frac{0,693 \cdot N}{6,91 \cdot 10^5}$$

$0,693 \cdot N = 100 \times 6,91 \cdot 10^5$ en dus is het aantal aanwezige kernen N gelijk aan $1,0 \cdot 10^8$.

- 51 a De linker nier functioneert goed: de radioactieve stof wordt snel door de nier afgevoerd, waardoor de activiteit in deze nier snel daalt. Dat gebeurt niet bij de rechter nier en die functioneert dus niet goed.
 b – De halveringstijd is lang genoeg om het onderzoek goed te kunnen uitvoeren. Bij een heel kleine halfwaardetijd zou de activiteit in beide nieren ook heel snel afnemen door het natuurlijk verval van de tracer en zou je geen verschil meer zien tussen de zieke en de gezonde nier.
 – De halveringstijd is ook kort genoeg, zodat na enige tijd de radioactieve stof door natuurlijk verval uit het lichaam is verdwenen.

*52 Na één keer de halveringstijd is de activiteit nog de helft. Na twee keer is dat $\frac{1}{4}$ en na drie keer nog $\frac{1}{8}$. Er zijn na het kappen van het hout dus drie halveringstijden verstreken.

Dat is $3 \times 5730 = 17\,190$ jaar.

Plus De koolstofdateringsmethode

- *53 a Omdat je op een betrouwbare en vrij eenvoudige manier kunt vaststellen hoe oud een archeologische vondst is. Dat kan alleen als het voorwerp plantaardig of dierlijk materiaal bevat.
 b Wrakken bestaan uit hout.
 c Met de methode kun je alleen vaststellen wanneer het hout gekapt is, niet wanneer het schip is gebouwd of gezonken.
 d Het komt zelden voor dat er nog plantaardig of dierlijk materiaal aanwezig is. Bovendien zal er dan te weinig ^{14}C aanwezig zijn.

54 a $X = \frac{0,55 \cdot 10^{-10}}{1,0 \cdot 10^{-10}} = 0,55$

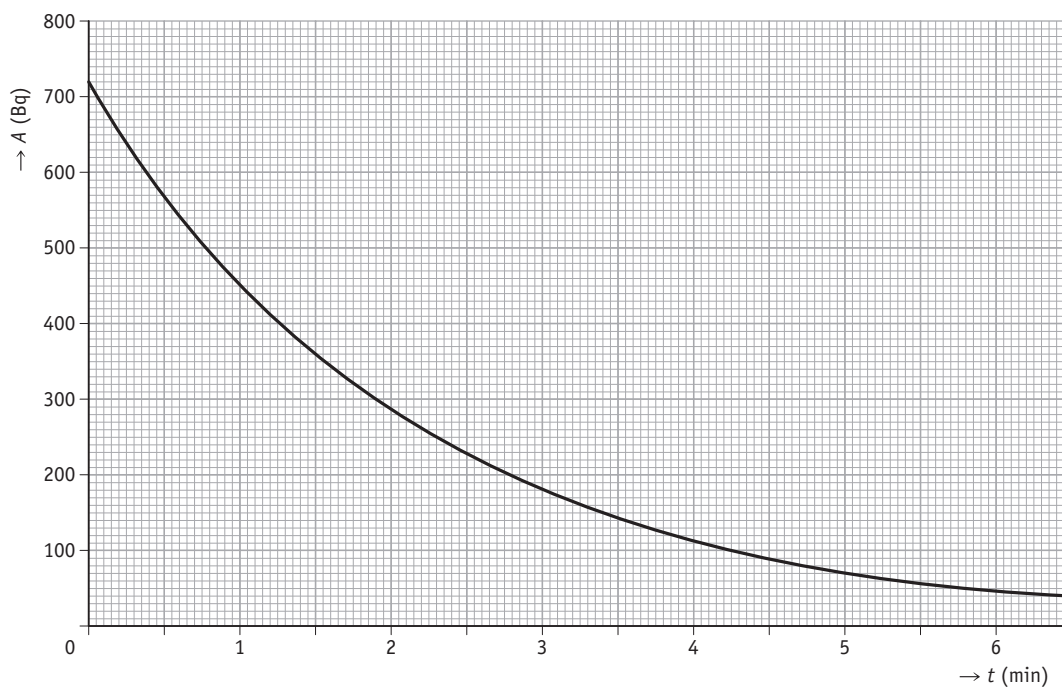
$$t = -1,9 \cdot 10^4 \cdot \log 0,55 = -1,9 \cdot 10^4 \times -0,26 = 4933 \text{ jaar} = 4,9 \cdot 10^3 \text{ jaar}$$

- b Het beginpercentage was hoger en daardoor is er meer tijd nodig geweest voor het vervallen tot $0,55 \cdot 10^{-10} \%$. De mummie is dus ouder dan je dacht.

Test Jezelf

- 1
 - a elektromagnetische
 - b ultraviolet
 - c grootste, kleinste
 - d gammastraling
- 2 D
- 3
 - a doorgelaten
 - b geabsorbeerd
- 4 A
- 5
 - a sterk
 - b niet
 - c niet
 - d sterk
 - e zwak
 - f sterk
- 6
 - a onwaar
 - b waar
 - c onwaar
 - d onwaar
- 7
 - a rood
 - b $4,3 \cdot 10^{14}$ Hz
- 8
 - a ${}_{94}^{238}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{234}\text{U} + {}_2^4\text{He}$
 - b ${}_{38}^{90}\text{Sr} \rightarrow {}_{39}^{90}\text{Y} + {}_{-1}^0\text{e}$
- 9
 - a bron B
 - b bron D
 - c bron C
 - d bron A
- 10
 - a In de eerste 10 s vervallen er 400 kernen. Dat is gemiddeld 40 kernen per seconde. Op $t = 0$ vervallen de meeste kernen en daar zal het aantal dus groter zijn dan het gemiddelde. A is dus zeker fout. C is ook fout, want dan zouden na 1 s alle kernen vervallen zijn en dat is niet zo. Dan is D zeker fout. Het goede antwoord is dus B.
 - b 10 s
- 11
 - a DNA
 - b hoeveelheid, soort
 - c sievert
 - d alfastraling, bètastraling
- 12 A
- 13 Grafiek A. Isotoop Y is het vervalproduct van de radioactieve isotoop X. De hoeveelheid van de isotoop Y neemt dan steeds minder snel toe, omdat er ook steeds minder atomen van de radioactieve isotoop X vervallen.
- 14 5 mg

- 15 a waar
b onwaar
c onwaar
d waar
e waar
- 16 a De activiteit van de kobalt-60 bron neemt door natuurlijk verval steeds verder af. Om dezelfde hoeveelheid straling te ontvangen, moeten de aardappels dus langer onder de stralingsbron verblijven.
b C
In 2017 zijn er ongeveer $2017 - 2007 = 10$ jaar verstreken. Er zijn dan dus ongeveer twee halfwaardetijden ($= 10,6$ jaar) verstreken.
De halfwaardetijd $t_{1/2} = 5,3$ jaar, de hoeveelheid bestraalde aardappels in het begin was 10 000 kg.
Na 5,3 jaar kan nog 5000 kg aardappels per dag worden bestraald.
Na 10,6 jaar kan nog 2500 kg aardappels per dag worden bestraald.
c De bètastraling dringt niet ver door in de aardappels en zal waarschijnlijk al door de aardappelschil worden tegengehouden. Micro-organismen binnen in de aardappel worden dan niet vernietigd.
- 17 a Zie figuur 3.
b De activiteit in het begin is 720 MBq. Na één halveringstijd is hiervan nog $\frac{1}{2} \times 720 = 360$ MBq over. In de grafiek kun je aflezen dat de activiteit na 1,5 min gelijk is aan 360 MBq. De halveringstijd is dus 1,5 min.
c Nee. Telkens als er een halveringstijd verstrijkt, neemt de activiteit weliswaar met de helft af, maar deze wordt dus nooit 0 Bq.



▲ figuur 3

- 18 a** kobalt-60
- Deze isotoop zendt gammastraling uit en die kan gemakkelijk door de platen heen dringen. De bètastraling wordt door de platen tegengehouden en is dus niet geschikt voor deze metingen.
 - De halveringstijd van kobalt-60 is ook lang genoeg. De bron wordt steeds zwakker naarmate de tijd verstrijkt. Een kobalt-60 bron hoeft pas na vele jaren vervangen te worden. Een bron met cerium-141 zou waarschijnlijk al na een aantal maanden vervangen moeten worden.
- b** Volgens de grafiek is een dikte van 8,5 mm voldoende.
- c** Er wordt meer dan 40% straling doorgelaten: de plaat is daar dus te dun.
- 19 a** De straling is niet radioactief. De bron is radioactief en de straling is ioniserend.
- b** radioactieve bron en ioniserende straling
- c** geigerteller
- d** straling uit materialen in de omgeving en straling uit de kosmos
- 20 a** tracer
- b** Niet te kort, want dan is de straling al verdwenen voor dat je kunt meten. En niet te lang, want dan blijft er te lang radioactief materiaal in je lichaam.
- c** De straling moet gemakkelijk uit het lichaam naar buiten kunnen. Dat moet dus gammastraling zijn.
- d** De tracer concentreert zich in een bepaald orgaan. Met een gammacamera kun je dan het functioneren van dat orgaan onderzoeken.

Praktijk

De kunst van het ontmaskeren

- 1 a** Het gaat om zichtbaar licht, zoals in de tekst staat, dus om elektromagnetische straling met een golflengte van 380 tot 780 nm.
- b** Uv-straling kan kleurstoffen in de gebruikte verf beschadigen, met als gevolg dat de kleuren van het schilderij 'verbleken'.
- 2 a** Nee, dat maakt niet uit, want een röntgenfoto wordt gemaakt met doorvallende straling (die dwars door het doek heen gaat) en *niet* met gereflecteerde straling. Of je een doek nu 'met de goede kant omhoog' legt of 'met de goede kant naar beneden', in beide gevallen zal de röntgenstraling door het doek heen bewegen en aan de andere kant een 'schaduwbeeld' vormen.
- b** De onderschildering is vaak gemaakt met loodwit, dat röntgenstraling sterk absorbeert. De lagen daarboven bevatten geen pigmenten die röntgenstraling sterk absorberen.
- c** Dat kun je niet zien, want een röntgenfoto wordt gemaakt met doorvallende straling. De röntgenfoto legt vast hoeveel straling alle lagen samen hebben geabsorbeerd, maar niet in welke laag dat is gebeurd.
- 3 a** 420 ± 5 jaar
- b** 92%
- c** Het paneel kan heel goed van hout gemaakt zijn dat (veel) eerder gekapt is dan 1310. Het was de gewoonte om hout een aantal jaren te laten drogen, voordat het verwerkt werd tot een voorwerp (zoals een paneel om op te schilderen). Dat was nodig, omdat het voorwerp anders op den duur kon scheuren.

Colofon

Auteurs:

F. Alkemade
L. Lenders
F. Molin
R. Tromp

Eindredactie:

P. Verhagen

Met medewerking van:

Th. Smits

Illustraties:

Erik Eshuis, Groningen

Foto omslag:

AtomnumeroUno

Ontwerp omslag:

Buro de Kuipper in samenwerking met
Uitgeverij Malmberg

Beeldverwerving:

B en U International Picture Services,
Amsterdam

Ontwerp:

Uitgeverij Malmberg, Den Bosch

Opmaak:

Nieuwe Stijl, Den Haag

ISBN 978 90 345 8762 6
Vierde editie, eerste oplage

MALMBERG

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleuvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.
Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974,

St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, St.b. 471, en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.
© Malmberg 's-Hertogenbosch

