## 1.1 Geluidstrillingen

1 a Voorbeelden van geluidsbronnen zijn stembanden, gitaar, luidspreker
b Trilling

2 a Waar
b Waar
c Waar
d Niet waar

3 a 20 km = 20 ×1000 = 20 000 m
b 500 m = 500/1000 = 0,5 km
c 40 min = 40 × 60 = 2400 s
d 1h 15 min = 1 + 15/60 = 1,25 h
e 5400 s = 5400/3600 = 1,5 h
f 1500 km/h = 1500/3,6 = 417 m/s
g 334 m/s = 334 × 3,6 = 1202 km/h

4 Gegeven: *t* = 3,5 s en *T* = 20 °C
Gevraagd: *s* in m
Bereken:
1 Bepaal de geluidssnelheid. Zie tabel 1.4. De geluidssnelheid bij 20 °C is 0,343 km/s = 343 m/s
2 Vul de formule in: $v = \frac{s}{t} \rightarrow 343 = \frac{s}{3{,}5} \rightarrow s = 343 \times 3{,}5 = 1200\ \mathrm{m}$ Dit is 1,2 km.
Antwoord: Het onweer is 1,2 km van je verwijderd.

5 a $v = \frac{s}{t} = \frac{2{,}5}{7{,}5} = 0{,}33\ \mathrm{km/s}$
b $v = \frac{s}{t} = \frac{6{,}8}{4{,}5} = 1{,}51\ \mathrm{km/s}$
c Bij a gaat het om lucht bij 0 °C en bij b om zeewater. *Je moet er wel van uit gaan dat gegeven is dat het een stof is uit tabel 1.4.*

6 a Gegevens: s = 1 m
*t* = 0,85 ms = 0,00085 s (materiaal A)
*t* = 0,20 ms = 0,00020 s (materiaal B)
Gevraagd: *v* in m/s in materiaal A en B
Bereken: Vul de formule in voor materiaal A:
$v = \frac{s}{t} = \frac{1}{0{,}00085} = 1177\ \mathrm{m/s}$
Vul de formule in voor materiaal B:
$v = \frac{s}{t} = \frac{1}{0{,}00020} = 5000\ \mathrm{m/s}$

Antwoord: De geluidssnelheid in materiaal A is 1177 m/s.
De geluidssnelheid in materiaal B is 5000 m/s.
b Materiaal A (1,18 km/s) is alcohol, materiaal B (5 km/s) is staal.

7 a De geluidsbron is de luidspreker in zijn oortelefoon (‘oortje’).
De ontvanger is zijn oor.
b Het geluid verplaatst zich door lucht Het medium is dus lucht.

8 Gegeven: *s* = 500 m *t* = 1,5 s (De tijd van de lichtflits mag je verwaarlozen.)
Gevraagd: *v* in m/s zodat je de temperatuur kunt bepalen met tabel 1.4.
Bereken: Vul de formule in:
$v = \frac{s}{t} = \frac{500}{1{,}5} = 333\ \mathrm{m/s}$
Antwoord: De snelheid komt overeen met de geluidsnelheid van lucht van ongeveer 0 °C.

9 a De tijd is te kort om met een stopwatch te meten.
b Gegeven: *s* = 8,0 m *t* = 23 ms = 0,023 s
Gevraagd: *v* in s
Bereken: Vul de formule in:

$$v = \frac{s}{t} \rightarrow v = \frac{8{,}0}{0{,}023} \rightarrow v == 348 \text{ m/s}$$

Antwoord: De gemeten geluidssnelheid is inderdaad 343 m/s.
c - 348 is groter dan 343 m/s, de snelheid bij 20 °C, bij hogere T is in tabel 1.4 te zien dat de geluidssnelheid in lucht groter is. Groter is het juiste antwoord.
- Als de temperatuur wel 20 °C was, heeft de meting een te grote waarde opgeleverd. Dat kan als de afstand in werkelijkheid kleiner dan 8,0 m was.

10 a 343 m/s
b Gegeven: *s* = 250 m *v* = 343 m/s
Gevraagd: *t* in s (Je mag de tijd die het licht er over doet verwaarlozen.)
Bereken: Vul de formule in:

$$v = \frac{s}{t} \rightarrow 343 = \frac{250}{t} \rightarrow t = \frac{250}{343} = 0{,}73\ s$$

Antwoord: Na 0,73 s hoort de opzichter de klap.
c Gegeven: *t* = 1,2 s *v* = 343 m/s
Gevraagd: *s* in m
Bereken: Vul de formule in:

$$v = \frac{s}{t} \rightarrow 343 = \frac{s}{1{,}2} \rightarrow s = 343\ \times 1{,}2 = 412 \text{ m}$$

Antwoord: Dewi kijkt op 412 m afstand naar de werkzaamheden.
d Op 343 meter afstand doet het geluid er precies 1 s over om je oor te bereiken. Op het moment dat je de klap hoort, komt tegelijkertijd de volgende klap.

11 a 350 m/s
b Leg je geodriehoek langs de getekende lijn en dan kun je aflezen: bij –50 °C is de geluidsnelheid 301 m/s.
c $v = \frac{s}{t} \rightarrow v = \frac{1300}{4} = 325 \text{ m/s}$ De temperatuur is dus –10 °C.

12 a Gegeven: *v* = 4300 m/s (beton, uit tabel 14) *s* = 0,5 m
Gevraagd: *t* in s
Bereken: Vul de formule in:

$$v = \frac{s}{t} \rightarrow 4300 = \frac{0{,}5}{t} \rightarrow t = \frac{0{,}5}{4300} = 0{,}00012 \text{ s}$$

Antwoord: Het geluid doet er 0,00012 s over om aan de andere kant van de muur te komen.
b Gegevens: *v* = 338 m/s (geluidsnelheid in lucht, 337 is ook goed.) *s* = 10 m
Gevraagd: *t* in s
Bereken: Vul de formule in:

$$v = \frac{s}{t} \rightarrow 338 = \frac{10}{t} \rightarrow t = \frac{10}{338} = 0{,}030 \text{ s}$$

Het geluid doet 0,00012 s over om door de muur heen te komen en 0,030 s om van de muur door de lucht bij de bouwvakker te komen. Totaal is dit dus 0,00012 + 0,030 = 0,030s.
De tijd door de muur mag je dus verwaarlozen ten opzichte van de tijd door de lucht.
Antwoord: Het geluid doet er totaal 0,030 s over.

13 a 1550 m/s
b De overgang tussen bot en vet is het duidelijkst omdat het verschil in geluidssnelheid tussen deze twee weefsels het grootst is.
c Gegeven: *t* = 0,04 ms = 0,00004 s *v* = 1550 m/s (spierweefsel)
Gevraagd: *s* in m
Bereken: Vul de formule in:

$v = \frac{s}{t} \rightarrow 1550 = \frac{s}{0{,}00004} \rightarrow s = 1550 \times 0{,}00004 = 0{,}062 \text{ m}$
Dit is de heen en de terugweg Het signaal is teruggekaatst op 0,062/2 = 0,03 m.
Antwoord: Het signaal is teruggekaatst op 0,03 m.

d Dit gebeurt als het signaal eerst een overgang van vetweefsel naar spier- of zenuwweefsel tegenkomt en vervolgens een overgang naar bot.

14 a Het verschil tussen de geluidsnelheid in lucht en in weefsel is zo groot dat bijna al het geluid weerkaatst tegen de huid en dus niet in het lichaam komt.

b De optimale geluidsnelheid in de gel moet zo dicht mogelijk bij vetweefsel zitten, dus ongeveer 1470 m/s.

15 a Gegeven: *t* = 0,33 ms = 0,00033 s; *v* = 1550 m/s (We gebruiken spierweefsel omdat dit tussen zenuw en vet weefsel inzit.)
Gevraagd: *s* in m
Bereken: Vul de formule in:
$v = \frac{s}{t} \rightarrow 1550 = \frac{s}{0{,}00033} \rightarrow s = 1550 \times 0{,}00033 = 0{,}51 \text{ m}$
Als het geluid een afstand van meer dan ca 0,5 meter moet afleggen stuurt de sensor al een nieuw signaal uit. Dit is de afstand voor heen- en terugreis en de maximale meetafstand is daarom 0,5 /2 = 0,25 m.
Antwoord: De maximale meetafstand is 0,25 meter.

b Als de sensor na 0,33 ms toch de echo ontvangt van het vorige signaal dan denkt de sensor dat dit de echo is van het laatst verzonden signaal en meet dan een te korte afstand.

## 1.2 Eigenschappen van geluidstrillingen

16 Een oscillogram

17 a Waar
b Niet waar
c Niet waar
d Waar

18 a $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}25} = 4 \text{ Hz}$
b $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}02} = 50 \text{ Hz}$
c 50 ms = 0,05 s $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}05} = 20 \text{ Hz}$

19 a De amplitude is 1 µm.
b Eén trilling is één op en neergaande beweging Er worden dus twee trillingen weergegeven
c De trillingstijd is 2,1 ms en dat is 0,0021 s.
d Gegeven: $T$ = 0,0021 s
Gevraagd: $f$ in Hz
Berekening: Vul de formule in:
$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}0021} = 476 \text{ Hz}$
Antwoord: De frequentie is 476 Hz.

20 a In oscillogram rechtsboven is de toon het hardste omdat de amplitude het grootste is.
b In oscillogram rechtsonder is de toon het hoogste omdat de frequentie het grootste is.
c In oscillogram links in het midden is de toon het laagste omdat de frequentie het kleinste is
d In oscillogram links onder zie je een samengestelde toon omdat het diagram het meest onregelmatig is.

21 a In dit oscillogram zie je een halve trilling, alleen vanuit de evenwichtstand omhoog en weer terug.
b Een ½ trilling duurt 6,3 ms, een hele trilling duurt dus 12,6 s ($T$=12,6 ms).
c Gegeven: $T$ = 12,6 ms = 0,0126 s
Gevraagd: $f$ in Hz
Berekening: Vul de formule in:
$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}0126} = 79 \text{ Hz}$
Antwoord: De frequentie is 79 Hz.

22 a Het linker oscillogram hoort bij de afnemende toon omdat de amplitude kleiner wordt.
b De tijd tussen twee evenwichtsstanden is constant.

23 a $f = \frac{1}{T} \rightarrow 50 = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{50} = 0{,}02 \text{ s}$
b 3,0 kHz = 3000 Hz $f = \frac{1}{T} \rightarrow 3000 = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{3000} = 0{,}00033 \text{ s}$
c $f = \frac{1}{T} \rightarrow 600 = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{600} = 0{,}0017 \text{ s}$

24 a In het bovenste diagram zie je dat de trillingstijd $T_1$ = 2,23 ms = 0,0023 s
In het onderste diagram zie je dat trillingstijd $T_2$=1,2 ms = 0,0012 s
Berekening: Vul de formule in:
$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}0023} = 500 \text{ Hz}$ Dit komt het dichtste bij de B.
$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}0012} = 833 \text{ Hz}$ Dit komt het dichtste bij de Gis.
Antwoord: De eerste frequentie komt het best overeen met een B en de tweede frequentie komt het best overeen met een Gis.
b De Gis is de hoogste toon omdat de frequentie het grootste is
c De Gis is de sterkste toon omdat de amplitude het grootste is

25 a Als de muzikant harder slaat wordt de amplitude van het trommelvel groter en wordt het geluid sterker.
b Als de muzikant meteen zijn hand op de trommel legt kan het trommelvel dus niet meer op en neer bewegen. De trilling is dan ook meteen uitgedoofd.

26 a In diagram G lees je uit het spectrogram voor de tonen 440,0 Hz en 659,3 Hz af
b Gegeven: *f* = 440,0Hz en *f* =659,3 Hz
Gevraagd: *T* in s
Berekening: Vul de formule in:
$f = \frac{1}{T} \rightarrow 440{,}0 = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{440{,}0} = 0{,}002273\ \mathrm{s}$
$f = \frac{1}{T} \rightarrow 659{,}3 = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{659{,}3} = 0{,}001517\ \mathrm{s}$
Antwoord: De trillingstijd is 0,002273 s en 0,001517 s

27 a Je ziet een boventoon met een kleine trillingstijd op een ondertoon met een grote trillingstijd.
b De periode van de kleine trillingstijd is 0,33 s dus 3,0 Hz en de grote trillingstijd is 3 s dus 0,3 Hz.

## 1.3 Resonantie

28 a De grondtoon is de laagste toon van een snaar.
b De frequentie van een boventoon is hoger dan de frequentie van de grondtoon.
c Van twee snaren waarvan alleen de lengte verschilt, geeft de kortste snaar de hoogste grondtoon.
d Hoe kleiner de frequentie, hoe lager de grondtoon.

29 a In de tweede boventoon zie je drie trillingen, de derde boventoon heeft er dus 4.
4*T* = 9 ms. Dus *T* = 9/4 = 2,25 ms = 0,00225 s
$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}00225} = 444\ \mathrm{Hz}$
b Elke boventoon is een octaaf hoger, dus 3 octaven.
c De sterkte van de boventonen verschilt voor beide instrumenten. Bovendien wordt bij een viool een constante trilling door de strijkstok geproduceerd, terwijl een gitaar aangetokkeld wordt waardoor de geluidssterkte snel afneemt.

30 a De lucht wordt bij je mond in trilling gebracht door trillende lippen of een trillend riet.
b Door gaten in de fluit te openen, wordt de trillende luchtkolom korter en de toon hoger.
c De hoogste toon ontstaat in de kortste pijp.
d Door de schuif van je af te bewegen wordt de trillende luchtkolom langer en de toon lager.

31 a De klankkast versterkt het geluid.
b Dit verschijnsel noem je resonantie.
c Ja, want de stemvork rechts trilt zelfstandig.
d Je kan alleen resonantie krijgen bij bepaalde frequenties. Resonantie werkt het best als de frequentie gelijk is aan de eigenfrequentie van de stemvorken, dus als de stemvorken precies het zelfde zijn.

32 a Hoe groter de frequentie is, des te kleiner is de trillingstijd De onderste E snaar heeft de grondtoon met de kleinste trillingstijd
b De G-snaar heeft een frequentie van 196,0 Hz en de eerste boventoon is dus 2 × 196,0 Hz =392 Hz
c 82,4 × 2 = 164,8 en 164,8 × 2 = 329,6 er zitten dus twee octaven tussen
d Dat is de tweede boventoon.

33 a In het diagram zie je verschillende trillingen.
b De grondtoon heeft de grootste trillingstijd. Deze is 0,0023 s en dus 1/0,0023 = 435 Hz.
c De kleine trillingstijd is 0,0012 s en dus 1/0,0012 = 870 Hz.
d Het gaat om muzieknoot A.

34 a Door je vinger tegen de fret te houden, wordt het trillend deel van de snaar korter en de toon dus hoger.
b Hoe strakker de snaar, hoe hoger de toon. Dus als de toon te hoog is moet je de snaar wat slapper spannen.
c Hoe dikker hoe lager de toon en hoe lager de frequentie. De bovenste E snaar is dus het dikste

35 a Gegeven: $v$ = 343 m/s $L$ = 0,09 m (schatting van 9 cm voor de luchtkolom)
Gevraagd: $f$ in Hz
Berekening: Vul de formule in:

$$f = \frac{v}{4L} = \frac{343}{4 \times 0{,}09} = 953 \text{ Hz}$$

Antwoord: De resonantiefrequentie voor ons geschatte glas is 953 Hz.
b Als de frequentie een veelvoud is van de eigenfrequentie van het glas, dan ontstaat er ook resonantie.
c Als je (meer) wijn in het glas schenkt word de luchtkolom kleiner en de frequentie dus groter.

36 a Zie afbeelding 1.14, de gaten sluit je met kleppen die je via beugels en handeltjes bediend.
b Als je alle gaten afsluit krijg je de langste luchtkolom en dus de laagste frequentie.
c In 0,048 s zie je 7 gelijke patronen. $T$ = 0,048 / 7 = 0,0069 s
Gegeven: T = 0,0069 s
Gevraagd: $f$ in Hz
Berekening: Vul de formule in:
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}0069} = 146 \text{ Hz}$$
Antwoord: De grondtoon is 146 Hz.

37 a Een basgitaar geeft lagere tonen dan een gewone gitaar. Er zitten dus snaren op die kleinere frequenties voortbrengen dan een gewone gitaar. Dit kan met dikkere snaren.
b De E van 41,2 Hz ligt een octaaf lager dan de E van 82,2 Hz. Zo liggen alle noten een octaaf lager

## 1.4 Geluidssterkte

38 a Waar
b Niet waar
c Niet waar
d Niet waar

39 a 6 dB er bij is 2 × 3 dus tweemaal verdubbelt is vier keer zo hard.
b 100 – 97 is een toename van 3 dB, dus twee keer zo hard.
c 66 – 75 = – 9 dB, dat is 3 × 3 dB dus, drie keer gehalveerd: ½ × ½ × ½ = 1/8, dus 8 keer zo zacht.
d Als de afstand tweemaal zo klein wordt, is het geluid vier keer zo hard, dus + 6 dB.

36 a De geluidssterkte is 43 dB.
b Twee koelkasten geven twee keer zo veel geluid.
b Bij twee keer zo veel geluid komt er 3 dB bij, dus 46 dB.
c 52 – 43 = 9 dB Dat is dus 2 × 2 × 2 = 8 keer zo veel geluid, dus 8 koelkasten (kun je lekker veel limonade kwijt….)

41 a 90 dB
b Bij een verdubbeling komt er 3 dB bij (2 föhns) en weer een verdubbeling (4 föhns) komt er dus weer 3 dB bij. Totaal is dat 6 dB erbij is 96 dB.
c Dat is een toename van 102-90= 12 dB Dat is 3+3+3+3 en dat zijn 1x2x2x2x2 = 16 Föhns
d De geluidssterkte verandert met de afstand. Je moet er dus een afstand bijzetten.

42 a 4 meter is twee keer zo ver weg en er gaat dan 6 dB af. De geluidssterkte is 110 dB.
b 8 meter is opnieuw twee keer verder weg en er gaat dan 6 dB van de 110 dB af. Dat is 104 dB.
c Je wilt 116 – 98 = 18 dB minder horen. Dan moet je drie keer 6 dB reduceren en dus 3 keer de afstand verdubbelen 2 m × 2 × 2 × 2 = 16 m. Je moet dus op een grotere afstand staan dan 16 m.

43 a 53,8 dB
b Je moet de meter in stand A zetten om te zien op welk moment de klas meer dan 60 dB geluid produceert.
c Je meet dat in stand B zodat je de maximale geluidssterkte meet tijdens de explosie.

44 De toename van geluid is 89 – 77 = 12 dB. Dit is een toename van vier keer 3 dB Het aantal bronnen is dus ook vier keer verdubbeld, dus 1000 × 2 × 2 × 2 × 2 = 16 000 bezoekers.

45 a Je wilt 80 – 65 = 15 dB minder geluid horen. Elke verdubbeling van de afstand neemt het geluid met 3 dB af. Je moet dus 15/3 = 5 × je afstand verdubbelen: 10 m × 2 × 2 × 2 × 2× 2 = 320 m, je moet dus op een grotere afstand dan 320 m van de weg gaan staan.
b Als het aantal geluidsbronnen verdubbelt, neemt de geluidssterkte met 3 dB toe. Je met je afstand dus verdubbelen om ook weer een afname van 3 dB te realiseren. Je moet dus op 10 × 2 = 20 m afstand gaan staan.
c 64 keer minder is gelijk aan 6 keer het geluid halveren (één keer halveren is 2 keer minder geluid, twee keer halveren is 4 keer minder geluid etc). Het geluid neemt dus met 6 × 3 db = 18 dB af. De geluidssterkte is dan 64 dB.

46 a De frequentie moet gelijk zijn en de uitwijking moet even groot zijn, maar precies tegengesteld. Dit is in diagram E.
b Vier trillingstijden is 3,7 ms, dus *T* = 3,7 / 4 = 0,925 ms
Gegeven: *T* = 0,000925 s
Gevraagd: *f* in Hz
Berekening: Vul de formule in:
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}000925} = 1081 \text{ Hz}$$
Antwoord: De frequentie is 1081 Hz.
c Het antigeluid moet precies dezelfde frequentie hebben omdat anders niet steeds het geluid uitgedoofd kan worden.

47 a Dan vindt geen volledige uitdoving plaats en dus zal je nog geluid horen.
b Er zijn steeds andere soorten geluid, die verschillen in sterkte en richting, het is heel lastig om daarvan precies het juiste antigeluid te maken.

## 1.5 Het gehoor

48 a Het slakkenhuis zit in het binnenoor.
b Hoorbare frequenties liggen tussen de 20 Hz en 20000 Hz.
c Door het slijten van de trilhaartjes neemt je gevoeligheid af in de loop van je leven.
d De risicodrempel is de laagste geluidssterkte waarboven je gehoor een risico loopt om te beschadigen.
e Geluidsoverlast kun je tegen gaan door de bron te verzachten, je afstand tot de geluidsbron te vergroten of geluidsisolatie te plaatsen.

49 a Je spraak ligt tussen de 200 Hz en 5000 Hz.
b Geluid van 10 kHz is hoorbaar vanaf 10 dB.
c De pijngrens is het laagste bij 4000 Hz.
d Je kunt hoge tonen beter horen dan lage tonen omdat de gehoordrempel hier lager ligt.

50 a Bij 50 Hz is de geluiddrempel 35 dB, dus kun je 60 dB horen.
a Bij 100 Hz is de geluiddrempel 20 dB, dus kun je 130 dB horen. (Dit ligt wel boven de pijngrens.)
a Bij 1000 Hz is de geluiddrempel 0 dB, dus kun je 20 dB horen.
a Bij 10 000 Hz is de geluiddrempel 10 dB, dus kun je 5 dB niet horen.

51 a Bij 100 Hz is de geluiddrempel 20 dB, dus kun je 15 dB niet horen.
b Tweemaal zo hard, betekent 15 + 3dB = 18 dB en dat kun je nog steeds niet horen.
c Bij 200 Hz is de geluiddrempel 5 dB, dus kun je 15 dB nu wel horen.

52 a 57 min
b De afstand is 4 maal zo groot, dat betekent 2 × 6 dB = 12 dB zachter, dus 98 – 12 = 86 dB. Dit kun je zonder schade 2 uur aanhoren.

53 a Dit heet resonantie.
b Je ziet dat de gehoordrempel rond de 3000 Hz het laagste is.
c De gehoorgang is kleiner bij kinderen en dus is de frequentie die versterkt wordt groter dan 3000 Hz. Net als bij een muziekinstrument is de frequentie hoger naarmate de trillende luchtkolom kleiner is.

54 a Het medium, de lucht wordt extra lang, omdat het geluid om de wal heen moet.
b Het volume van de bron wordt kleiner.
c Oordopjes zorgen er voor dat je gehoor, de ontvanger minder geluid ontvangt. Je kunt zeggen dat er een medium bijkomt, de oordopjes, dus medium is ook goed.

55 a Je kunt ongeveer 30 min blijven op 10 m afstand van het podium om geen gehoorschade op te lopen.
b Als je twee uur blijft moet het geluid onder de 86 dB komen Dit is een verschil van 6 dB. Je vermindert het geluid met 3 dB als je de afstand verdubbelt. Je moet de afstand dus twee keer verdubbelen, dus 10 × 2 × 2 = 40 m. Je moet op minimaal 40 m van het podium gaan staan.
c De oordopjes houden 12 dB tegen. Je wordt dus blootgesteld aan 92 – 12 = 80 dB. Je kunt dan 8 uur naar het concert luisteren.

56 a Het geluid in lucht legt in 30 μs een afstand af van 343 × 0,00003 = 0,01 m. Je met dus ongeveer 1 cm uit het midden tikken
b De geluidssterkte die je ervaart is afhankelijk van de frequentie. Hoge tonen hoor je sterker en ervaar je dus als 'dichterbij' dan lage tonen.

57 a Mannen hebben meer last van gehoor verlies dan vrouwen.
b Op latere leeftijd hoor je vooral de hoge tonen slechter. Dit zijn de frequenties groter dan 2000 Hz.
c Een vrouw van 60 heeft bij 2000 Hz een verlies van 10 dB.
d Een 70 jarige man heeft bij 4000 Hz een verlies van 45 dB. De gehoordrempel ligt voor een gezond oor op -5 dB De gehoordrempel voor een 70 jarige ligt dan op 40 dB.

58 a Bij de 4000 Hz is de gehoorschade het grootste.
b De hogere frequenties zijn nog wel goed te horen en bij een ouder oor vinden de gehoorverliezen plaats voor alle hogere frequenties.
c De gehoordip is van 10 dB naar 30 dB gegaan en dus met 20 dB toegenomen.

## Toetsvoorbereiding

1 a De geluidssnelheid hangt af van de soort stof en van de temperatuur.
b Bij een samengestelde toon zijn er minstens twee frequenties.
c Bij resonantie trilt een voorwerp mee met een geluidsbron.
d De gehoordrempel hangt af van de frequentie en de leeftijd/geslacht.

2 a Als de frequentie van een trilling groter wordt, neemt de trillingstijd af.
b Als je een gitaarsnaar strakker spant, wordt de toon hoger.
c Een gehoorbeschermer verlaagt de amplitude van het geluid.
d Geluid met een frequentie van 50 Hz en een geluidssterkte van 60 dB kun je wel horen. Gebruik figuur 1.20.
e Als je twee keer zo ver van een geluidsbron weg loopt, neemt de geluidssterkte met zes decibel af.

3 a $f = \frac{1}{T} \rightarrow 250 = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{250} = 0{,}004\ \mathrm{s} = 4\ \mathrm{ms}$
b $v = \frac{s}{t} = \frac{15}{0{,}044} = 341\ \mathrm{m/s}$
c $v = \frac{s}{t} \rightarrow 1450 = \frac{500}{t} \rightarrow t = \frac{500}{1450} = 0{,}345\ \mathrm{s}$

4 a Gegeven: *v* = 343 m/s *t* = 3 s
Gevraagd: *s* in m
Berekening: Vul de formule in:
$s = v\ \times t = 343\ \times 3 = 1029\ \mathrm{m} = 1\ \mathrm{km}$
Antwoord: Je staat 1 km van het onweer af.
b De echo doet er 1 s langer over Hiervoor het geluid 343 m extra moeten afleggen voor de héén en terugweg Je staat dus op ongeveer 343/2 = 172 m van de bergwand.

5 a Je ziet een diagram die uit één frequentie bestaat. Het is dus een zuivere toon
b Gegeven: 18× *T* = 0,18 s → *T* = 0,01 s (uit het diagram)
Gevraagd: *f* in Hz
Berekening: Vul de formule in:
$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}01} = 100\ \mathrm{Hz}$
Antwoord: De frequentie is 100 Hz.

6 a Als je het schuifstuk verlengt dan wordt de frequentie van het geluid lager en de toon dus ook lager.
b Als je de afstand van 1 m naar 2 m verandert dan verdubbelt de afstand. Bij verdubbeling neemt de geluidssterkte met 6 dB af. Maar met twee trompetten neemt de geluidssterkte met 3 dB toe. Het wordt dus 110 – 6 + 3 = 107 dB.

7 a De 1$^{e}$ boventoon 2 × 196 en de 2$^{e}$ boventoon 3 × 196 = 588 Hz.
b Elke octaaf is een verdubbeling, dus 4 × 196 = 784 Hz.

8 a Ruisende bladeren maken 20 dB geluid.
b 50 – 35 = 15 dB. Dat is 5 keer een verdubbeling, 2 × 2 × 2 × 2 × 2 = 32 keer zo veel geluid.
c De geluidsdrempel is bij 50 Hz gelijk aan 35 dB. Boven de 50 Hz is de geluiddremple steeds lager. Dus de frequentie moet groter dan 50 Hz zijn.

9 a Bij een verdubbeling van de afstand neemt de geluidssterkte met 6 dB af. De geluidssterkte die je waarneemt is dus 64 – 6 = 58 dB
b Als je de toon 4 keer sterker maakt, neemt de geluidssterkte met twee keer met 3 dB toe Je meet dan op 2 m afstand 58 + 3 + 3 = 64 dB
c De gehoordrempel bij 50 Hz is 40 dB. Je kunt het geluid nog 24 dB verzwakken door de afstand te vergroten Bij elke verdubbeling neemt het geluid met 6 dB af. Je kunt de afstand dus 4 maal verdubbelen. Dat wordt 1 × 2 × 2 × 2 × 2 = 16 m afstand.
d J e kunt een hoger toon op een groter afstand horen om dat de gehoordrempel voor hogere tonen lager ligt dan voor een toon van 50 Hz.

## 2.1 Soorten krachten

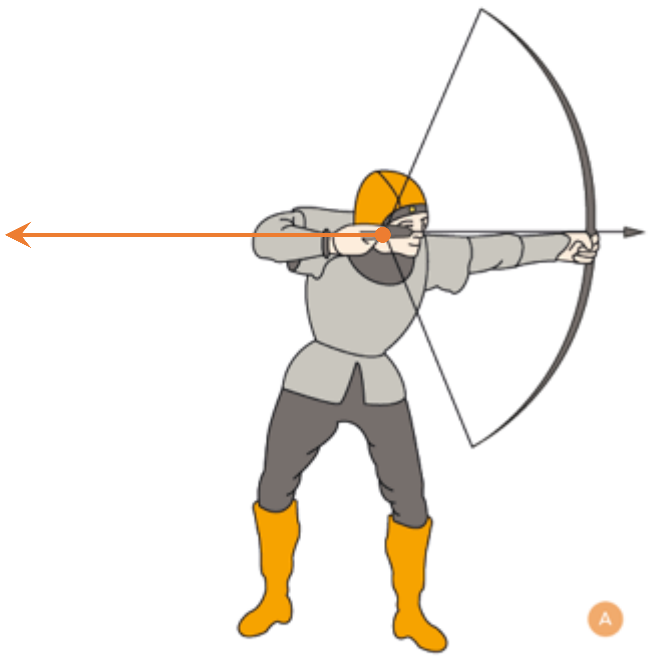
1 a Veerkracht, spierkracht, magnetische kracht enz.
b zwaartekracht
c aangrijpingspunt, grootte en richting.

2 a 2 × 9,8 = 19,6 N
b 59 × 9,8 = 578 N
c 60 kN = 60 000 N
60 000 / 9,8 = 6122 kg

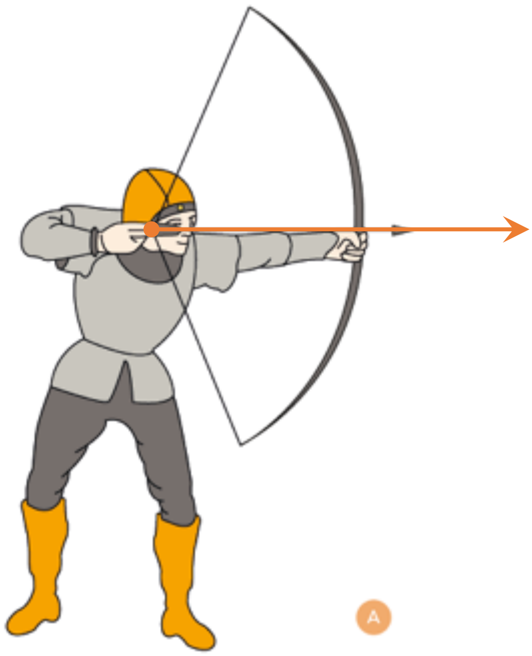
3 a zwaartekracht
b magnetische kracht
c wrijvingskracht en zwaartekracht
d veerkracht en zwaartekracht

4 a spierkracht
b veerkracht
c spierkracht wordt veroorzaakt door jou en werkt op de veer.
veerkracht wordt veroorzaakt door de veer en werkt op de tandraden, die aan de wijzers zijn verbonden.
d De spierkracht verandert de vorm van de veer en de veerkracht verandert de snelheid van de wijzers, waardoor de klok gaat lopen.

5 a De pijl teken je 5 cm groot en werkt op de pees naar links.



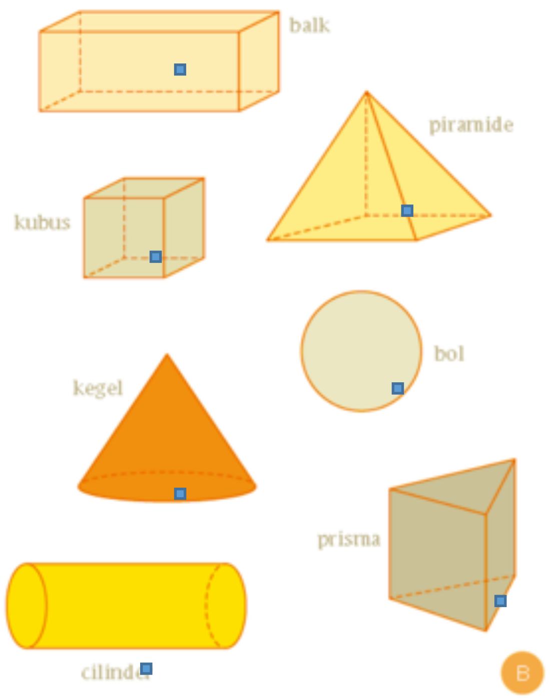
b De pees oefent op de pijl een kracht naar rechts uit, dezelfde kracht en schaal, dus ook 5 cm lang.



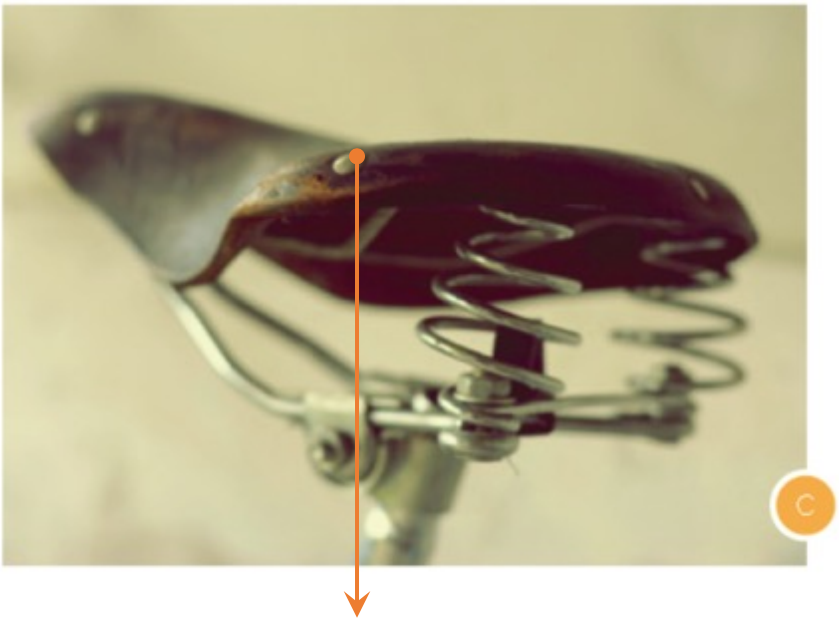

c Als je de boog spant moet je steeds harder trekken, dus naarmate de boog minder krom staat, is de kracht ook kleiner.

6 a Eigen antwoord, bijvoorbeeld 50 kg.
b Bijvoorbeeld: 50 × 9,8 = 49 N
c 49 / 6 = 8,2 N
d 9,8 / 3,7 = 2,6

7 a Bij de balk, kubus, cilinder, bol en prisma zijn het midden gemakkelijk aan te geven.
b en c

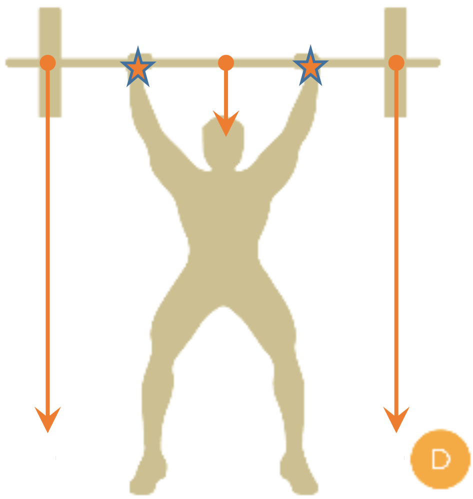


8 a De zwaartekracht duwt jou op het zadel.
  b De aarde veroorzaakt de kracht en de kracht werkt op jou.
  c Jij veroorzaakt de kracht en de kracht werkt op de veren.
  d De zwaartekracht is 61×9,8 = 622 N. De pijl teken je dus 6,1 cm lang.




9 a Zwaartekracht
  b De zwaartekracht is 294 N. De massa is dus: $m$ = 294 / 9,8 = 30 kg.
  c De katrol draait de richting van de kracht om. De vrouw oefent een kracht naar beneden uit. De katrol zorgt ervoor dat de kracht op de gewichten omhoog is.
  d De vrouw trekt het blok omhoog en oefent daarom ook een kracht van 294 N uit. Maar door de wrijvingskrachten in de katrollen moet ze een iets grotere kracht uitoefenen.

10 a 25 × 9,8 = 245 N
  5 × 9,8 = 49 N
  b Zie figuur. De schaal bijvoorbeeld 1 cm = 50 N
  c De spierkracht van beide handen van de man op de stang.
  d Zie figuur. De aangrijpingspunten zijn met een ster weergegeven.



## 2.2 Krachten meten

11 a De grootste kracht die je kunt meten is 1,0 N
b 0,1 N

12 a 0,1 N
b Als het bereik 100 N is, dan is de nauwkeurigheid een stuk kleiner.

13 a $u$ = 14 – 10 = 4,0 cm = 0,040 m
b $F_v = C \times u$ = 120 × 0,040 = 4,8 N
c Als de kracht tweemaal zo groot wordt, wordt de uitrekking ook twee maal zo groot, dus 2 × 4,0 = 8,0 cm.

14 a Hoe groter het bereik van een krachtmeter, hoe **kleiner** de nauwkeurigheid.
b Hoe slapper de veer, hoe **kleiner** de veerconstante.
c De kracht is recht evenredig met de **uitrekking**.

15 a De lijn gaat niet door de oorsprong, dus niet recht evenredig. Of bij 25 N is de uitrekking 0,2 m en bij 75 N 0,4 m. Dus bij driemaal zo grote kracht is de uitrekking tweemaal zo groot.
b Je hebt waarschijnlijk de lengte van de veer en niet de uitrekking gemeten.
c Per kg werkt een zwaartekracht va 9,8 N. Dus de zwaartekracht bereken je door de massa te vermenigvuldigen met 9,8.
d $m$ = 50 / 9,8 = 5,1 kg

16 a De veerconstante is dan de kracht die nodig is om een veer 1 cm uit te rekken, dus cm.
b $u$ = 20 – 15 = 5,0 cm; $F$ = 15 N
$F_v = C \times u \rightarrow 15 = C \times 5{,}0$
$C$ = 15 / 5,0 = 3,0 N/cm
c $u$ = 5,0 cm = 0,050 m
d $F_v = C \times u \rightarrow 15 = C \times 0{,}050$
$C$ = 15 / 0,050 = 300 N/m

17 a $u$ = 2 cm = 0,02 m; $C$ = 150 N/m
$F_v = C \times u$ = 150 × 0,02 = 3 N
b Je hebt een veel grotere kracht nodig om deze veer minder ver uit te rekken. De veer is dus veel stugger.
c $u$ = 1 cm = 0,01 m; $F$ = 50 N
$F_v = C \times u \rightarrow 50 = C \times 0{,}01$
$C$ = 50/ 0,01 = 5000 N/m

18 a Als je de meter verticaal gebruikt, hangt ook het haakje en een deel van de veer aan de veer. De veer rekt dan al iets uit terwijl je nog niets aan het haakje gehangen hebt. De meter geeft dus iets meer dan 0 N aan
b Met het stelschroefje kun je de veer omhoog draaien, zodat het streepje bij 0 staat als je er niets aan hebt hangen.

19 a De zwaartekracht is: $F_z$ = 80 × 9,8 = 784 N
b Elke veer draagt ¼ deel, dus 784/4 = 196 N.
De formule $F_v = C \times u$ invullen geeft:
196 = $C$ × 0,020
$C$ = 196/ 0,020 = 9800 N/m

20 a De zwaartekracht is gelijk aan de veerkracht: $F_z = F_v$
$m \times g = C \times u$
70 x 9,8 = $C$ x 10
686 = $C$ x 10
$C$ = 686/ 10 = 68,6 N/m.
b In het onderste punt zorgt de veerkracht voor compensatie van de zwaartekracht en ook voor de kracht die je grote snelheid afremt. Door deze kracht schiet je vervolgens weer een stuk omhoog.

21 a $m$ = 80 kg
$F_z$ = 80 × 9,8 = 784 N
b $u$ = 10 cm = 0,10 m
$F_v = C \times u \rightarrow 784 = C \times 0{,}10 \rightarrow C = 784 / 0{,}10 = 7840$ N/m.
c Bij het neerkomen wordt de man opnieuw gelanceerd, de kracht is dus groter dan 784 N, de veer is dus verder uitgerekt.

## §2.3 Resulterende kracht

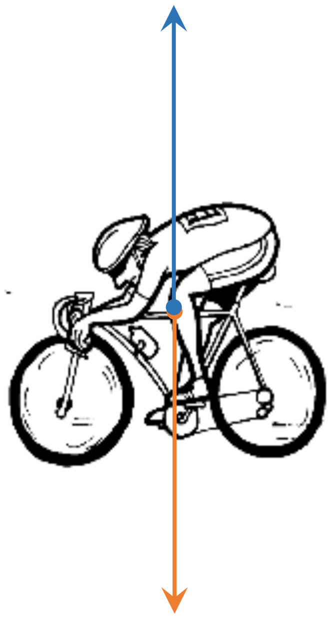
22 a De zwaartekracht.
b De normaalkracht en de spankracht.

23 a De krachten werken elkaar tegen, dus: 250 – 50 = 200 N
b De snelheid is constant; de resulterende kracht is dus nul: 100 N.

24 a De grijze pijl is 1,1 cm lang en de zwarte pijl 2,5 cm. De grootte van de krachten zijn dus: grijs 1,1 x 50 N = 55 N en zwart 2,5 x 50 N = 125 N
b De krachten werken dezelfde kant op. De resulterende kracht is dus 55 + 125 = 180 N naar links.
c De krachten werken hier tegengesteld, dus 125 – 55 = 70 N naar links.

25 a De resulterende kracht is 230 + 230 – 60 = 400 N
b Er geldt nu $F_{res} = 450 = 260 + 260 - F_w \rightarrow F_w = 520 - 450 = 70$ N.
c Er werkt in horizontale richting nu alleen $F_w$. De resulterende kracht is hier dus gelijk aan $F_w$ = 70 N, een tegenwerkende resulterende kracht dus.

26 a Er is geen verandering van de snelheid, dus de resulterende kracht is nul.
b $F_{res} = 0 = 60 - 20 - F_w \rightarrow F_w = 40$ N.
c De zwaartekracht en de normaalkracht
d Bij een massa van 82 kg is de zwaartekracht $F_z$ = 82 × 9,8 = 804 N.
De pijl mag je dus 4 cm lang tekenen.



27 a De zwaartekracht $F_z$ = 9,8 x 2,5 = 24,5 N.
b Omdat er evenwicht is, is de normaalkracht ook gelijk aan 24,5 N.
c Het gewicht van de vaas is even groot als de normaalkracht, dus ook 24,5 N.
d Alleen de krachten die óp de vaas werken zijn in evenwicht, dus de normaalkracht en de zwaartekracht. (Het gewicht werkt op de tafel.)

28 a Omdat de snelheid constant is, de spankracht gelijk aan de zwaartekracht:
$F_z$ = 9,8 x 900 = 8820 N. Dus $F_s$ = 8820 N.
b Kabels B en C dragen ieder de helft van de auto. De spankracht in één van de kabels B en C is dus kleiner dan de spankracht in A.

29 a Bij een constante snelheid is de resulterende kracht nul.
b $m$ = 31 kg → $F_z$ = 31 × 9,8 = 304 N.
c $F_N$ = $F_z$ = 304 N. Formule invullen geeft: $F_w$ = 0,1 × $F_N$ = 0,1 × 304 N = 30 N
d De duwkracht $F_{duw}$ = 10 N; $F_w$ = 30 N.
$F_{trek}$ + $F_{duw}$ = $F_w$ → $F_{trek}$ + 10 = 30 → $F_{trek}$ = 30 -10 = 20 N

30 a De zwaartekracht van de Maan op Apollo-13 en de zwaartekracht van de Aarde op Apollo-13.
b Het ruimtevaartuig en de astronauten vallen naar de maan en weer terug naar aarde. Ze zijn net als de astronauten in het ISS gewichtloos.
c De raketten remmen de capsule af, waardoor de astronauten een remkracht voelen en dus een kracht uitoefenen op de stoel waarop ze zitten. Ze zijn dus niet langer gewichtloos.

31 a De motoren gebruiken de brandstof. Die wordt omgezet in uitlaatgassen.
b $m$ = 60 000 kg
$F_z$ = 60 000 × 9,8 = 588 000 N
c De pijl is 1,8 cm lang. 1 cm komt dus overeen met 588000 / 1,8 = 327 000 N
d De pijl van de motorkracht = 1,4 cm, dit is dus 1,4 × 327 000 = 457 000 N. In werkelijkheid is die kracht veel kleiner!
e Op grote hoogte is de wrijvingskracht een stuk kleiner, dus ook de benodigde motorkracht.
f Het stijgen kost ook veel extra kracht. Voordat het vliegtuig helemaal boven is, moet de landing al weer worden ingezet.

32 a Bij de start moet het vliegtuig versnellen. Daarvoor is een resulterende kracht nodig.
b De zwaartekracht, de liftkracht en de normaalkracht.
c Bij een tegenwind is de liftkracht al bij een lagere snelheid voldoende groot om het vliegtuig op te tillen.

## 2.4 Hefbomen

33 a De arm is de loodrechte afstand van het draaipunt tot de kracht.
b Een hefboom is in evenwicht als het product van kracht en arm voor beide krachten gelijk is.
c Met een hefboom kun je met een kleine kracht een grote kracht uitoefenen.

34 $F_1$ = 12 N; $r_1$ = 8 cm; $F_2$ = 6 N
$F_1 \times r_1 = F_2 \times r_2 \rightarrow$ 12 × 8 = 6 × $r_2$
$r_2$ = 96 / 6 = 16 N

35 a $m$ = 35 kg
$F_z$ = 35 × 9,8 = 343 N
b $r_1$ = 1,2 m; $r_2$ = 0,9 m
$F_1 \times r_1 = F_2 \times r_2 \rightarrow$ 343 × 1,2 = $F_z$ × 0,90
$F_z$ = 412 / 0,90 = 457 N
$m$ = 457 / 9,8 = 47 kg
c Je rekent dan links én rechts met getallen die 9,8 maal zo klein zijn. Je krijgt dan dezelfde uitkomst.
d Als het meisje naar voren schuift, wordt de arm links kleiner. Het product van kracht en arm wordt dus ook kleiner. De wipwap is niet meer in evenwicht. Het meisje gaat omhoog.

36 a $m$ = 35 kg
$F_z$ = 35 × 9,8 = 343 N
b De arm is viermaal zo groot, dus de spierkracht is viermaal zo klein: 86 N
c De schaal beïnvloedt beide armen op dezelfde manier. Omdat je in de berekening de armen op elkaar deelt, valt de schaal hierbij weg.
d Door de lading boven het wiel, of zelfs iets voor het wiel te leggen, hoef je minder te tillen. De arm van de zwaartekracht op de lading is dan heel klein.

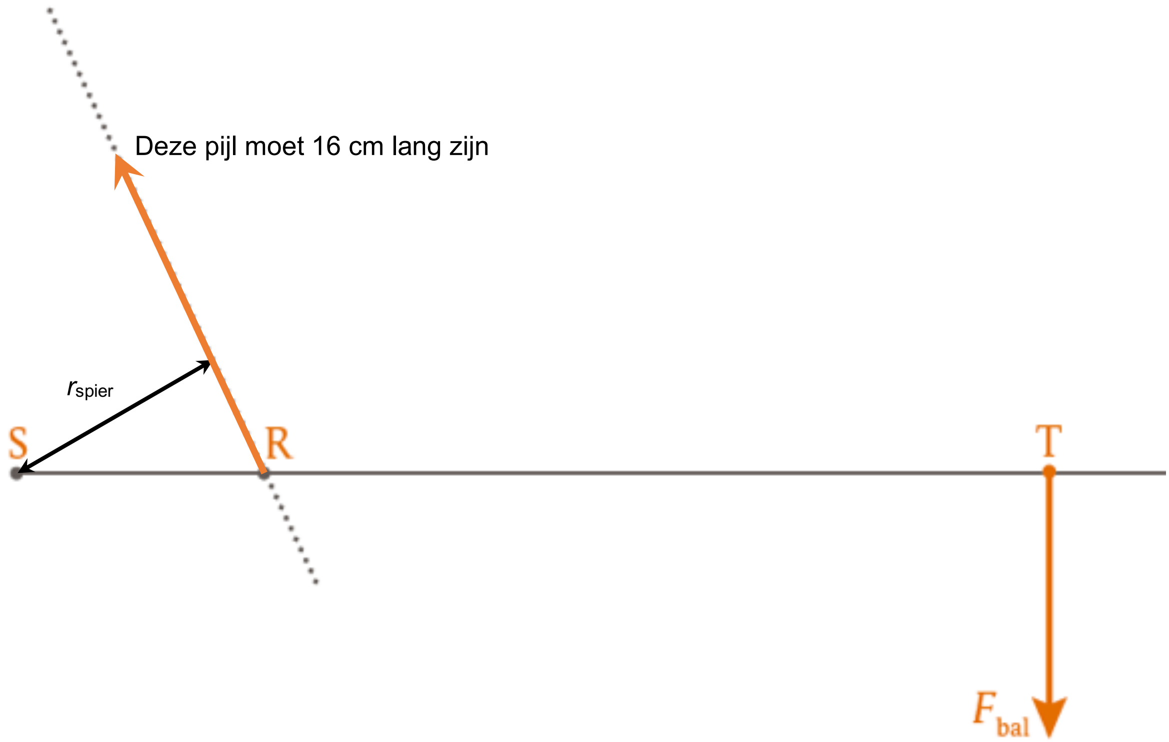
37 a Hoe langer de schroevendraaier, hoe groter de arm van je spierkracht en hoe kleiner de kracht die je nodig hebt voor hetzelfde effect.
b De arm bij het blik is 6 mm = 0,6 cm; De arm van de kracht is 30 cm; $F$ = 300 N
$F_1 \times r_1 = F_2 \times r_2 \rightarrow$ 300 × 0,6 = $F_{spier}$ × 30
$F_{spier}$ = 180 / 30 = 6 N

38 a In het midden, op 15 cm van het draaipunt.
b De arm van de zwaartekracht op de liniaal is de twee keer zo klein als de arm van de veerkracht van de krachtmeter. De zwaartekracht op de liniaal is dus twee keer zo groot als de kracht die de krachtmeter aangeeft: 2 × 0,5 = 1 N. De massa kun je dan berekenen door de zwaartekracht te delen door 9,8. Er komt dan 102 g uit.
Je kunt het ook berekenen:
$F_1 \times r_1 = F_2 \times r_2 \rightarrow$ 0,50 × 30 = $F_z$ × 15
$F_z$ = 15 / 15 = 1 N
$m$ = 1/9,8 = 102 g. Dit is ongeveer 100 g.
c Het blokje ligt op 10 cm van het draaipunt; $F$ = 10 N
$F_1 \times r_1 = F_2 \times r_2 \rightarrow$ 10 × 10 = $F_v$ × 30
$F_v$ = 100 / 30 = 3,3 N
d Bij afstand 0 geeft de meter 0 aan, bij afstand 15 cm 5 N en bij 30 cm 10 N. Je krijgt dus een rechte lijn die door het punt (0,0) en (30,10) gaat.
e Dit is een recht evenredig verband.

39 In de rechter tekening is de arm van de kracht op het papier veel kleiner en de kracht op het papier dus veel groter. Rechts gaat het beste.

40 a De arm van je spierkracht is kleiner dan de arm van de kracht op het water. De spierkracht is dus groter.
b Doordat de arm van de spierkracht nu groter is, is de kracht op het water ook groter.

41 a $m$ = 8,0 kg
$F_z$ = 8,0 × 9,8 = 78 N
b




c Opmeten levert: $r_{spier}$ = 3,0 cm
d $F_{bal}$ = 78 N; $r_{bal}$ = 13,6 cm (opmeten in afbeelding E)
$F_1 \times r_1 = F_2 \times r_2 \rightarrow$ 78 × 13,6 = $F_{spier}$ × 3,0
$F_{spier}$ = 1061/ 3,0 = 354 N
e De krachtenschaal is: 3,5 cm ≙ 78 N → 1 cm ≙ 78/3,5 = 22 N
De spierkracht moet je dus tekenen met een pijl van 354/22 = 16 cm
f Bereken eerst de kracht op de onderarm met de bekende massa. De arm van deze kracht zit halverwege ST. Je kunt nu op dezelfde manier als bij d de extra kracht uitrekenen die nodig is om de onderarm te tillen.

42 a De normaalkracht op één voet is 250 N. De totale normaalkracht is dus 500 N.
Doordat er evenwicht is, is de zwaartekracht ook 500 N.
b $r_{pees}$ = 4 mm; $r_{normaalkracht}$ = 14 mm; $F_N$ = 250 N
$F_1 \times r_1 = F_2 \times r_2 \rightarrow$ 250 × 14 = $F_{pees}$ × 4
$F_{pees}$ = 3500/ 4 = 875 N

## 2.5 Kracht en versnelling

43 a De versnelling kun je berekenen met de formule
$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
b $F_{res} = m \times a$
c Een vertraging

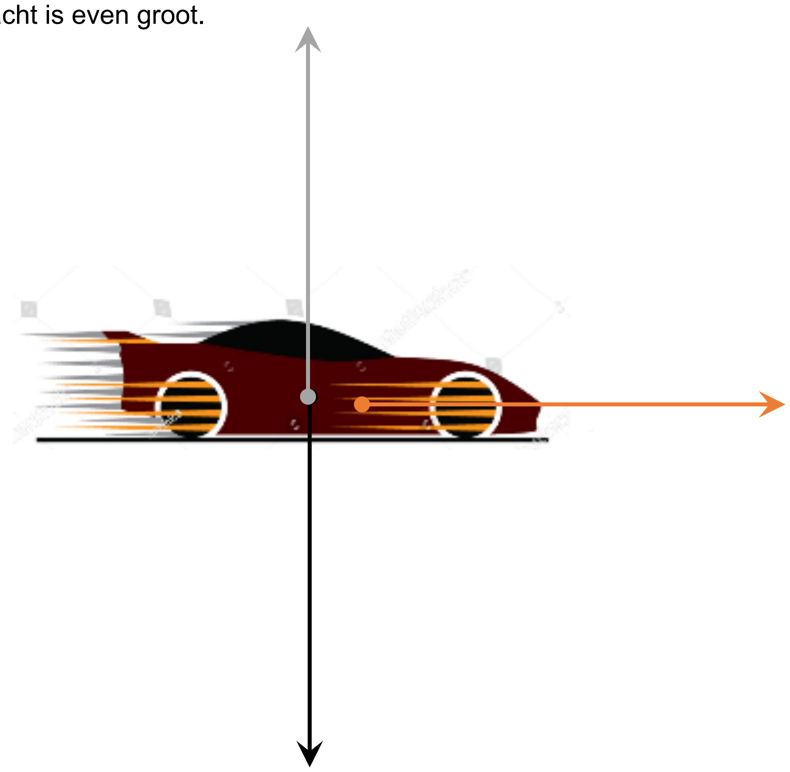
44 a $m$ = 0,25 kg
$a$ = 3 m/s²
$F_{res} = m \times a \rightarrow F = 0{,}25 \times 3 = 0{,}75$ N
b $m$ = 0,50 kg
$F_{res}$ = 15 N
$F_{res} = m \times a \rightarrow 15 = 0{,}50 \times a$
$a$ = 15 / 0,50 = 30 m/s²

45 a $v_{begin}$ = 15 km/h; $v_{eind}$ = 25 km/h
$\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$ = 25 – 15 = 10 km/h
b 10 km/h = 10/3,6 = 2,78 m/s
c $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2{,}78}{6} = 0{,}46\ \mathrm{m/s^2}$

46 a $\Delta v$ = 100 km/h = 100/3,6 = 27,8 m/s; $\Delta t$ = 75 s
$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{27{,}8}{75} = 0{,}37\ \mathrm{m/s^2}$
b $m$ = 130 × 1000 = 130 000 kg
$F_{res} = m \times a$ = 130 000 × 0,37 = 48100 N = 48 kN.

37 Door de goede stroomlijn is de luchtweerstand klein.

38 a $\Delta v$ = 100 km/h = 100/3,6 = 27,8 m/s; $\Delta t$ = 2,5 s
$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{27{,}8}{2{,}5} = 11{,}1\ \mathrm{m/s^2}$
b $m$ = 1000 kg
$F_{res} = m \times a$ = 1000 × 11,1 = 11100 N = 11,1 kN
c 1 cm ≙ 2000 N, dus 11100 N komt overeen met een pijl van 11100/2000 = 5,6 cm
d De zwaartekracht is1000×9,8 = 9800 N en komt overeen met een pijl van 9800/2000 = 4,9 cm.
De normaalkracht is even groot.



e Vooruit werkt de motorkracht, achteruit de rolwrijving en de luchtwrijving.
f Bij de maximale snelheid is de snelheid constant. De resulterende kracht is nul, dus de beide wrijvingskrachten zijn samen even groot als de motorkracht.
g De motorkracht is nu gelijk aan de som van beide wrijvingskrachten dus 9400 N
Gebruik dezelfde schaal als bij vraag c en d. De motorkracht is dan 9400/2000 = 4,7 cm lang. De luchtwrijving 9000/2000 = 4,5 cm en de rolwrijving 400/2000 = 0,2 cm. Deze kracht is bijna niet te zien zo kort.

49 a Bij 36 km/h is de luchtwrijving volgens het diagram 40 N.
b Omdat de snelheid constant is, is de resulterende kracht 0 N:
$F_{trap} = F_{rol} + F_{lucht}$ → 50 N = $F_{rol}$ + 40 N → $F_{rol}$ = 50 – 40 = 10 N
c $\Delta v$ = 36 km/h = 36/3,6 = 10 m/s; $\Delta t$ = 4,0 s
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10}{4,0} = 2,5\ \mathrm{m/s^2}$$
d $m$ = 60 kg
$F_{res} = m \times a$ = 60 × 2,5 = 150 N
e rolwrijving, luchtwrijving en remkracht van je remmen

50 a De zwaartekracht op de parachutist is: $F_z$ 80 × 9,8 = 784 N.
De snelheid is constant, dus de resulterende kracht is 0. Dat betekent dat de luchtweerstand gelijk is aan 784 N.
b De snelheid is weer constant, de resulterende kracht is 0, dus de luchtweerstand is gelijk aan de zwaartekracht. Omdat de zwaartekracht niet veranderd is, is de luchtweerstand nog steeds even groot.

51 a De zwaartekracht is 9,8 N per kg. Dus $F_z = m$ x 9,8
b De formules zijn aan elkaar gelijk als je voor 9,8 de versnelling $a$ invult.
c Op 1 kg is de kracht gelijk aan 9,8 N. Omdat geldt dat $F = m \times a$ is de versnelling waarbij voorwerpen vrijvallen dus 9,8 m/s$^2$.
d $\Delta v$ = 29,4 m/s; $a$ = 9,8 m/s$^2$
De valtijd bereken je als volgt: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow 9,8 = \frac{29,4}{t} \rightarrow t = \frac{29,4}{9,8} = 3,0\ \mathrm{s}$

52 a $v_{begin}$ = 18 km/h = 18/3,6 = 5 m/s; $v_{eind}$ = 0 m/s.
b $\Delta v$ = 18 km/h = 18/3,6 = 5,0 m/s; $\Delta t$ = 0,5 s
$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{5,0}{0,5} = 10$ m/s$^2$
$m$ = 900 kg
$F = m \times a$ = 900 x 10 = 9,0 kN
c Door de veiligheidsgordel en de airbag is de botsingstijd van de bestuurder groter. Daardoor is de versnelling en de kracht kleiner. Ook de massa van de bestuurder is kleiner.

53 a Tijdens de botsing deukt de helm in, hierdoor duurt de botsing langer.
b De helm wordt op één plek geraakt, maar door de harde buitenkant wordt de kracht over het gehele oppervlak van de helm verdeeld.
c De helm kan in de binnenkant al iets ingedeukt zijn. Op deze plek werkt de helm niet meer.

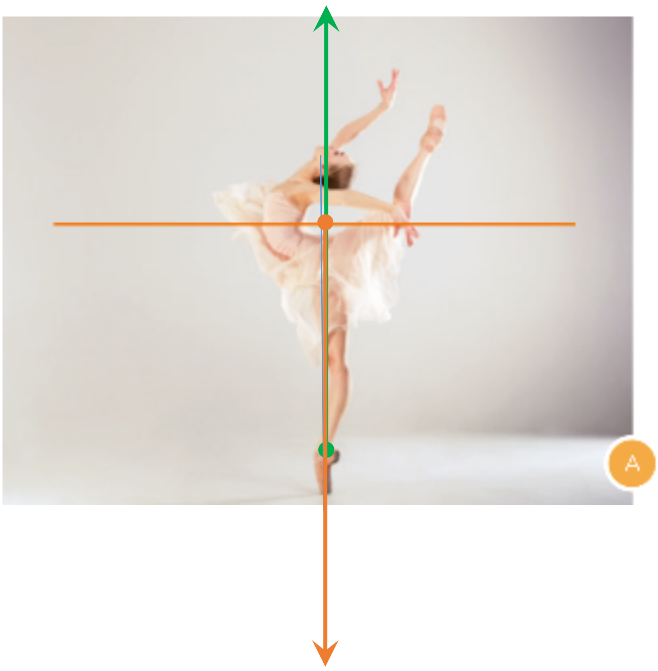
54 a Een brede riem zorgt voor een groot oppervlak waardoor de kracht niet op één plek werkt.
b Als de riem niet strak zit, kan hij niet voldoende uitrekken.

55 a De rimob schuift als een harmonica in elkaar.
b Bij een bepaalde massa en snelheid wordt de botsingstijd groter. De versnelling wordt kleiner en de kracht dus ook.
c $\Delta v$ = 72 km/h = 72/3,6 = 20 m/s; m = 900 kg; $\Delta t$ = 0,015 s
$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20}{0{,}015} = 1333$ m/s$^2$
$F = m \times a$ = 900 x 1333 = 1,2 × $10^6$ N
d De kracht wordt 50 maal zo klein: $1{,}2 \times 10^6$ / 50 = 24 000 N = 24 kN

## Toetsvoorbereiding

1 $\Delta v$ is de snelheidsverandering in m/s
$F_z$ is de zwaartekracht in N
$a$ is de versnelling in m/s$^2$
$m$ is de massa in kg
$C$ is de veerconstante in N/m

2 a De zwaartekracht moet op één lijn met de normaalkracht liggen. De normaalkracht werkt op de voet die op de grond staat. Dus recht daarboven zit het zwaartepunt.
b Het zwaartepunt zit buiten het lichaam van de danseres. Dat kan omdat alle massa precies rond dit punt zit. Zie figuur.
c $F_z$ = 60 × 9,8 = 588 N.
d De pijlen teken je 588/100 = 5,88 cm lang. Zie figuur.



3 a Als de kracht tweemaal zo groot wordt, wordt de indrukking ook tweemaal zo groot.
b $C$ = 100 N/m; $u$ = 8,0 cm = 0,080 m
$F_v = C \times u$ = 100 × 0,080 = 8,0 N
c Als de kogel los is van de veer, is de veer niet meer ingedrukt, dus de veerkracht is dan nul.
De veerkracht neemt dus geleidelijk af van 8,0 tot 0 N.
d Bereken eerst de versnelling:
$F$ = 4 N; $\Delta t$ = 0,032 s; $m$ = 50 g = 0,050 kg
$F = m \times a \rightarrow 4 = 0{,}050 \times a \rightarrow a = 4{,}0 / 0{,}050 = 80$ m/s$^2$
Met de versnelling bereken je de snelheidstoename, $\Delta v$.
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow 80 = \frac{\Delta v}{0{,}032} \rightarrow \Delta v = 0{,}032 \times 80 = 2{,}6 \text{ m/s}$$
De beginsnelheid was nul, de eindsnelheid is dus 2,6 m/s.

4 a Bij een constante snelheid is de resulterende kracht van alle krachten nul. De spankracht is dus gelijk aan de zwaartekracht: $F_s = F_z = 250 \times 9{,}8 = 2450$ N $= 2{,}5 \times 10^3$ N.
b Bij een vrije val zijn voorwerpen gewichtloos.

5 a De arm tot A is 5,9 cm en de arm tot B is 3,2 cm.
$F_1 \times r_1 = F_2 \times r_2 \rightarrow 1{,}2 \times 5{,}9 = F_{spier} \times 3{,}2$
$F_{spier}$ = 7,08/ 3,2 = 2,2 N
b De arm van de spierkracht is nu kleiner, de spierkracht zelf is dus groter.
*Bij deze opgave houd je geen rekening met de veerkracht in het uiteinde van de tang. Daardoor is in praktijk de benodigde spierkracht groter.*

6 a Bij een constante snelheid is de resulterende kracht van alle krachten nul.
De totale wrijvingskracht is dus gelijk aan de motorkracht: 80 N
b De luchtwrijving is 60 N. De rest, 20 N, is dus de rolwrijving.
c $m_{scooter}$ = 100 kg; $m_{bestuurder}$ = 65 kg; $F_{motor}$ = 250 N
$F_{res} = m \times a$ invullen geeft: $250 = 165 \times a \rightarrow a = 250/165 = 1{,}52$ m/s$^2$.
$v_{eind}$ = 45 km/h = 45/3,6 = 12,5 m/s. $v_{begin}$ = 0, dus $\Delta v$ = 12,5 m/s.
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow 1{,}52 = \frac{12{,}5}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{12{,}5}{1{,}52} = 8{,}2 \text{ s}$$

7 a De wijzer wijst precies verticaal als de weegschaal in evenwicht is.
b De staaf heeft ook massa, die evenwicht maakt met de lege weegschaal.
c $F_{vis}$ = 9,8 × 2,0 = 19,6 N; $r_1$ = 1,2 cm; $r_2$ = 24 cm
$F_1 \times r_1 = F_2 \times r_2 \rightarrow 19{,}6 \times 1{,}2 = F_{gewichtje} \times 24$
$F_{gewichtje}$ = 23,5/ 24 = 0,98 N
$m_{gewichtje}$ = 0,98/ 9,8 = 0,10 kg.
Je mag natuurlijk ook meteen zeggen: de arm van het gewichtje is 20 maal zo groot, dus de massa is 20 maal zo klein.

8 a $m$ = 120 g = 0,120 kg; $\Delta v$ = 0,8 m/s; $\Delta t$ = 0,05 s
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow a = \frac{0{,}8}{0{,}05} = 16 \text{ m/s}^2$$
b $F = m \times a = 0{,}120 \times 16 = 1{,}9$ N

## 3.1 Energieomzettingen

1 a De eenheid van warmte is joule.
b Een energiestroomdiagram geeft aan hoe bij een energieomzetting de totale hoeveelheid energie verdeeld wordt over andere vormen van energie.
c Als een auto na het remmen stilstaat, is alle bewegingsenergie omgezet in warmte.
d Hoe hoger het rendement van de CV-ketel thuis, hoe lager de energierekening.

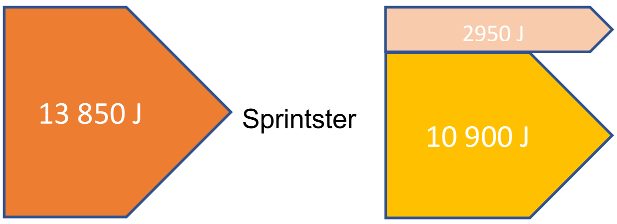
2 a Chemische energie opgeslagen in de voedingsstoffen in je lichaam wordt omgezet in warmte en zwaarte-energie.
b Alle chemische energie is omgezet in warmte.

3 a Chemische energie wordt door verbranding in warmte omgezet. (En vervolgens wordt een deel van die warmte door arbeid in kinetische energie omgezet: de zuigers van de motor gaan bewegen).
b Kinetische energie wordt in zwaarte-energie omgezet (en een heel klein beetje warmte door wrijving).
c Elektrische energie wordt in warmte omgezet.
d Kinetische energie wordt in warmte omgezet.

4 a $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{25}{80} \times 100\% = 31{,}25\% = 31\%$
b $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow 35\% = \frac{E_{\text{nuttig}}}{5000} \times 100\% \rightarrow E_{\text{nuttig}} = \frac{35\%}{100\%} \times 5000 = 2\ \text{kJ}$
c $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow 90\% = \frac{40}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow E_{\text{in}} = \frac{100\%}{90\%} \times 40 = 44\ \text{J}$

5 a Warmte ontbreekt, want dit ontstaat altijd als er stroom loopt.
b Wet van behoud van energie geldt, dus: 900 – 720 – 50 = 130 J
c De nuttige vorm van energie hier is de bewegingsenergie van de boorkop, dus
$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{720}{900} \times 100\% = 80\%$

6 a Wet van behoud van energie, dus 2950 + 10900 = 13850 J
b Het energiestroom diagram begint met 13850 J chemische energie en splitst zich op in 2950 J bewegingsenergie en 10900 J warmte. De breedte van de stromen is naar verhouding met de hoeveelheid energie.



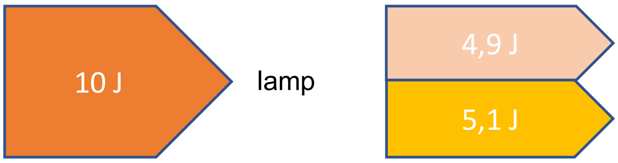

c De nuttige vorm van energie is de bewegingsenergie, dus
$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{2950}{13850} \times 100\% = 21\%$

7 a Volgens de wet van behoud van energie wordt de elektrische energie in licht en warmte omgezet. Per seconde blijft er dus 61,2 - 56,3 = 4,9 J over voor stralingsenergie.

b Stralingsenergie (licht) is de nuttige vorm van energie en dat is 61,2 – 56,3 = 4,9 J. Dus $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{4{,}9}{61{,}2} \times 100\% = 8{,}0\%$.

c De ledlampen moeten net zoveel licht produceren per seconde, oftewel ook 4,9 J per seconde. Het rendement is 48 %, dus $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow 48\% = \frac{4{,}9}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow E_{\text{in}} = \frac{4{,}9}{0{,}48} = 10$ J. Er is per seconde 10 J aan elektrische energie nodig.

c Het energiestroom diagram begint met 10 J en splitst zich op in 4,9 J stralingsenergie en 5,1 J warmte. De breedte van de stromen is naar verhouding met de hoeveelheid energie.




d Je verbruikt minder energie en als deze energie met fossiele brandstoffen opgewekt wordt, daalt de $CO_2$-uitstoot. Daarnaast gaan ledlampen ook veel langer mee dan gloeilampen, ook dat spaart het milieu.

8 a Dat de zwaarte-energie recht evenredig met de hoogte is, betekent dat de ($E_z$,$h$)-grafiek een rechte lijn door de oorsprong is. Grafiek B is dus de juiste.

b Op het hoogste punt is de snelheid 0, dus heeft de bal geen bewegingsenergie.

c Omdat de bewegingsenergie op het hoogste punt 0 is, heeft de bal daar alleen nog zwaarte-energie. Dat betekent dat de bewegingsenergie direct na het loslaten, op het hoogste punt volledig is omgezet in zwaarte-energie en dus ook gelijk aan 2,8 J. Warmte speelt hier geen rol, omdat wrijving te verwaarlozen is.

9 a Bij de windmolen wordt bewegingsenergie van de wind omgezet in elektrische energie en warmte. Bij de ventilator wordt elektrische energie omgezet in bewegingsenergie en warmte.

b Door de warmte die ontstaat, verlies je bij elke omzetting energie. De ventilator zal dus minder bewegingsenergie produceren dan hij aan elektrische energie krijgt. De windmolen zal van die bewegingsenergie maar weer een deel in elektrische energie om kunnen zetten. De ventilator produceert dan wederom minder bewegingsenergie, enzovoort. Net zolang totdat de ventilator en windmolen stil staan. Nu is alle energie (beweging en elektrisch) die je in het begin eventueel had omgezet in warmte.

10 a Op t = 0 bevindt het schip zich in een uiterste stand, zoals op de foto. Dat betekent dat Hannah op haar hoogste punt is en ze geen snelheid heeft. De zwaarte-energie is dus maximaal en de kinetische energie 0. Grafiek 1 hoort dus bij de zwaarte-energie van Hannah (en grafiek 2 bij haar kinetische energie).

b Op tijdstip $t$ = ½ T is grafiek 2 (kinetische energie) maximaal. Dus is haar snelheid op dat tijdstip ook maximaal.

c Op tijdstip $t$ = T is de zwaarte-energie weer voor het eerst maximaal, sinds het begin op t = 0. Dit betekent dat Hannah zich in de andere uiterste stand bevindt en niet in de beginstand.

d De optelsom van beide grafieken is op elk moment gelijk, de totale hoeveelheid energie (zwaarte-energie plus kinetische energie) blijft dus behouden.

11 a Het punt A ligt lager dan de top van de looping. Met de zwaarte-energie in A kunnen de karretjes hooguit tot dezelfde hoogte in de looping komen, maar niet hoger. Dit zou namelijk betekenen dat de karretjes uit het niets meer energie hebben gekregen en dat is in strijd met de wet van behoud van energie. (Het kleine beetje kinetische energie dat de karretjes in A hebben, is ook niet genoeg om het verschil in zwaarte-energie te compenseren, zie vraag c)

b Nadat de karretjes voorbij punt A zijn gerold, rollen ze naar beneden de looping is. Ze komen tot bijna dezelfde hoogte als A in de looping, maar er wordt ook een beetje warmte geproduceerd door wrijving, wat ten koste van de zwaarte-energie gaat dus blijven ze net onder de hoogte van punt A. De karretjes schommelen heen en weer tussen de looping en punt A totdat alles zwaarte-energie in warmte is omgezet en op het laagste punt tussen A en de looping tot stilstand zijn gekomen.

c De elektrische energie wordt in warmte, bewegingsenergie en zwaarte-energie omgezet. Wet van behoud van energie geldt, dus $391 - 4 - 98 = 289$ kJ.

d Bewegingsenergie en zwaarte-energie zijn samen de nuttige vormen van energie en dat is $289 + 4 = 293$ J. Dus $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{293}{391} \times 100\% = 75\%$.

## 3.2 Arbeid en vermogen

12 a De eenheid van arbeid is J.
b Het vermogen geeft aan hoeveel energie er per seconde wordt omgezet.
c Als een apparaat een vermogen heeft van 30 kW, gebruikt het elke seconde 30 000 J.
d Je kunt het vermogen van een apparaat ook uitdrukken in kW. Of: Je kunt de hoeveelheid gebruikte energie van een apparaat ook uitdrukken in kWh.

13 A: Hier wordt wel arbeid verricht. De kracht van de man werkt over een afstand.
B: Hier wordt geen arbeid verricht. De kracht van de man werkt niet over een afstand, want de halter met gewichten is in rust en blijft dus op dezelfde plek hangen.
C: Hier wordt wel arbeid verricht. De kracht van het paard werkt over een afstand.

14 a $W = F \times s \rightarrow W = 15 \times 3{,}5 = 53\ \mathrm{J}$.
b $W = F \times s \rightarrow 30\,000\,000 = F \times 1000 \rightarrow F = \frac{30\,000\,000}{1000} = 30\,000\ \mathrm{N} = 30\ \mathrm{kN}$
c $W = F \times s \rightarrow 0{,}08 = 0{,}005 \times s \rightarrow s = \frac{0{,}08}{0{,}005} = 16\ \mathrm{m}$

15 a De heftruck verricht 35 kJ aan arbeid, dit is gelijk aan de hoeveelheid elektrische energie die in zwaarte-energie wordt omgezet.
b $W = F \times s$. Dus als $F$ twee keer zo groot wordt, omdat de massa is verdubbeld, terwijl $s$ halveert, dan geldt voor de arbeid: $W = (F \times 2) \times \left(\frac{s}{2}\right) = F \times s$ en dus blijft de verrichte arbeid gelijk.
c Een heftruck is gebouwd om dingen mee op te tillen en dus om arbeid te verrichten. De nuttige vorm van energie is dus de verrichte arbeid, dus $E_{\mathrm{nuttig}} = W$. De heftruck haalt zijn energie uit een elektrische accu, dus $E_{\mathrm{in}} = E_{\mathrm{el}}$.
$\eta = \frac{E_{\mathrm{nuttig}}}{E_{\mathrm{in}}} \times 100\% \rightarrow 94\% = \frac{35\,100}{E_{\mathrm{in}}} \times 100\% \rightarrow E_{\mathrm{in}} = 35\,100 \times \frac{100\%}{94\%} = 37\,340\ \mathrm{J} = 37\ \mathrm{kJ} = E_{\mathrm{el}}$.

16 a De arbeid per hond is $W = F \times s = 18 \times 10\,000 = 180\,000$ J. Dus in totaal wordt er $12 \times 180\,000 = 2{,}16$ MJ arbeid verricht. Er is dus ook 2,16 MJ aan energie omgezet.
b Deze arbeid wordt in 28 minuten, oftewel $28 \times 60 = 1680$ seconden verricht. Het totale vermogen is dan $P = \frac{E}{t} = \frac{2\,160\,000}{1680} = 1286$ W. Het vermogen van één hond is dan $\frac{1286}{12} = 107$ W.

17 Gegeven: 1 kW = 1000 W en 1 h = 3600 s. Gevraagd: *E* in J
$P = \frac{E}{t} \rightarrow 1000 = \frac{E}{3600} \rightarrow E = 1000 \times 3600 = 3\,600\,000\ \mathrm{J} = 3{,}6\ \mathrm{MJ}$

18 a Gegeven: *P* = 28 MJ = 28 000 000 J en *t* = 40 min = 2400 s
$P = \frac{W}{t} = \frac{28\,000\,000}{2400} = 11667\ \mathrm{W} = 12\ \mathrm{kW}$.
b Gegeven: *P* = 12 W = 0,012 kW en *t* = 1 jaar = 365,25 × 4 = 1460 h
*t* = 1460 × 3600 = $5{,}26 \cdot 10^6$ s
In joule: $P = \frac{E}{t} \rightarrow 12 = \frac{E}{5{,}26 \cdot 10^6} \rightarrow E = 12 \times 5{,}26 \cdot 10^6 = 6{,}3 \cdot 10^7$J
In kWh: $P = \frac{E}{t} \rightarrow 0{,}012 = \frac{E}{1460} \rightarrow E = 0{,}012 \times 1460 = 17{,}5\ \mathrm{kWh}$
Je kunt ook de omrekenfactor (zie opgave 17) $1\ \mathrm{kWh} = 3\,600\,000\ \mathrm{J}$ gebruiken:
$\frac{6{,}3 \cdot 10^7}{3\,600\,000} = 17{,}5\ \mathrm{kWh}$.

c Gegeven: *E* = 228 kWh, *P* = 90 W = 0,090 kW
$P = \frac{E}{t} \rightarrow 0{,}090 = \frac{228}{t} \rightarrow t = \frac{228}{0{,}090} = 2533\ \mathrm{h}$. Als je het vermogen in kW invult en de energie in kWh, dan bereken je de tijd in uren per jaar. Dus per dag is dat gemiddeld $\frac{2533}{365{,}25} = 6{,}9$ h.

19 a Gegeven $P$ = 2,2 kW = 2200 W en $t$ = 2,5 min = 2,5 × 60 = 150 s
$P = \frac{E}{t} \rightarrow 2200 = \frac{E}{150} \rightarrow E = 2200 \times 150 = 330\,000 \text{ J} = 0{,}33$ MJ

b $\frac{0{,}33\text{ (MJ)}}{3{,}6\text{ (MJ per kWh)}} = 0{,}0917$ kWh. De kosten voor het koken van 1 liter water is dus $0{,}0917 \times 0{,}23 = € \, 0{,}02$.

20 12 MW staat voor het vermogen en betekent dat hij 12 MJ per seconde levert. Vermogen betekent dus al de hoeveelheid energie per tijdseenheid. MW per seconde betekent dan joule per seconde per seconde en dat is dubbelop. Waarschijnlijk bedoelde het artikel dat de windmolen 12 MJ per seconde kan leveren oftewel een vermogen van 12 MW heeft. Hiermee kun je bijvoorbeeld uitrekenen hoeveel MJ dat per jaar is.

21 a Omdat de snelheid constant is, moeten de resulterende kracht 0 zijn. De motorkracht moet dus gelijk zijn aan de wrijvingskracht: $F_{\text{motor}} = 680$ N.

b $W = F \times s = 680 \times 200\,000 = 136\,000\,000 \text{ J} = 136 \text{ MJ}$.

c De geleverde arbeid zorgt voor de nuttige energieomzetting, namelijk van chemische naar bewegingsenergie. Het rendement van de motor is 24% dus:
$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow 24\% = \frac{136}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow E_{\text{in}} = \frac{136}{0{,}24} = 567$ MJ. Er is 567 MJ chemische energie nodig.

d In één liter benzine zit 33 MJ chemische energie, dus er is $\frac{567}{33} = 17{,}2$ liter benzine nodig.

e De arbeid is recht evenredig met de kracht, dus de nieuwe arbeid wordt $\frac{594}{680} = 0{,}87$ keer zo groot (hij wordt dus kleiner). Het rendement blijft gelijk, waardoor ook de hoeveelheid benodigde chemische energie 0,87 keer zo groot wordt. Het aantal liter benzine wordt dus ook 0,87 keer zo groot. Je verbruikt dan dus $17{,}2 \times 0{,}87 = 15{,}0$ liter benzine en bespaart $17{,}2 - 15{,}0 = 2{,}2$ liter benzine. Procentueel is dat ten opzichte van 17,2 liter:
$\frac{2{,}2}{17{,}2} \times 100\% = 13\%$.
Alternatieve methode:
$W = F \times s = 594 \times 200\,000 = 118\,800\,000 \text{ J} = 118{,}8 \text{ MJ}$. De geleverde arbeid zorgt voor de nuttige energieomzetting, namelijk van chemische naar bewegingsenergie. Het rendement van de motor is 24% dus:
$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow 24\% = \frac{118{,}8 \; MJ}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow E_{\text{in}} = \frac{118{,}8 \;\; MJ}{0{,}24} = 495$ MJ. Er is 495 MJ chemische energie nodig. In één liter benzine zit 33 MJ chemische energie, dus er is $\frac{495}{33} = 15$ liter benzine nodig. Je bespaart $17{,}2 - 15{,}0 = 2{,}2$ liter benzine. Procentueel is dat ten opzichte van 17,2 liter: $\frac{2{,}2}{17{,}2} \times 100\% = 13\%$.

22 a Het racevermogen is 200 kW en de wedstrijd duurt 45 minuten. Om de race op racevermogen uit te rijden is er dus
$P = \frac{E}{t} \rightarrow 200\,000 = \frac{E}{45 \times 60} \rightarrow E = 200\,000 \times 2700 = 540\,000\,000 \text{ J} = 540 \text{ MJ}$ aan elektrische energie nodig.

b 540 Mj is gelijk aan $\frac{540}{3{,}6} = 150$ kWh. De accucapaciteit is 54 kWh en dat is dus te weinig om de race uit te rijden.

b De elektrische energie die per seconde omgezet wordt bereken je met:
$P = \frac{E_{\text{el}}}{t} \rightarrow 250\,000 = \frac{E_{\text{el}}}{1} \rightarrow E_{\text{el}} = 250\,000 \text{ J}$. De arbeid bereken je met:
$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{W}{E_{\text{el}}} \times 100\% \rightarrow 95\% = \frac{W}{250\,000} \times 100\% \rightarrow W = 250\,000 \times \frac{95}{100} = 237\,500 \text{ J}$.

c Het regeneratievermogen is 250 kW. De hoeveelheid energie die minimaal teruggewonnen moet worden is $150 - 54 = 96$ kWh. De tijd in uren waarin deze energie teruggewonnen moet worden bereken je met $P = \frac{E}{t} \rightarrow 250 = \frac{96}{t} \rightarrow t = \frac{96}{250} = 0{,}384$ h. In minuten is dat $0{,}384 \times 60 = 23$ minuten.

d In de praktijk zal de raceauto nooit 45 minuten op vol racevermogen kunnen rijden, je kunt immers niet altijd op topsnelheid blijven rijden. Daarnaast is het zo dat als je bijvoorbeeld remt voor een bocht, wat erg vaak gebeurt, je tijdens het remmen geen elektrische energie gebruikt, maar juist creëert door regeneratie. Er dus in totaal minder energie nodig om de race uit te rijden en zal een kleiner deel van de race energie geregenereerd hoeven te worden.

e De elektrische energie die per seconde omgezet wordt bereken je met
$P = \frac{E_{\text{el}}}{t} \rightarrow 250\,000 = \frac{E_{\text{el}}}{1} \rightarrow E_{\text{el}} = 250\,000 \text{ J}$. De arbeid bereken je met $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{W}{E_{\text{el}}} \times 100\% \rightarrow 95\% = \frac{W}{250\,000} \times 100\% \rightarrow W = 250\,000 \times \frac{95}{100} = 237\,500 \text{ J} = 238 \text{ kJ}$.

f De topsnelheid is 280 km/h = 77,78 m/s. Elke seconde legt de auto dus 77,78 m af en elke seconde wordt 237 500 J aan arbeid verricht. Op topsnelheid is de motorkracht gelijk aan de wrijvingskracht, dus: $W = F_{\text{motor}} \times s = F_{\text{w}} \times s \rightarrow 237\,500 = F_{\text{w}} \times 77{,}78 \rightarrow F_{\text{w}} = \frac{237\,500}{77{,}78} = 3053 \text{ N} = 3{,}1 \text{ kN}$.

23 a Er ontstaat snelheid, dus krijgt de auto bewegingsenergie die het in stilstand niet had. Deze energie wordt uit de chemische energie in de accu gehaald. De energieomzetting is dus van chemische energie naar bewegingsenergie.

b Constante snelheid betekent dat de resulterende kracht nul is: $F_{\text{wrijving}} = F_{\text{motor}}$. Omdat beide krachten over dezelfde afstand werken is de arbeid ook even groot.

c Voordat de auto remt heeft hij snelheid en dus kinetische energie, na het remmen staat de auto stil en zijn de remmen en het wegdek een beetje warmer geworden. De wrijvingsarbeid $W_{\text{wrijving}}$ zorgt dus voor de energieomzetting van bewegingsenergie naar warmte.

## 3.3 Warmte

24 a J (joule)
b °C (graden Celsius) of K (kelvin)
c J/(kg ×°C) (joule per kilogram per graad Celsius) of J/(kg × K) (joule per kilogram per kelvin)

25 a Soortelijke warmte is een stofeigenschap en warmtecapaciteit is een eigenschap van een voorwerp. De soortelijke warmte zegt je hoeveel energie je nodig hebt om 1 kg stof 1 °C (of 1 K) te verwarmen, terwijl de warmtecapaciteit je zegt hoeveel energie je nodig hebt om het hele voorwerp 1 °C (of 1 K) te verwarmen.
b Warmte is de hoeveelheid energie die stroomt van hoge naar lage temperatuur totdat de temperaturen gelijk zijn. De temperatuur zegt iets over de gemiddelde bewegingsenergie van de moleculen: hoe hoger de temperatuur, hoe meer bewegingsenergie ze gemiddeld hebben. Warmte is een vorm van energie en druk je uit in joule. Temperatuur druk je uit in °C (graden Celsius) of K (kelvin).

26 a In de tabel 3.8 vind je de soortelijke warmte van baksteen: $0{,}75 \times 10^3$ J/(kg × °C). De formule is $Q = c \times m \times \Delta T \rightarrow Q = 0{,}75 \times 10^3 \times 0{,}3 \times 6 = 1350\ \mathrm{J} = 1{,}4\ \mathrm{kJ}$
b Water kookt bij 100 ˚C dus $\Delta T = 100 - 20 = 80\ ^\circ\mathrm{C}$. In de tabel in tabel 3.8 vind je de soortelijke warmte van water: $4{,}18 \times 10^3$ J/(kg × °C). De formule is
$Q = c \times m \times \Delta T \rightarrow Q = 4{,}18 \times 10^3 \times 0{,}500 \times 80 = 167200\ \mathrm{J} = 1{,}7 \times 10^5\ \mathrm{J}$.
c $Q = C \times \Delta T \rightarrow Q = 75 \times (35 - 20) = 75 \times 15 = 1125\ \mathrm{J} = 1{,}1\ \mathrm{kJ}$.
d Massa naar kg omrekenen: 20 g alcohol is 0,020 kg. $Q = c \times m \times \Delta T \rightarrow$
$194 = 2{,}43 \times 10^3 \times 0{,}020 \times \Delta T \rightarrow 194 = 48{,}6 \times \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{194}{48{,}6} = 4{,}0$ °C.

27 De soortelijke warmte van klein naar groot is:

| | Soortelijke warmte c in $10^3$ J/(kg × °C). | Van kleinste naar grootste |
|---|---|---|
| ijzer | 0,46 | 1 |
| baksteen | 0,75 | 2 |
| glas | 0,8 | 3 |
| eikenhout | 2,39 | 4 |

Dat betekent dat eikenhout de meeste energie nodig heeft om op te warmen en dus het moeilijkst opwarmt en ijzer de minste energie en dus het makkelijkst opwarmt. De massa van alle voorwerpen is gelijk en de hoeveelheid toegevoerde warmte ook. Dus is de temperatuursverandering van ijzer het grootst en daarna volgen baksteen, glas en eikenhout.

28 a Water heeft een grotere soortelijke warmte ($4{,}18 \times 10^3$ J/(kg × °C) dan ijzer ($0{,}46 \times 10^3$ J/(kg × °C). Als 1 kg ijzer 1 °C afkoelt komt er dus minder warmte vrij dan nodig is om water 1 °C te verwarmen. Dus het antwoord is nee, dat is niet genoeg warmte.
b De warmte die het ijzer kwijtraakt is gelijk aan de warmte die het water opneemt. Water heeft een grotere soortelijke warmte dan ijzer. Dus als 1 kg van water en ijzer dezelfde hoeveelheid warmte krijgt (of kwijtraakt) stijgt (of daalt) de temperatuur van water minder hard dan de temperatuur van ijzer. Dus de daling van de temperatuur van het ijzer is groter dan de stijging van de temperatuur van het water en kom je dus uiteindelijk ergens onder de 75 °C uit.

29 a $Q = c \times m \times \Delta T \rightarrow Q = 2{,}43 \times 10^3 \times 0{,}002 \times (15 - 8) = 34\ \mathrm{J}$
b Als je de temperatuur van iets wil meten, wil je eigenlijk die temperatuur zo min mogelijk beïnvloeden met de thermometer. De te meten stof geeft altijd een klein beetje warmte aan de thermometer af. Als de hoeveelheid stof klein is, verandert de temperatuur van de stof al door dat kleine beetje warmte en vind je niet de oorspronkelijke temperatuur van de stof.

30 a Beide stoffen worden even lang verwarmd met dezelfde vlam en krijgen dus evenveel warmte Q toegevoerd. Stof B stijgt het minst in temperatuur, het kost blijkbaar meer energie om stof in temperatuur te laten stijgen. Dus B heeft de grootste soortelijke warmte.

b Neem een punt op de grafiek om de toegevoerde warmte tot dat moment te bepalen, bijvoorbeeld op tijdstip *t* = 60 s en *T* = 50 °C. Deze warmte bereken je met het vermogen van de verwarming:

$P = \frac{Q}{t} \rightarrow 1500 = \frac{Q}{70} \rightarrow Q = 1500 \times 60 = 90\,000\ \text{J} = 90\ \text{kJ}$

c $\Delta T = 50 - 22$ is in de grafiek af te lezen.

$Q = c \times m \times \Delta T \rightarrow 90\,000 = c \times 0{,}770 \times (50 - 22) = c \times 21{,}56 \rightarrow$

$c = \frac{90\,000}{21{,}56} = 4{,}17 \times 10^3$ J/(kg × °C).

31 a De warmte die door het water wordt afgestaan is

$Q = c \times m \times \Delta T \rightarrow Q = 4180 \times 1{,}0 \times (65 - 62) = 12540\ \text{J}$

b Dit is ook de warmte die door de waterkoker is opgenomen, dus

$Q = C \times \Delta T \rightarrow 12540 = C \times (62 - 21) \rightarrow C = \frac{12540}{41} = 306$ J/°C

c Als de warmtecapaciteit van de waterkoker klein is, kost het weinig energie om deze ook op te warmen elke keer als je water kookt. Dit scheelt dus in de kosten.

32 a Na 58 seconden zijn de temperaturen gelijk en wordt er netto geen warmte meer uitgewisseld.

b Het water is in die tijd van 60 naar 40 °C afgekoeld en heeft dus $Q = c \times m \times \Delta T \rightarrow$ $Q = 4180 \times 0{,}100 \times (60 - 40) = 8360\ \text{J}$ afgestaan.

c Stof B heeft ook 8360 J aan warmte opgenomen en is daardoor van 10 naar 40 °C in temperatuur gestegen. $Q = c \times m \times \Delta T \rightarrow 8360 = c \times 0{,}100 \times (40 - 10) \rightarrow 8360 = c \times 3{,}0 \rightarrow$ $c = \frac{8360}{3} = 2787 = 2{,}8 \times 10^3$ J/(kg × °C).

33 a De warmte bereken je met het vermogen van de magnetron, 600 W en *t* = 1 min 20 s = 80 s.

$P = \frac{Q}{t} \rightarrow 600 = \frac{Q}{80} \rightarrow Q = 600 \times 80 = 48\,000\ \text{J}$

b $Q = C \times \Delta T \rightarrow 48\,000 = C \times (75 - 15) \rightarrow C = \frac{48\,000}{60} = 800$ J/°C

c $Q = c \times m \times \Delta T \rightarrow Q = 4180 \times 0{,}150 \times (75 - 15) = 37620\ \text{J}$

d De magnetron heeft 48 000 J aan warmte geleverd en het water heeft daarvan 37 620 J aan warmte opgenomen. De rest van de warmte heeft het kopje dus opgenomen:

$48\,000 - 37\,620 = 10\,380\ \text{J}$.

$Q = C_{\text{kopje}} \times \Delta T \rightarrow 10\,380 = C_{\text{kopje}} \times (75 - 15) \rightarrow C = \frac{10\,380}{60} = 173$ J/°C.

34 a Gegeven $E_{in}$ = 7,75 MJ = 7 750 000 J en $\eta$ = 23%. Gevraagd $E_{nuttig}$

$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow 23\% = \frac{E_{\text{nuttig}}}{7\,750\,000} \times 100\% \rightarrow E_{\text{nuttig}} = 7\,750\,000 \times \frac{23\%}{100\%} = 1\,782\,500 =$ $1{,}78\ \text{MJ}$

b De energie blijft behouden, dus wordt er $7\,750\,000 - 1\,782\,500 = 5\,967\,500\ \text{J}$ aan warmte per seconde geproduceerd.

Per jaar is dat $5\,967\,500 \times (365{,}25 \times 24 \times 60 \times 60) = 1{,}88 \times 10^{14}\ \text{J}$.

c Een huishouden heeft ongeveer 47 GJ per jaar aan warmte nodig, dat is gelijk aan $47 \times 10^9\ \text{J}$. Het aantal huishoudens dat dus met de restwarmte uit de biomassacentrale verwarmd zou kunnen worden is dus $\frac{1{,}88 \times 10^{14}}{47 \times 10^9} = 4004$, oftewel ongeveer 4000 huishoudens.

35 a Als dat wel zo zou zijn, dan zouden de buren geen gebruik van het warme water kunnen maken op het moment dat de cv bij een van de huizen in het rijtje uit staat. Het water kan dan immers niet verder stromen.

b Bij 1 is het temperatuurverschil tussen warmtenetwater en cv-water maximaal. Bij 2 is het cv-water wat opgewarmd en het warmtenetwater wat afgekoeld, dus is het temperatuurverschil minimaal. Omdat de warmteoverdracht evenredig is met het temperatuurverschil is bij 1 de warmteoverdracht het grootst.

c Tegenstroom zorgt ervoor dat ook warm cv-water nog verder opgewarmd kan worden. Bij meestroom vindt er alleen in het beging opwarming plaats, wat daarom minder efficiënt is. Dit overigens alleen belangrijk als het temperatuurverschil tussen beide stromen niet groot is. (eigenlijk dezelfde vraag als b.)

36 De benodigde warmte voor het water is
$Q = c \times m \times \Delta T \rightarrow Q = 4180 \times 50 \times (42 - 15) = 5\,643\,000 \text{ J}$
De benodigde chemische energie bereken je met het rendement:
$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow 90\% = \frac{5\,643\,000}{E_{\text{ch}}} \times 100\% \rightarrow E_{\text{ch}} = \frac{5\,643\,000}{0{,}90} = 6\,270\,000 \text{ J}$
Er zit 32 kJ chemische energie in een liter aardgas, dus je hebt $\frac{6\,270\,000}{32\,000} = 196 = 2{,}0 \times 10^2$ liter aardgas nodig.

## 3.4 Duurzame energie

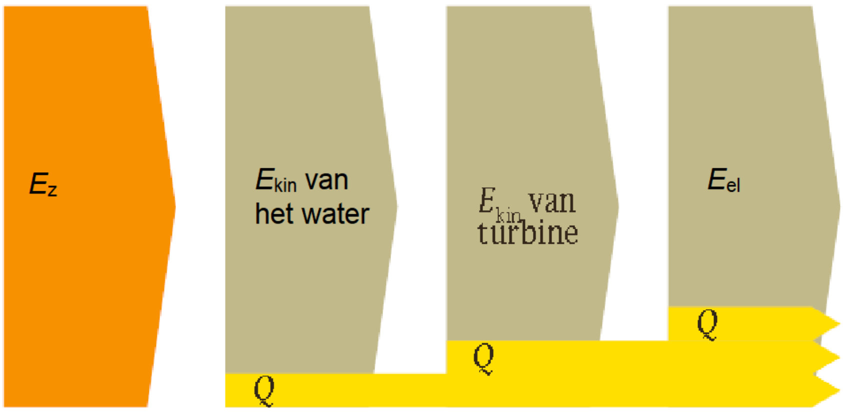
37 a Fossiele brandstoffen zijn niet onuitputtelijk: de bronnen raken op. Daarnaast komt er bij de verbranding $CO_2$ vrij en dit is een broeikasgas. De nadelige gevolgen voor het klimaat, zoals droogte, overstromingen, zeespiegelstijging, zijn een groot probleem.
b Wind ontstaat door luchtdrukverschillen. De luchtdrukverschillen ontstaan door temperatuurverschillen die door zonlicht veroorzaakt worden.
c Stralingsenergie uit het zonlicht wordt in elektrische energie omgezet.

38 a Chemische energie wordt in warmte omgezet. Met deze warmte kun je bijvoorbeeld van water stoom maken om hiermee een turbine aan te drijven en zo elektrische energie te genereren.
b De hoogteverschillen in Nederland zijn te klein.
c De hoek die de zonnestralen op de evenaar met het aardoppervlak maken is groter dan in Nederland dus per vierkante meter valt daar meer zonlicht op het aardoppervlak en dus ook op zonnepanelen. Het is ook minder vaak bewolkt op de evenaar en dus is de gemiddelde jaarlijkse opbrengst groter dan in Nederland.

39 a In de situatie waarin de zonnestralen loodrecht op het zonnepaneel vallen zie je dat er per vierkante meter meer zonnestralen het zonnepaneel raken. Deze situatie produceert dus de meeste elektrische energie.
b Nederland ligt ongeveer halverwege het noordelijk halfrond. Dat betekent dat zonnestralen onder een hoek met het land aankomen. Om de panelen de meeste energie te laten produceren wordt daarom vaak aangeraden om ze onder een hoek van zo'n 36° met het horizontale vlak te plaatsen richting het zuiden.
*Hierbij is nog niet meegenomen dat de draaias van de aarde ook onder een hoek staat met het draaivlak van de aarde rond de zon. Deze hoek is afhankelijk van het seizoen. Ook dit speelt een rol. Het gaat om het principe dat de zonnepanelen loodrecht op de zonnestralen moeten staan om zoveel mogelijk stralingsenergie op te vangen.*

40 a 1. Bewegingsenergie van de wind, 2. Bewegingsenergie (rotatie) van de wieken en onderste tandwiel. 3. Bewegingsenergie (rotatie) van de generator en bovenste tandwiel, 4. Elektrische energie
b Het totale rendement bereken je door de rendementen van elke tussenstap met elkaar te vermenigvuldigen: $0{,}59 \times 0{,}9 \times 0{,}9 = 0{,}48$ oftewel 48%.

41 a




b De breedte van de laatste energiestroom (elektrische energie) is 2,2 cm en die van de eerste (zwaarte-energie) is 3,0 cm. Dus het rendement is $\frac{2{,}2}{3{,}0} \times 100\% = 73\%$.

42 a De elektrische energie die in één jaar door een windmolen geproduceerd wordt bereken je met het vermogen 3 MW = 3000 kW. De molen draait 2000 uren per jaar. Invullen geeft $P = \frac{E}{t} \rightarrow 3000\ \text{kW} = \frac{E}{2000\ \text{h}} \rightarrow E = 3000\ \text{kW} \times 2000\ \text{h} = 6 \times 10^6\ \text{kWh} = 2{,}16 \times 10^{13}\ \text{J}$.

b In totaal werd in 2018 in Nederland $416 \times 10^{15}$ J per jaar verbruikt, dit zal niet sterk zijn veranderd, dus geldt dit als een goede schatting. Er zijn dus ongeveer $\frac{416 \times 10^{15}}{2{,}16 \times 10^{13}} = 19\,259$ windmolens nodig van 3 MW.

c Elke windmolen heeft een oppervlakte nodig van $(5 \times 130)^2 = 650^2 = 422\,500\ \text{m}^2$. Voor alle benodigde windmolens samen is dat $19\,259 \times 422500 = 8{,}14 \times 10^9\ \text{m}^2 = 8{,}14 \times 10^3\ \text{km}^2$.
$\frac{8{,}14 \times 10^3}{41{,}5 \times 10^3} \times 100\% = 19{,}6\%$.

d Op zee waait het harder omdat de wind niet wordt tegengehouden door hoge gebouwen, heuvels en bossen. Op zee hebben mensen geen last van de nadelen van windmolens zoals slagschaduw (schaduw van de wieken) en geluid. Hierdoor kunnen de molens ook nog eens hoger gebouwd worden en dat is gunstig want hoe hoger, hoe harder en constanter het waait.

43 a De stralingsenergie die in één jaar op 1 vierkante meter valt bereken je met het stralingsvermogen per vierkante meter: 110 W/m². Per seconde valt op 1 vierkante meter dus 110 J. Het aantal seconden in een jaar is $365{,}25 \times 24 \times 3600 = 31\,557\,600$ seconden. Invullen geeft $P = \frac{E}{t} \rightarrow 110 = \frac{E}{31\,536\,000} \rightarrow E = 110 \times 31\,557\,600 = 3{,}47 \times 10^9\ \text{J} = 3{,}47\ \text{GJ}$. Per jaar valt er op 1 vierkante meter dus 3,47 GJ aan stralingsenergie in Nederland.

b In totaal werd in 2018 in Nederland $416 \times 10^{15}$ J per jaar verbruikt, dit zal niet sterk zijn veranderd, dus geldt dit als een goede schatting. Een zonnepaneel zet 20% van alle stralingsenergie om in elektrische energie: $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow 20\% = \frac{E_{\text{el}}}{3{,}47\ \text{GJ}} \times 100\% \rightarrow$
$E_{\text{el}} = 3{,}47 \times 0{,}20 = 0{,}694\ \text{GJ}$ per vierkante meter.
De benodigde oppervlakte is dus $\frac{416 \times 10^{15}}{0{,}694 \times 10^9} = 599 \times 10^6\ \text{m}^2 = 599\ \text{km}^2$.

c $\frac{599 \times 10^6}{7{,}9 \times 10^6} = 76\ \text{m}^2$ gemiddeld per huishouden.

44 a Nee, dat is niet mogelijk. Om te vergelijken moeten de eenheden die je vergelijkt gelijk zijn en €/m³ is niet hetzelfde als €/kWh. Wat ontbreekt, is de informatie hoeveel energie er in 1 m³ aardgas zit.

b In 1 m³ zit 1000 liter, dus de verbranding van 1 m³ aardgas levert $1000 \times 32\ \text{kJ} = 32\ \text{MJ}$ op. Dat is gelijk aan $\frac{32}{3{,}6} = 8{,}9\ \text{kWh}$. Per kWh aardgas betaal je dus $\frac{0{,}76}{8{,}9} = €\ 0{,}085$. Dat is ongeveer een derde van de prijs voor 1 kWh aan elektrische energie en dus goedkoper.

45 a Biomassa wordt duurzaam genoemd omdat de $CO_2$ die bij de verbranding vrijkomt ook weer door de bomen opgenomen wordt. Als het gebruik van biomassa (in kg per jaar) dus gelijk zou zijn aan de aangroei van biomassa (in kg per jaar) zou er netto geen extra $CO_2$ in de atmosfeer terecht komen. De discussie gaat er onder andere over of dit het geval is.
*De biomassa moet bestaan uit restafval, niet uit bijvoorbeeld hout dat goed voor de bouw gebruikt kan worden. In dat laatste geval is het duurzamer het hout voor de bouw te gebruiken, de $CO_2$ blijft zo langer in het hout opgeslagen en er wordt minder milieubelastend beton voor de bouw gebruikt. Daarnaast moet de biomassa zo geoogst worden dat de biodiversiteit er niet onder leidt. Als laatste is de verhouding tussen het tempo van $CO_2$ opname door biologisch materiaal (bossen bijvoorbeeld) en het tempo van afgifte van $CO_2$ door verbranding erg belangrijk: Als een boom 30 jaar mag groeien en in die tijd een hoeveelheid $CO_2$ opslaat vanuit de atmosfeer is het niet duurzaam om deze hoeveelheid $CO_2$ in enkele dagen weer in de atmosfeer te laten komen door verbranding: Per tijdseenheid neemt de hoeveelheid $CO_2$ in de atmosfeer dan sterk toe.*

b Voor het transport vanuit Noord-Amerika worden nu nog fossiele brandstoffen gebruikt.

c Er is onvoldoende restafval om te voorzien in de energievoorziening. Andere biomassa concurreert met de voedselvoorziening en is daarom onwenselijk.

d In vulkanische gebieden hoef je niet diep te boren om bij aardlagen te komen die warm zijn. Daarom zijn de kosten voor het aanleggen van een aardwarmte-systeem lager en is de tijd waarin de investering terugverdiend wordt korter.

46 a Er wordt geen $CO_2$ geproduceerd.
b Kernenergie → warmte (stoom) → bewegingsenergie (generator en turbine) → elektrische energie
c Waterdamp/stoom die ontstaat door het verhitten van het water. Het is geen rook zoals bij verbranding ontstaat.
d Kernafval blijft duizenden jaren lang gevaarlijk, dus zijn er nadelige gevolgen voor toekomstige generaties en de voorraad is niet onuitputtelijk. Dus volgens de definitie is het niet duurzaam. Aan de andere kant zou het op korte termijn een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan het terugdringen van de hoeveelheid $CO_2$ in onze atmosfeer, terwijl de levensstandaard met de bijbehorende energieconsumptie op pijl gehouden kan worden.

47 a Voor een vermogen van 485 MW moet er elke seconde dus 485 MJ aan energie opgewekt worden. Om de hoeveelheid energie te berekenen die door kernsplijting geproduceerd moet worden moet je rekening houden met het rendement van de centrale:
$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow 40\% = \frac{485\ 000\ 000}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow E_{\text{in}} = 485\ 000\ 000 \times \frac{100\%}{40\%} = 1{,}21\ \text{GJ}.$

b Gebruik de formule van Einstein: $E = mc^2 \rightarrow 1{,}21 \times 10^9 = m \times (3 \times 10^8)^2 \rightarrow$
$m = \frac{1{,}21 \times 10^9}{9 \times 10^{16}} = 1{,}3 \times 10^{-8}$ kg = 0,013 mg wordt per s in energie omgezet.

## 3.5 Energietransitie

48 a Er is veel wetenschappelijk bewijs waaruit blijkt dat de sterke stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde in relatief korte tijd het beste verklaard kan worden door de sterke toename van broeikasgassen als $CO_2$ en methaan in onze atmosfeer.
b De overgang van een energievoorziening gebaseerd op fossiele brandstoffen naar een duurzame energievoorziening.
c Accu, stuwmeer, waterstof.
d De actieradius is de afstand die een (elektrisch) voertuig kan rijden op een volle accu of tank.
e De energiedichtheid van een stof is de hoeveelheid energie per massaeenheid (of bij gassen en vloeistoffen volume-eenheid) van die stof.

49 a In de zomer hoef je je huis niet te verwarmen: de vraag naar energie is laag, maar het aanbod is vanwege de vele zonuren hoog. In de winter is de vraag juist erg hoog, maar het aanbod helaas laag.
b Overdag zijn de meeste mensen aan het werk, je hoeft je huis dan niet te verwarmen, de vraag naar energie is dan laag. Het aanbod is overdag echter hoog, want overdag schijnt de zon. ’s Avonds is het aanbod juist laag, maar is de vraag hoog: je wilt bijvoorbeeld het huis weer warm krijgen en je doet de lampen aan.
c Energieopslag kan ervoor zorgen dat het gat tussen vraag en aanbod overbrugd wordt door de energie ten tijde van veel aanbod op te slaan en weer vrij te geven als de vraag hoog is.

50 Elektrische koken draagt alleen bij als de elektrische energie uit het stopcontact duurzaam opgewekt is. Als deze energie met fossiel gestookte energiecentrales wordt opgewekt, verplaats je slechts het probleem.

51 a Tussen de 1 en 2 °C.
b Doordat het ijs smelt, wordt er steeds minder zonlicht terug de ruimte in weerkaatst en steeds meer door het zeewater opgenomen. Hierdoor smelt het ijs steeds sneller en versterkt dit effect zichzelf.

52 a $\frac{2721\times10^3}{0{,}100} = 2{,}721 \times 10^7$ J/kg
b Voor 10 km heb je dus $10 \times 16 = 160$ kJ aan arbeid nodig, dit is gelijk aan de nuttige vorm van energie. Met het rendement reken je uit hoeveel energie je nodig hebt:
$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow 20\% = \frac{160\ kJ}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow E_{\text{in}} = \frac{160}{0{,}2} = 800$ kJ.
c $\frac{2\times800\times10^3 \text{J}}{2{,}721\times10^7 \text{J/kg}} = 0{,}059 \text{ kg} = 59 \text{ g}$ pindakaas.

53 a Als de elektrische energie die opgeslagen zit in de accu afkomstig is uit de verbranding van fossiele brandstoffen, dan produceer je toch broeikasgassen op het moment dat je de accu oplaadt.
b Je kunt dit voorkomen door de elektrische energie duurzaam te produceren, bijvoorbeeld met zonnepanelen of windenergie.

54 a Net als bij de elektrische accu gaat het om de productie van de elektrische energie. Gebeurt dit door de verbranding van fossiele brandstoffen, dan produceer je bij elke tankbeurt toch broeikasgassen.

b Aangenomen dat de elektromotoren in de waterstofauto en elektrische auto hetzelfde rendement hebben, kom je met 30 kg waterstof verder. Er zit immers meer energie in 30 kg waterstof vanwege de hogere energiedichtheid. In de praktijk is het rendement van de waterstofmotor vaak kleiner dan dat van de elektrische auto dus wordt het verschil in afstand kleiner bij dezelfde massa.

c De hoeveelheid opgeslagen energie in de accu is $530\ \mathrm{kg} \times 0{,}25\frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{kg}} = 132{,}5\ \mathrm{kWh}$. Om dezelfde hoeveelheid energie in de vorm van waterstof mee te nemen heb je $\frac{132{,}5\ \mathrm{kWh}}{33{,}3\frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{kg}}} =$ $3{,}98\ \mathrm{kg}$ waterstof nodig.

d Tanktijd: voordeel voor waterstof. De tanktijd is enkele minuten, terwijl je bij elektrisch laden veel meer kwijt bent.
Energiedichtheid: Je kunt per kg opslag veel meer energie meenemen in een waterstofauto. Dus de actieradius kan veel groter zijn.

55 a 1500 mAh is gelijk aan 1,5 Ah, dus $\frac{1{,}5\mathrm{Ah}}{12\mathrm{h}} = 0{,}125\ \mathrm{A}$

b Kies een tijd waarin je de batterij leeg wil laten lopen, 1 uur is een handige keuze, want dan kun je de stroomsterkte aflezen: 2500 mA = 2,5 A. Denk erom dat de standaard eenheid van tijd seconde is, dus we moeten voor de tijd 3600 s nemen. Invullen in: $E = U \times I \times t \rightarrow$ $E = 1{,}5 \times 2{,}5 \times 3600 = 13\ 500\ \mathrm{J}$. (Elke andere keuze voor de tijd levert hetzelfde resultaat op.)

c De energiedichtheid is dan $\frac{13\ 500\ \mathrm{J}}{0{,}023\ \mathrm{kg}} = 586957\ \mathrm{J/kg} = 0{,}59\ \mathrm{MJ/kg}$.

56 a Alleen zonne-energie oftewel stralingsenergie.

b Elektrische energie en ook warmte.

c Chemische energie.

d Gegeven: $E$ = 18 MJ = 18 000 000 J en $P$ = 780 W

$$P = \frac{E}{t} \rightarrow 780 = \frac{18\ 000\ 000}{t} \rightarrow t = \frac{18\ 000\ 000}{780} = 23\ 076\ \mathrm{s} = 6{,}4\ \mathrm{h}.$$

e De tijdsduur van de race die dag bereken je met $s = v \times t \rightarrow 525 = 75 \times t \rightarrow t = \frac{525}{75} = 7\ \mathrm{h} = 25\ 200\ \mathrm{s}$. De inhoud van de accu's is 18 MJ en dit moet aan het einde van de race opgebruikt zijn. Het vermogen dat de accu's dan aan de elektromotor moeten leveren bereken je dan met $P = \frac{E}{t} = \frac{18\ 000\ 000}{25\ 200} = 714\ \mathrm{W}$.

57 a $850\ \mathrm{MWh} = 850\ 000\ \mathrm{kWh}$, dus per huishouden is dat $\frac{850\ 000}{80\ 000} = 10{,}6\ \mathrm{kWh}$ per dag.

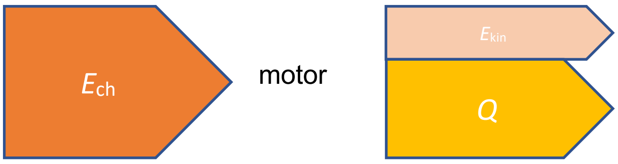
b $P = \frac{E}{t} = \frac{850\ 000\ (\mathrm{kWh})}{8\ (\mathrm{h})} = 106\ 250\ \mathrm{kW}$ in totaal. Per windmolen is dat $\frac{106\ 250}{36} = 3{,}0\ \mathrm{MW}$.

c Windmolens produceren dag en nacht, zomer en winter stroom, zodra de wind waait. Dit kan het probleem met verschil in vraag en aanbod verkleinen. Windstille bewolkte dagen blijven wel een probleem.

## Toetsvoorbereiding

1 a Er kan nooit energie ontstaan of verdwijnen. Bij elke energieomzetting blijft de totale hoeveelheid energie gelijk.
b kWh is een eenheid van energie, want 1 kW×h =1000 J/s × 3600 s = 3,6 MJ.
c Bewegingsenergie van de lucht → bewegingsenergie van de wieken → bewegingsenergie van de generator → elektrische energie
d Energieopwekking is duurzaam als de bron onuitputtelijk is en als er geen nadelige gevolgen voor volgende generaties zijn.
e Energieopslag kan het gat tussen vraag en aanbod van duurzame energie opvullen.

2 a Chemische energie (benzine) → bewegingsenergie en warmte.
b Het energiestroomdiagram begint met chemische energie, die zich vertakt in warmte en bewegingsenergie. Hierbij is de breedte van bewegingsenergiestroom 35% van de chemische energiestroom en de warmtestroom heeft een breedte van 65% van de chemische energiestroom.




3 a $Q_{\text{melk}} = c \times m \times \Delta T \rightarrow Q_{\text{melk}} = 3{,}9 \times 10^3 \times 0{,}02 \times (60 - 7) = 4134 = 4{,}1 \times 10^3 \text{J}$
b De warmte die de melk heeft opgenomen is gelijk aan de warmte die de kop thee heeft afgestaan $Q_{\text{melk}} = Q_{\text{kopje thee}}$ en
$Q_{\text{kopje thee}} = C \times \Delta T$, dus $4134 = C \times (65 - 60) \rightarrow C = \frac{4134}{5} = 827$ J/°C.

4 a De veerenergie die opgeslagen zit in de polsstok is het grootst als deze het meest gebogen is. In de figuur is dat in situatie 2.
b $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow \eta = \frac{3579}{4630} \times 100\% = 77\%$
c De bedoeling is zo hoog mogelijk te komen, dus er moet zo veel mogelijk zwaarte-energie ontstaan.
d De zwaarte-energie is evenredig met de hoogte dus die wordt met dezelfde factor vergroot. De factor waarmee de hoogte toeneemt is $\frac{5{,}5}{5{,}0} = 1{,}1$. De zwaarte-energie zal dus ook met een factor 1,1 toenemen. Als het rendement gelijk blijft zal de kinetische energie met dezelfde factor toenemen als de zwaarte-energie. Dus is de benodigde kinetische energie $1{,}1 \times 4630 = 5093 = 5{,}1\ \text{kJ}$.

5 a De arbeid bereken je met $W = F \times s \rightarrow 270 \times 10^6 = F \times 500 \times 10^3 \rightarrow F = \frac{270 \times 10^6}{500 \times 10^3} = 540$N.
b De motor verricht 270 MJ aan arbeid gedurende de hele rit. De tijdsduur van de rit bereken je met $s = v \times t \rightarrow 500 = 100 \times t \rightarrow t = \frac{500}{100} = 5$ h. Het nuttige vermogen van de motor is dan $P = \frac{W}{t} = \frac{270\,000\,000}{5 \times 3600} = 15$ kW.
c Ervan uitgaande dat het rendement van de elektrische motor 100% is, kun je de totale massa aan accu's berekenen met $\frac{270}{0{,}58} = 466$ kg. Elke accu weegt 0,400 kg dus zijn er $\frac{466}{0{,}4} = 1{,}16 \times 10^3$ laptopaccu's nodig.
d De elektrische energie moet duurzaam zijn opgewekt.

6 a $Q = c \times m \times \Delta T \rightarrow Q = 4180 \times 1{,}0 \times 10^3 \times (89 - 8{,}0) = 339$ MJ
b De energie die dat kost is gelijk aan arbeid die de pomp moet verrichten: $W = F \times s$, waarbij de kracht van de pomp gelijk moet zijn aan de zwaartekracht. $F = F_z = m \times g = 1{,}0 \times 10^3 \times 9{,}8 = 9{,}8 \times 10^3$ N. Invullen geeft $W = F \times s \rightarrow W = 9{,}8 \times 10^3 \times 2{,}3 \times 10^3 = 23$ MJ.
c Bij het gebruiken van aardwarmte komt geen $CO_2$ vrij. Aardwarmte is vrijwel onuitputtelijk.

7 Het totale jaarlijkse energieverbruik van Groningen in kWh is $120000 \times 3000 = 360 \times 10^6$ kWh. Een windmolen van 2,5 MW = 2500 kW produceert per jaar in kWh met 2000 draaiuren:
$P = \frac{E}{t} \rightarrow 2{,}5 \times 10^3 = \frac{E}{2000} \rightarrow E = 2000 \times 2{,}5 \times 10^3 = 5 \times 10^6$ kWh.
Je hebt dus $\frac{360 \times 10^6}{5 \times 10^6} = 72$ windmolens nodig.

8 a 1132 kWh per jaar is $1132 \times 3{,}6 \times 10^6 = 4{,}075 \times 10^9$ J per jaar. In een jaar zitten $365 \times 24 \times 3600 = 3153600$ seconden. Dus per seconde is dat $\frac{4{,}075 \times 10^9}{3153600} = 129$ J, oftewel een vermogen van 129 W.

b Omdat dit over het hele jaar berekend is inclusief zomer en winter, dag en nacht, bewolkt en zonnig.

c De zonnecollector heeft een oppervlakte van 1,6 m$^2$ dus per m$^2$ is het vermogen $\frac{129}{1{,}6} = 81$ W. Het nuttige vermogen van de zonnecollector is 81 W/m$^2$. Het rendement bereken je dan met $\eta = \frac{81}{110} \times 100\% = 74\%$.

d Per seconde valt er die dag $400 \times 1{,}6 = 640$ J zonne-energie op de zonnecollector. Gedurende 3,5 uur is dat $3{,}5 \times 3600 \times 640 = 8\,064\,000$ J. Om te berekenen hoeveel energie de zonnecollector voor de opwarming van het water produceert, moet je rekening houden met het rendement dat we bij vraag c berekend hebben. De zonnecollector produceert
$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{8\,064\,000} \times 100\% \rightarrow 74\% = \frac{E_{\text{nuttig}}}{8\,064\,000} \times 100\% \rightarrow E_{\text{nuttig}} = 8\,064\,000 \times 0{,}74 = 5\,967\,360 = 6{,}0$ MJ aan warmte om water mee op te warmen. Om de eindtemperatuur van het water te berekenen gebruik je $Q = c \times m \times \Delta T \rightarrow Q = 4180 \times 75 \times (T_{\text{eind}} - 16) = 5\,967\,360 \rightarrow (T_{\text{eind}} - 16) = \frac{5\,967\,360}{4180 \times 75} = 19$ °C. Dus $T_{\text{eind}} = 19 + 16 = 35$ °C

e Hoewel het altijd aan te raden is om water met behulp van zonnewarmte voor te verwarmen is de vraag naar warmte vooral in de winter groot , terwijl het aanbod aan zonne-energie dan laag is. In de zomer geldt het omgekeerde, dus daar sluit de zonnecollector niet erg goed op aan.

## 4.1 Elektrisch vermogen en capaciteit

1 a Energie per seconde is vermogen

2 a Waar
b Niet waar, 20 A moet 80 A zijn.

3 a 1500 W = 1,5 kW
b 10 kV = 10 000 V
c 50 mA = 0,050 A
d 2,5 MW = 2500 kW

4 a $P = U \times I = 230 \times 4{,}5 = 1035\ \mathrm{W}$
b $P = U \times I \rightarrow 9 \times 0{,}25 = 2{,}25\ \mathrm{W}$
c $P = U \times I \rightarrow 250 = U \times 1{,}1 \rightarrow U = \frac{250}{1{,}1} = 227\ \mathrm{V}$
d $P = U \times I \rightarrow 2500 = 230 \times I \rightarrow I = \frac{2500}{230} = 11\ \mathrm{A}$

5 a In de stand 2000 W wordt de meeste elektrische energie per seconde omgezet in warmte. Je kan dit zien door de formule in te vullen of naar de eenheid van vermogen te kijken. Watt betekent J per seconde. Dus het hoogste getal zet de meeste elektrische energie per seconde om in een andere energie vorm.
b Gegeven: *P* = 1000 W
*U* = 230 V
Gevraagd: *I* in A
Berekening: Vul de formule in:
$P = U \times I \rightarrow 1000 = 230 \times I \rightarrow I = \frac{1000}{230} = 4{,}3\ \mathrm{A}$
Antwoord: De stroomsterkte is 4,3 A
c
Gegeven: *P* = 1000 W
*t* = 1 h = 3600 s
Gevraagd: *E* in J en kWh
Berekening: Vul de formule in:
$E = P \times t = 1000 \times 3600 = 3\,600\,000\ \mathrm{J}$
Voor kWh *t* in uren en *P* in kW:
$E = P \times t = 1 \times 1 = 1\ \mathrm{kWh}$
Antwoord: De kachel gebruikt 3 600 000 J en 1 kWh in 1 uur.

6 a 5 V
b 2 A
c Gegeven: *I* = 2 A
*U* = 5 V
Gevraagd: *P* in W
Berekening: Vul de formule in:
$P = U \times I = 5 \times 2 = 10\ \mathrm{W}$
Antwoord: Het vermogen is 10 W.
d Op de adapter staat 12 W. Dit is dus genoeg vermogen om de oplader op aan te sluiten.
e Gegeven: *I* = 500 mA = 0,5 A
*U* = 5 V
Gevraagd: *P* in W
Berekening: Vul de formule in:
$P = U \times I = 5 \times 0{,}5 = 2{,}5\ \mathrm{W}$
Antwoord: Het vermogen is 2,5 W.
f Het vermogen van de USB poort is veel kleiner dan waar de oplader op werkt. De oplader zal daarom niet (goed) werken.

7 a rond 19:00 uur
b 2 kW
c De centrale levert 435 Mw. Dit is 435000 kW. De centrale kan 435 000/2 = 217 500 huishoudens tijdens de vermogenspiek van elektrische energie voorzien.
d Het wordt eerder donker. De vermogenspiek zal vroeger in de avond beginnen. Maar het hoogste deel valt op hetzelfde tijdstip, rond etenstijd, in verband met elektrisch koken.

8 Gegeven: capaciteit = 2,4 Ah en tijd = 8 h. Gevraagd: stroomsterkte
Capaciteit = stroomsterkte × tijd → 2,4 = stroomsterkte × 8 → stroomsterkte = 2,4/8 = 0,3 A

9 a Gegeven: *C* = 2000 mAh
*U* = 5 V
*P* = 0,25 W
Gevraagd: *t*
Berekening: Bereken eerst de stroomsterkte. Vul de formule in:
$P = U \times I \rightarrow 0{,}25 = 5 \times\ I \rightarrow I = \frac{0{,}25}{5} = 0{,}05\text{ A} = 50\text{ mA}$
De batterij kan 1 uur lang 2000 mA stroom leveren, dus 2000/50 = 40 uur kan de batterij 50 mA stroom leveren.
Antwoord: Het lampje kan 40 uur blijven branden op deze batterij.

10 Gegeven: *C* = 40 Ah en *I* = 235 A Gevraagd: *t* (aantal startbeurten van 15 s)
*C* = *I* × *t* → 40 = 235 × *t* → *t* = 40/235 = 0,17 h
Dit is 0,17 × 3600 = 612 s. Aantal startbeurten is dus 613/15 = 408.

9 a *C* = *I* × *t*
b De formule is *E* = *U* × *I* × *t*. *C* = 40 Ah, dus je kunt 40 A in 1 uur uit de accu halen. 1 uur 3600 s. Invullen: *E* = 12 × 40 × 3600 = 1728000 J.

10 a Bij een capaciteit van 1800 mAh is de accu bij 1800 mA na 1 uur leeg. De accu is nu na 7 × 24 = 168 uur leeg. De stroom is dan 1800/168=10,7 mA.
b Een stroom van 0,9 A is gelijk aan 900 mA. De mobiel is dus na 1800/900 = 2,0 uur opgeladen.
c Gegeven: *P* = 2,5 W
*U* = 5 V
Gevraagd: *t* in uren
Berekening: Bereken de laadstroom. Vul de formule in:
$P = U \times I \rightarrow 2{,}5 = 5\ \times\ I \rightarrow I = \frac{2{,}5}{5} = 0{,}5\text{ A} = 500\text{ mA}$
Bereken de oplaadtijd:
$t = \frac{1810}{500} = 3{,}6\text{ uur}$
Antwoord: De oplaadtijd is 3,6 uur.

11 a Vanaf 50 kW is er sprake van een snellaadstation.
b Gegeven *U* = 230 V en *I* = 16 A. Gevraagd *P*
$P = U \times I = 230 \times 16 = 3680\text{ W} = 3{,}68\text{ kW}$
c Gegeven *E* = 85 kWh en *P* = 3,68 kW Gevraagd: *t* in h
$P = \frac{E}{t} \rightarrow 3{,}68 = \frac{85}{t} \rightarrow t = \frac{85}{3{,}68} = 23\text{ h}$
d Als het vermogen 2 keer zo groot wordt is de tijd 2 keer zo klein. Het vermogen bij de laadpaal is 50/3,68 = 14 keer zo snel.

13 a De grafiek heeft de hoogste piek bij 46 kW.
b De grafiek loopt heel hoog tot 47 %, maar tot 65 % gaat het ook nog snel.
c Als de accu tot 70 % is opgeladen is de energie 0,70 × 85 = 59,5 kWh
*P* = 42 kW. Gevraagd *t* in min.
$P = \frac{E}{t} \rightarrow 42 = \frac{59{,}5}{t} \rightarrow t = \frac{59{,}5}{42} = 1{,}42\text{ h} = 1{,}42 \times 60 = 85\text{ min}$
d De laatste 30 % gaat met gemiddelde de helft van het vermogen, dat duurt dus tweemaal zo lang. Je moet wel ongeveer anderhalf keer zo vaak stoppen, maar elke stop duurt twee keer zo kort als je slechts tot 70 % laadt.

## 4.2 Weerstand

14 Een ohmse weerstand.

15 De eenheid van weerstand is de ohm en wordt aangegeven met het symbool Ω.

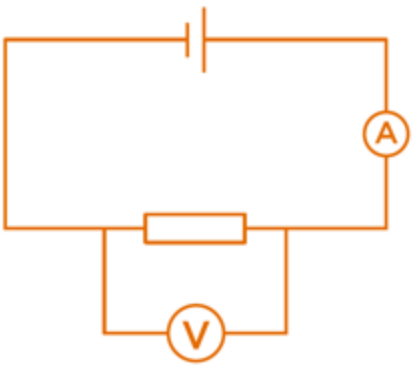
16 a 20 kΩ = 20 000 Ω
b 450 m Ω = 0,45 Ω
c 50 Ω = 0,05 Ω
d 1,5 MΩ = 1 500 000 Ω
e 0,25 Ω = 250 mΩ

17 a $R = \frac{U}{I} = \frac{4{,}5}{0{,}1} = 45\ \Omega$
b $R = \frac{U}{I} = \frac{3{,}0}{0{,}2} = 15\ \Omega$
c $R = \frac{U}{I} \rightarrow 12 = \frac{U}{0{,}75} \rightarrow U = 0{,}75 \times 12 = 9{,}0\ \mathrm{V}$
d $R = \frac{U}{I} \rightarrow 50 = \frac{230}{I} \rightarrow I = \frac{230}{50} = 4{,}6\ \mathrm{A}$
e $P = U \times I \rightarrow 150 = 230 \times I \rightarrow I = \frac{150}{230} = 0{,}652\ \mathrm{A}$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{0{,}652} = 353\ \Omega$$

18 a Gegevens: Lees af bij 35 V
*I* = 160 mA = 0,160 A
*U* = 35,0 V
Gevraagd: *R* in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$R = \frac{U}{I} = \frac{35{,}0}{0{,}160} = 219\ \Omega$
Antwoord: De weerstand is 219 Ω.
b De rechte lijn in het diagram geeft aan dat de spanning en de stroom een recht evenredig verband hebben (net als in figuur 4.6). Het is dus een ohmse weerstand.

19 a




b Gegevens: Lees de meters af:
*I* = 0,18 A
*U* = 24 V
Gevraagd: *R* in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$R = \frac{U}{I} = \frac{24}{0{,}18} = 133\ \Omega$
Antwoord: De weerstand is 133 Ω.
c Bij een ohmse weerstand is de stroomsterkte recht evenredig met de spanning. Als de spanning twee keer zo groot wordt, wordt de stroomsterkte ook twee keer zo groot: 2 × 0,18 = 0,36 A.

20 a De spanning van het stopcontact = 230 V.

b Gegevens: $U$ = 230 V , $P$ = 1250 W
Gevraagd: $I$
Berekening: Vul de formule in:
$$P = U \times I \rightarrow 1250 = 230 \times I \rightarrow I = \frac{1250}{230} = 5{,}4\ \text{A}$$
Antwoord: De stroomsterkte is 5,4 A.

c Gegevens: $U$ = 230 V , $I$ = 5,4 $A$
Gevraagd: $R$
Berekening: Vul de formule in:
$$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{5{,}4} = 42\ \Omega$$
Antwoord: De weerstand is 42 Ω.

d De spanning is gelijk, dus bij een grotere vermogen hoort een grotere stroomsterkte. Door de waterkoker (2000 W) is de stroomsterkte dus groter dan de wasmachine (1250 W).

e Bij gelijke spanning is de stroomsterkte groter als de weerstand kleiner is. De waterkoker heeft dus een kleinere weerstand.

21 a Gegevens: Lees het diagram van de koplamp af bij 6 V:
$I$ = 0,40 A
$U$ = 6 V
Gevraagd: $R$ in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$$R = \frac{U}{I} = \frac{6}{0{,}40} = 15\ \Omega$$
Antwoord: De weerstand van de koplamp bij 6 V is 15 Ω.

b De stroom door de koplamp is bij een bepaalde spanning groter dan de stroom door het achterlicht. De koplamp heeft dus de laagste weerstand.

d De wet van Ohm geldt niet want spanning en stroom is niet recht evenredig, De ($U,I$)-grafiek is geen rechte lijn.

22 a De stroomsterkte is 0 V

b Gegevens: Lees het diagram af:
$U$ = 1,2 V
$I$ = 7 mA (=0,007 A)
Gevraagd: $R$
Berekening: Vul de formule in:
$$R = \frac{U}{I} = \frac{1{,}2}{0{,}007} = 171\ \Omega$$
Antwoord: De weerstand is 171 Ω.

c De weerstand neemt af omdat de stroomsterkte sneller toeneemt dan de spanning vanaf 1 V.

23 Voor lijn A blijft de weerstand constant: de grafiek is een rechte lijn, dus ohmse weerstand
Voor lijn B neemt de weerstand toe: Bij hoge spanning is de stroomsterkte te klein vergeleken met de ohmse weerstand. $R = \frac{U}{I}$ dus als $I$ klein dan $R$ groot.
Voor lijn C neemt de weerstand af: Bij hoge spanning is de stroomsterkte te groot vergeleken met de ohmse weerstand. $R = \frac{U}{I}$ dus als $I$ groot dan $R$ klein.

24 a Als de stroom het grootst is, dan is de weerstand het laagst (bij dezelfde spanning) dus op $t$ = 18 s:

b Zweet geleidt de stroom beter, dus bij lage weerstand is de kans dat de verdachte liegt het grootst. Wetenschappelijk onderzoek heeft overigens aangetoond dat de leugendetector niet werkt.

c Gegevens: $U$ = 10 V
$I$ = 0,3 mA = 0,0003 A (uit diagram op $t$ = 40 s)
Gevraagd: $R$ in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$$R = \frac{U}{I} = \frac{10}{0{,}0003} = 33333\ \Omega = 33\ \text{k}\Omega$$
Antwoord: De weerstand van de wasmachine is 33 kΩ

25 a Gegeven: $R$ = 1950 Ω bij $U$ = 200 V (uit diagram)
Gevraagd: $I$ in A
Berekening: Vul de formule in:
$R = \frac{U}{I} \rightarrow 1950 = \frac{200}{I} \rightarrow I = \frac{200}{1950} = 0{,}103\ \mathrm{A}$
Antwoord: De stroomsterkte is 0,103 A.

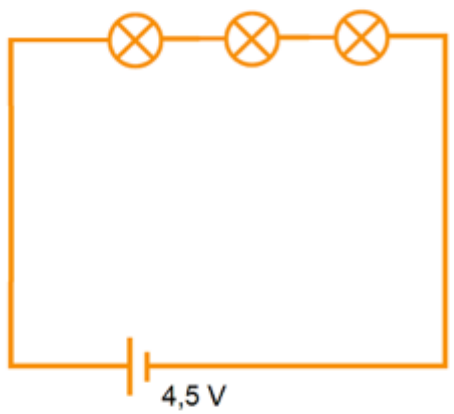
b De huid gedraagt zich niet als een ohmse weerstand want de weerstand verandert als de spanning verandert.

## 4.3 Electrische schakelingen

26 a waar
b waar
c niet waar
d niet waar

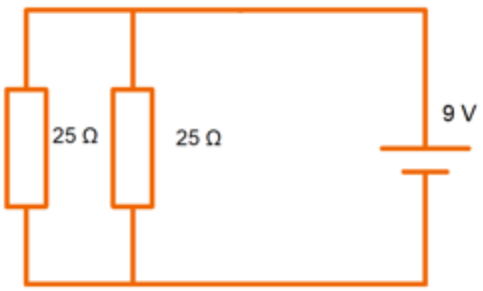
27 $\frac{1}{R_{\mathrm{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$

28 a




b $R_{\mathrm{tot}} = R_1 + R_2 + R_3$
c $R_{\mathrm{tot}}$ = 15 +15 + 15 = 45 Ω
d $R = \frac{U}{I} \rightarrow 45 = \frac{4{,}5}{I} \rightarrow I = \frac{4{,}5}{45} = 0{,}10\ \mathrm{A}$
e De spanning wordt gelijk verdeeld, dus elk lampje krijgt een spanning van 4,5 / 3 = 1,5 V.

29 a




b $\frac{1}{R_{\mathrm{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
c $\frac{1}{R_{\mathrm{tot}}} = \frac{1}{25} + \frac{1}{25} = \frac{2}{25} \rightarrow R_{\mathrm{tot}} = \frac{25}{2} = 12{,}5\ \Omega$
d $R = \frac{U}{I} \rightarrow 12{,}5 = \frac{9}{I} \rightarrow I = \frac{9}{12{,}5} = 0{,}72\ \mathrm{A}$
e De stroom verdeelt zich over beide weerstanden.
Elke weerstand krijgt de helft dus 0,72 / 2 = 0,36 A.

30 a Gegevens: $R_1$ = 200 Ω, $R_2$ = 400 Ω en $R_3$ =360 Ω
Gevraagd: $R_{tot}$ in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 = 200 + 400 + 360 = 960\ \Omega$
Antwoord: De totale weerstand is 960 Ω
b Gegeven: $R_{tot}$ = 960 Ω en $U$ = 10 V
Gevraagd: $I$ in A
Berekening: Vul de formule in:
$R = \frac{U}{I} \rightarrow 960 = \frac{10}{I} \rightarrow I = \frac{10}{960} = 0{,}0104\ \text{A}$
Antwoord: De totale stroomsterkte is 0,0104 A
c Gegeven: $R_2$ = 400 Ω en $I$ = 0,0104 A
Gevraagd: $U$ in V
Berekening: Vul de formule in:
$R = \frac{U}{I} \rightarrow 400 = \frac{U}{0{,}0104} \rightarrow U = 400 \times 0{,}0104 = 4{,}2\ \text{V}$
Antwoord: De spanning over $R_2$ is 4,2 V.

31 a Gegevens: $R_1$ = 200 Ω, $R_2$ = 400 Ω en $R_3$ =3 60 Ω
Gevraagd: $R_{tot}$ in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{200} + \frac{1}{400} + \frac{1}{30} = 0{,}0103 \quad \rightarrow \quad R_{tot} = \frac{1}{0{,}0103} = 97\ \Omega$
Antwoord: De totale weerstand is 97 Ω.
b Gegeven: $R_{tot}$ = 97 Ω en $U$ = 10 V
Gevraagd: $I$ in A
Berekening: Vul de formule in:
$R = \frac{U}{I} \rightarrow 97 = \frac{10}{I} \rightarrow I = \frac{10}{97} = 0{,}103\ \text{A}$
Antwoord: De totale stroomsterkte is 0,103 A.
c Gegeven: $R_2$ = 400 Ω en $U$ = 10 V
Gevraagd: $I$ in A
Berekening: Vul de formule in:
$R = \frac{U}{I} \rightarrow 400 = \frac{10}{I} \rightarrow I = \frac{10}{400} = 0{,}025\ \text{A}$
Antwoord: De stroomsterkte door $R_2$ is 0,025 A.

32 a Je moet de weerstand in serie schakelen omdat de spanning zich dan verdeeld over de ledlamp en de weerstand. Je moet de weerstand zo kiezen dat de spanning over de ledlamp 2,1 V is en over de weerstand 5,0 – 2,1 = 2,9 V.
b Gegeven: $I$ = 20 mA = 0,02 A en $U$ = 2,1 V
Gevraagd: $R$ in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$R = \frac{U}{I} = \frac{2{,}1}{0{,}02} = 105\ \Omega$
Antwoord: De weerstand van de ledlamp is 105 Ω.
c Gegeven: $I$ = 20 mA = 0,02 A en $U$ = 5,0 – 2,1 = 2,9 V
Gevraagd: $R$ in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$R = \frac{U}{I} = \frac{2{,}9}{0{,}02} = 145\ \Omega$
Antwoord: De weerstand moet 145 Ω zijn.

33 a Eerst de stroomsterkte uitrekenen met de formule $P = U \times I$ en daarna de weerstand met de formule $R = \frac{U}{I}$

Gegeven: $P$ = 1700 W en $U$ = 230 V
Gevraagd: $R$ in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$P = U \times I \rightarrow 1700 = 230 \times I \rightarrow I = \frac{1700}{230} = 7{,}39\ \text{A}$
$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{7{,}39} = 31{,}1\ \Omega$
Antwoord: De weerstand van de waterkoker is 31,1 Ω.

b Eerst de stroomsterkte uitrekenen met de formule $P = U \times I$ en daarna de weerstand met de formule $R = \frac{U}{I}$

Gegeven: $P$ = 1000 W en $U$ = 230 V
Gevraagd: $R$ in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$P = U \times I \rightarrow 1000 = 230 \times I \rightarrow I = \frac{1000}{230} = 4{,}35\ \text{A}$
$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{4{,}35} = 52{,}9\ \Omega$
Antwoord: De weerstand van de waterkoker is 52,9 Ω.

c Bij een parallelschakeling is de totale stroomsterkte gelijk aan de som van de deelstromen:
$I_{tot}$ = 7,39 + 4,35 = 11,74 A

d Gegevens: $I_{max}$ = 16 A, $I_{tot}$ = 11,7 A en $U$ = 230 V
Gevraagd: $P$ die tot een totale stroom van 16 A leidt.
Berekening: Bereken de stroom die nog kan worden aangesloten:
16-11,7 = 4,3 A
Vul de formule in:
$P = U \times I = 230 \times 4{,}3 = 989\ \text{W}$
Antwoord: Het koffiezetapparaat van 900 W kan nog worden aangesloten.

34 a Gegevens: Een rechte lijn in een ($I$,$U$)-diagram betekent dat de weerstand constant is. Je mag daarom een willekeurig punt kiezen in het diagram. Kies een punt dat makkelijk is af te lezen.
$R_1$: Bij een spanning $U_1$ = 8 V is de stroomsterkte $I_1$ = 0,4 A
$R_2$: Bij een spanning $U_2$ = 8 V is de stroomsterkte $I_2$ = 0,26 A
Gevraagd: $R_1$ en $R_2$ in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$R_1 = \frac{U}{I} = \frac{8}{0{,}4} = 20\ \Omega$ en $R_2 = \frac{U}{I} = \frac{8}{0{,}26} = 31\ \Omega$
Antwoord: De weerstand $R_1$ is 20 Ω en de weerstand $R_2$ is 31 Ω

b De totale weerstand is groter dan weerstand $R_1$ en $R_2$. Het is een serie schakeling. In een serie schakeling is de totale weerstand altijd groter dan de afzonderlijke weerstanden. In een parallel schakeling is de totale weerstand altijd kleiner dan de afzonderlijke weerstanden.

35 a Voor een serieschakeling geldt: $U_{tot} = U_{R1} + U_{R2} + U_{maaier}$
$R_1 = R_2$ dus $U_{R1} = U_{R2}$
230 = $U_{R1} + U_{R2}$ + 200 → $U_{R1} + U_{R2}$ = 30 V dus $U_{R1} = U_{R2}$ = 15 V

b Gegeven: $I$ = 5 A en $U$ = 15 V
Gevraagd: $R$ in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$R = \frac{U}{I} = \frac{15}{5} = 3\ \Omega$
Antwoord: De weerstand van één draad is 3 Ω.

c Gegevens: $U$ = 200 V , $I$ = 5 A
Gevraagd: $P$ (te weinig) in W
Berekening: Vul de formule in:
$P = U \times I \rightarrow P = 200 \times 5 \rightarrow P = 1000\ W$
$P$ nodig = 1500 W het verschil is dus 1500-1000=500 W
Antwoord: De grasmaaier komt 500 W te kort.

36 a De stroom gaat eerst door drie leds, dan door de weerstand en vervolgens weer door achtereenvolgens 3 leds. Er is dus sprake van een serieschakeling.
b Gegeven: $I$ = 16 mA = 0,016 A en $U$ = 2,7 V. Gevraagd: $R$
$R = \frac{U}{I} = \frac{2{,}7}{0{,}016} = 169\ \Omega$
c De spanning over de weerstand is gelijk aan de totale spanning min de spanning over de leds: $U$ = 22 – 6 × 2,7 = 5,8 V. $I$ = 0,016 A Gevraag $R$
$R = \frac{U}{I} = \frac{5{,}8}{0{,}016} = 363\ \Omega$
d Zonder de weerstand $R$ krijgen de leds teveel spanning en branden daardoor door.

37 a In afbeelding F zie je twee stroomkringen: parallelschakeling.
b Van de 24 lampjes gaan er 6 uit, namelijk de strook met de kapotte led. De overige 18 blijven dus branden. Het is ook mogelijk dat de kapotte led kortsluiting geeft, in dat geval blijven er 23 lampjes branden, alleen 5 iets feller.
c Je koppelt dan 8 stroken parallel. Door één strook gaat een stroom van 0,016 A. 8 × 0,016 = 0,13 A.
d De maximale stroomsterkte kun je berekenen:
Gegeven $U$ = 22 V en $P$ = 26 W Gevraagd $I$
$P = U \times I \rightarrow 26 = 22 \times I \rightarrow I = 26 / 22 = 1{,}18$ A
Per meter is de stroomsterkte 0,13 A.
Het aantal meter is dus 1,18 / 0,13 = 9,1 m.
Omdat het stroken van 12,5 cm zijn is het dus 9,0 m. (36 stroken).

## 4.4 Soortelijke weerstand

38 a De weerstand van de draad hangt af van de lengte, de doorsnede en de soortelijke weerstand van het materiaal van de draad.
b De soortelijke weerstand is een stofeigenschap.
c De eenheid van soortelijke weerstand is de Ωm.
d Goud heeft een grotere soortelijke weerstand dan koper (tabel 4.13)
e De eenheid van doorsnede is $m^2$. (Het is een oppervlakte.)

39 Invullen:
a twee … groot
b recht evenredig
c twee …. klein
d omgekeerd evenredig

40 a 1 m = 1000 mm dus 1 $m^2$ = 1000 000 $mm^2$
2 $mm^2$ = $2\times10^{-6}$ $m^2$
b De soortelijke weerstand van koper is $17\times10^{-9}$ Ωm.
c $R = \frac{\rho \times l}{A}$
d $R = \frac{\rho \times l}{A} = \frac{17\times10^{-9}\times10}{2\times10^{-6}} = 8{,}5 \times 10^{-2}\ \Omega$
De doorsnede van de draad is 0,085 Ω.

41 De soortelijke weerstand van goud is $22\times10^{-9}$ Ωm. $l$ = 5 mm = 0,005 m en $A$ = 0,10 $mm^2$ = $0{,}10\times10^{-6}$ $m^2$
$R = \frac{\rho \times l}{A} = \frac{22\times10^{-9}\times0{,}005}{0{,}10\times10^{-6}} = 1{,}1 \times 10^{-3}\ \Omega$
De doorsnede van de draad is 0,0011 Ω.

42 In de opgave ontbreekt de weerstand van de draad. Neem voor deze weerstand 10 Ω.
De soortelijke weerstand van nichroom is $1{,}1 \times 10^{-6}$ Ωm.

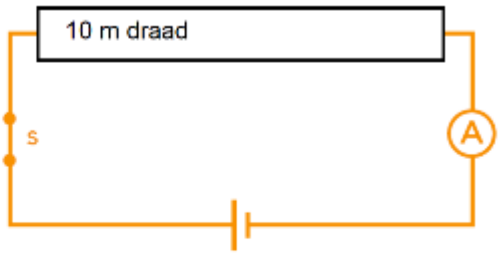
$$R = \frac{\rho \times l}{A} \rightarrow 10 = \frac{1{,}1 \times 10^{-6} \times l}{0{,}096 \times 10^{-6}} \rightarrow l = \frac{10 \times 0{,}096 \times 10^{-6}}{1{,}1 \times 10^{-6}} \rightarrow l = \frac{10 \times 0{,}096}{1{,}1} = 0{,}87 \text{ m}$$

43 De soortelijke weerstand van aluminium is $27 \times 10^{-9}$ Ωm.

$$R = \frac{\rho \times l}{A} \rightarrow 0{,}60 = \frac{27 \times 10^{-9} \times 3{,}1}{A} \rightarrow A = \frac{27 \times 10^{-9} \times 3{,}1}{0{,}60} \rightarrow \text{A} = 1{,}4 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

De doorsnede van de draad is $1{,}4 \times 10^{-7}$ m$^2$

44 a Zie figuur




b $R = \frac{U}{I} = \frac{9}{1{,}7} = 5{,}3\ \Omega$

c A = $\pi r^2 = \pi(\frac{0{,}2 \times 10^{-3}}{2})^2 = 3{,}14 \times 10^{-8}$ m$^2$

d $R = \frac{\rho \times l}{A} \rightarrow 5{,}3 = \frac{\rho \times 10}{3{,}14 \times 10^{-8}} \rightarrow \rho = \frac{5{,}3 \times 3{,}14 \times 10^{-8}}{10} = 1{,}66 \times 10^{-8} = 17 \times 10^{-9}\ \Omega\text{m}$

d Volgens tabel 4.13 is dit koper.

45 a De weerstand is evenredig met de lengte en omgekeerd met doorsnede. De weerstand van een draad is dus evenredig met lengte / doorsnede.
Die is voor draad A en B gelijk, namelijk 5/0,5 = 10/1 = 10

b De verhouding is voor draad C 2,5/1 = 2,5. Dat is vier keer zo klein als 10. De weerstand van draad A is dus 4 keer zo groot.

46 De lengte van de draad wordt tweemaal zo klein en de doorsnede tweemaal zo groot. De weerstand wordt dus 2 × 2 = 4 maal zo klein.

47 a De stroomsterkte door één lint is: $I = \frac{U}{R} = \frac{230}{44{,}1} = 5{,}22$ A. Bij twee parallelle linten is de totale stroom dus tweemaal zo groot: 2 × 5,2 = 10,4 A

b Het vermogen van het verwarmingselement: $P = U \times I = 230 \times 10{,}4 = 2400$ W

c Bij een kleinere weerstand neemt de stroomsterkte en dus ook het vermogen toe, want de spanning blijft constant.

d B want een kleine lengte en een grote doorsnede maken de weerstand klein (en het vermogen dus groot.)

c Soortelijke weerstand van magnesium is $46 \times 10^{-9}$ Ωm (tabel 6.17)

$$R = \frac{\rho \times l}{A} \rightarrow 44{,}1 = \frac{46 \times 10^{-9} \times 20}{A} \rightarrow \text{A} = \frac{46 \times 10^{-9} \times 20}{44{,}1} = 2{,}09 \times 10^{-8} \text{ m}^2$$

De doorsnede is dus $2{,}09 \times 10^{-8}$ m$^2$.

48 a Als het materiaal wordt uitgerekt neemt de weerstand toe.
b $R = \frac{\rho \times l}{A}$ Door het uitrekken wordt *l* groter en *A* juist kleiner. Door beide effecten neemt de weerstand toe.
c De weerstand in de schakeling is 1,0 + 5,6 = 6,6 kΩ. De spanning is 12 V.
De stroomsterkte is dan $R = \frac{U}{I} \rightarrow 6600 = \frac{12}{I} \rightarrow I = \frac{12}{6600} = 0{,}0018\ \text{A}.$
d Gegeven: $I$ = 0,0018 A, $R_2$ = 5,6 kΩ. Gevraagd: $U_R$
$R = \frac{U}{I} \rightarrow 5600 = \frac{U}{0{,}0018} \rightarrow U = 5600 \times 0{,}0018 = 10\ \text{V}.$
e Als de stretcher uitrekt neemt de weerstand over $R_1$ toe. $R_1$ krijgt daardoor een groter deel van de totale spanning en $R_2$ juist een kleiner deel. De spanning over $R_2$ neemt dus af.

49 a Een dunnere draad heeft een grotere weerstand dan een dikkere draad. Het oude lampje heeft dus een grotere weerstand.
b Bij dezelfde spanning heeft lampje 1 een kleinere stroomsterkte. De weerstand van lampje 1 is dus groter. Lampje 1 is het oude lampje.
c Bij beide lampjes is de spanning gelijk. De grootste stroomsterkte levert dus ook het grootste vermogen want $P = U \times I$. Lampje 1 heeft de kleinste weerstand dus de grootste stroomsterkte en ook het grootste vermogen. Het nieuwe lampje heeft het grootste vermogen, wordt het heetste en geeft het meeste licht.
d In serie hebben beide lampjes dezelfde stroomsterkte. De spanning wordt verdeeld. De grootste weerstand (oude lampje) krijgt de meeste spanning en brandt dus het felste.

## 4.5 Transport van elektrische energie

50 a Bewegingsenergie wordt in een dynamo omgezet in elektrische energie.
b Als een magneet in een spoel heen en weer beweegt ontstaat er een elektrische spanning.
c Generator

51 a Bij hoogspanning is de stroomsterkte veel lager en heb je daardoor mindere energieverlies bij het transport.
b De primaire en de secundaire spoel.

52 a 1 is de spoel; 2 is het ledlampje en 3 is de permanente magneet.
b De magneet gaat afwisselend in en uit de spoel. Bij elke wisseling verandert de stroom van richting.
c De lamp gaat feller branden als je: meer windingen toepast, sneller beweegt en een sterkere magneet gebruikt.

53 a Verloren 5,1 MW van een totaal van 400 MW. Dit is $\frac{5{,}1}{400} \times 100\% = 1{,}3\%$
b Een kleinere weerstand (dikkere kabel) of hogere spanning verkleint het verlies.

54 a 1 is de secundaire spoel, 2 is de ijzeren kern en 3 is de primaire spoel.
b "Ideaal" betekent dat er geen elektrische energie verloren gaat.
c Gegevens: $P$ = 0,9 W en $U_{tot}$ = 5,2 V
Gevraagd: $I$ in A
Berekening: Bereken de stroomsterkte:
$P = U \times I \rightarrow 0{,}9 = 5{,}2 \times I \rightarrow I = \frac{0{,}9}{5{,}2} = 0{,}17\ \text{A}$
Antwoord: De accu wordt opgeladen met een stroomsterkte van 0,17 A.
d Dan is er 0,17 × 16 = 2,72 Ah opgeslagen in de accu.

55 a Gegeven: $P$ = 250 MW = 250×10$^6$ W en $U$ = 380 kV = 380 000 V. Gevraagd: $I$
$$P = U \times I \rightarrow 250 \times 10^6 = 380\,000 \times I \rightarrow I = \frac{250 \times 10^6}{380\,000} = 658\ \text{A}$$
b $P_{\text{verlies}} = R \times I^2 = 12 \times 658^2 = 5{,}2 \times 10^6 \text{W}$
c Als de spanning tweemaal zo groot is, is de stroomsterkte 2 maal zo klein en het verlies $2^2$ = 4 keer zo klein.

56 a Gegevens: $R_1$ = 0,01 Ω, $R_2$ = 50 Ω, $U$ = 230 V
Gevraagd: $I$ in A
Berekening: Bereken eerst de $R_{tot}$. Vul de formule in:
$R_{tot} = R_1 + R_2 = 0{,}01 + 50 = 50{,}01\ \Omega$
Bereken nu de stroomsterkte:
$R_{tot} = \frac{U}{I} \rightarrow 50{,}01 = \frac{230}{I} \rightarrow I = \frac{230}{50{,}01} = 4{,}6\ \mathrm{A}$
Antwoord: De stroomsterkte in de stroomkring is 4,6 A

b Gegevens: $R_1$ = 0,01 Ω en $I$ = 4,6 A,
Gevraagd: $U_{draad}$ in V
Berekening: Vul de formule in:
$R_{draad} = \frac{U}{I} \rightarrow 0{,}01 = \frac{U}{4{,}6} \rightarrow U = 0{,}01 \times 4{,}6 = 0{,}046\ \mathrm{V}$
Antwoord: De spanning over de draad is 0,046 V

c Gegevens: $U_{tot}$ = 230 V en $U_{draad}$ = 0,046 V
Gevraagd: $U_{apparaat}$ in V
Berekening: De spanning over het apparaat is het verschil tussen de totale spanning en de spanning over de draad: 230 – 0,046 = 229,95 V = 230 V
Antwoord: De spanning over het apparaat is 230 V

d Gegevens: $U_{draad}$ = 0,046 V en $I$ = 4,6 A
Gevraagd: $P$ in W
Berekening: Vul de formule in:
$P = U \times I = 4{,}6 \times 0{,}046 = 0{,}21\ \mathrm{W}$
Antwoord: Er wordt door de draad 0,21 W aan vermogen in warmte omgezet.

57 a De totale lengte van de kabel is 580000 meter. Elke meter is de weerstand 5,0×10$^{-5}$ Ω. De totale weerstand is dus 580000 × 5,0×10$^{-5}$ = 29 Ω.

b Gegevens: $R$ = 29 Ω; $P$ = 700 MW en $U$ = 900 kV
Gevraagd: $P_{draad}$ in W
Berekening: Bereken eerst de stroomsterkte. Vul de formule in:
$P = U \times I \rightarrow 700\,000\,000 = 900\,000 \times I \rightarrow I = \frac{700\,000\,000}{900\,000} = 778\ \mathrm{A}$
Bereken nu de $P_{draad}$
$P_{draad} = R_{draad} \times I^2 = 29 \times 777{,}8^2 = 18 \times 10^6 \mathrm{W}$
Antwoord: Er wordt door de draad 18 MW aan vermogen in warmte omgezet.

c 18 MW is 18/700 × 100% = 2,5 % verlies aan energie.

58 a De weerstand is 100 × 0,01 = 1 Ω per kabel. Omdat beide kabels in serie staan wordt dat 2,0 Ω.

b Gegevens: $R$ = 2,0 Ω; $P$ = 3680 W en $U$ = 230 V
Gevraagd: $P_{draad}$ in W
Berekening: Bereken eerst de stroomsterkte. Vul de formule in:
$P = U \times I \rightarrow 3680 = 230 \times I \rightarrow I = \frac{3680}{230} = 16\ \mathrm{A}$
Bereken nu de $P_{draad}$
$P_{draad} = R_{draad} \times I^2 = 2 \times 16^2 = 512\ \mathrm{W}$
Antwoord: Er wordt door de draad 256 W aan vermogen in warmte omgezet als je geen transformatoren gebruikt.

c Als de spanning 10 keer zo groot wordt, wordt de stroomsterkte 10 keer zo klein. Het verlies is dan 10$^2$ = 100 keer zo klein.

d Bij 5% verlies in elke transformator verlies je totaal 10%. 10% van 3680 W is 368 Watt. Je verlies in de draden is 100 keer zo klein, dat is dus 5 W. Totaal verlies je 368 + 5 = 373 W. Dit is minder dan 512 W, dus het heeft vanuit energie oogpunt zin om de transformatoren te gebruiken.

59 a De spanning gaat omlaag en de stroomsterkte gaat omhoog. Er zit dus een transformator in de adapter.

b De spanning gaat omlaag, de primaire spoel heeft dus meer windingen.

c Het vermogen aan de ‘input’ is $P$ = $U$ × $I$ = 230 × 1,5 = 345 W.

d Het vermogen aan de ‘output’ is $P$ = $U$ × $I$ = 16,5 × 3,65 = 60 W.
De adapter verliest dus 345 – 60 = 285 W aan vermogen.
Je verliest 285/345 × 100 % = 83 %.

e Dit merk je doordat de adapter warm wordt.

60 a Lees af in de figuur. Het transport vindt plaats bij 220 kV.

b Op het offshore platform moet een transformator staan om de 66 kV te verhogen naar 220 kV voor transport naar de kust. Op de Maasvlakte is een transformator nodig om de spanning te verhogen naar 380 kV.

c Gegevens: $P$ = 350 MW en $U$ = 220 kV
Gevraagd: $I$ in A
Berekening: Vul de formule in:
$P = U \times I \rightarrow 350\,000\,000 = 220\,000 \times I \rightarrow I = \frac{350\,000\,000}{220\,000} = 1591$ A
Antwoord: De stroom door de draad is 1591 A

d 1,4% van 350 MW is 0,014 × 350 = 4,9 MW
Gegevens: $P$ = 4,9 MW $I$ =1591 A
Gevraagd: $R$ in Ω
Berekening: Vul de formule in:
$P_{\text{draad}} = R_{\text{draad}} \times I^2 \rightarrow 4\,900\,000 = R \times 1591^2 \rightarrow R = \frac{4\,900\,000}{1591^2} = 1{,}9\ \Omega$
Antwoord: De weerstand van de kabel is 1,9 Ω

61 a Gegevens: $U_p$ = 10 kV; $P_p$ = 400 kW en $U_s$ = 230 V
Gevraagd: $I_p$
Berekening: Vul de formule in:
$P_p = U_p \times I_p \rightarrow 400\,000 = 10\,000 \times I_p \rightarrow I_p = \frac{400\,000}{10\,000} = 40$ A
Antwoord: De primaire stroomsterkte is 40 A.

b Even groot als het primaire vermogen dus ook 400 kW.

c Gegevens: $U_p$ = 10 kV; $I_p$ = 40 A en $U_s$ = 230 V
Gevraagd: $I_s$ in A
Berekening: Vul de formule in:
$U_p \times I_p = U_s \times I_s \rightarrow 10\,000 \times 40 = 230 \times I \rightarrow I = \frac{400\,000}{230} = 1739$ A
Antwoord: De stroom in de secundaire spoel is maximaal 1739 A

d Het transformatorhuisje kan 400 kW vermogen leveren. Eén huishouden heeft maximaal 9,2 kW nodig. Het aantal huishouden is 400/9,2 = 43. In de praktijk kan dat veel meer zijn omdat nooit alle huishoudens tegelijk dit maximaal vermogen gebruiken.

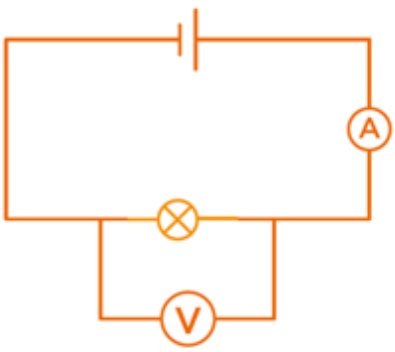
## Toetsvoorbereiding

1 a De energie die een apparaat per seconde gebruikt, is het vermogen.
b Bij een parallelschakeling kunnen gebruikers apart aan en uit geschakeld worden.
Bij een parallelschakeling krijgt elke gebruiker dezelfde spanning.
Bij een parallelschakeling is de totale stroom gelijk aan de som van de deelstromen.
c Bij een ohmse weerstand is de stroomsterkte recht evenredig met de spanning.
d De soortelijke weerstand van een draad hangt af van de soort stof.
e Bij een hoge spanning is het verlies bij transport veel kleiner.

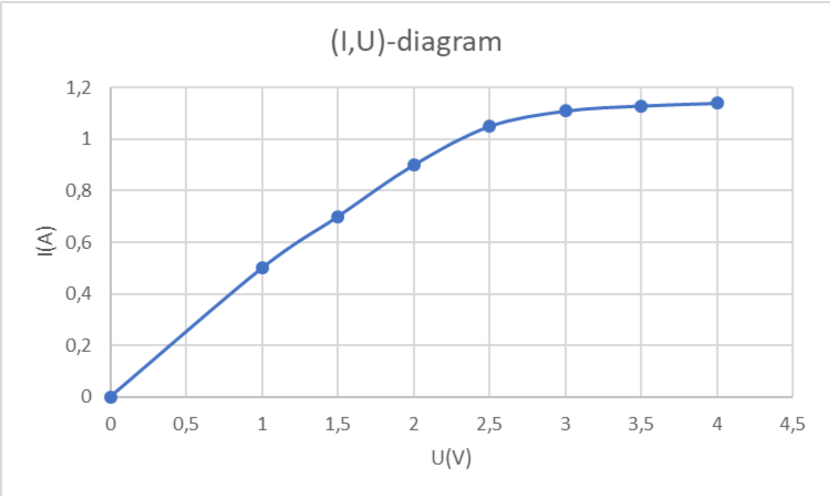
2 a Bij parallelle aansluiting krijgt elke lamp de 230 V die nodig is. (In serie krijgt elk een deel van de totale spanning van 230 V.)
b De rechter ledlamp van 7W heeft het grootste vermogen en dus de grootste stroomsterkte, want de spanning is gelijk.
c Je kunt de formule $P_{draad} = U_{draad}^2 / R$ gebruiken.
Gegevens: $P_2$ = 7 W en $U$ = 230 V
Gevraagd: $R$ in Ω
Berekening: Bereken eerst de stroomsterkte:
$P = U \times I \rightarrow 7 = 230 \times I \rightarrow I = \frac{7}{230} = 0{,}030\ \mathrm{A}$
Bereken daarna de weerstand:
$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{0{,}030} = 7557\Omega = 7{,}6\ \mathrm{k\Omega}$
Antwoord: De weerstand van de rechter lamp is 7,6 kΩ.
d Gegevens: $P$ = 4,5 W en $t$ = 30000 h
Gevraagd: $E$ in J
Berekening: Bereken $t$ in seconde:
$t = 30000 \times 60 \times 60 = 1{,}08 \times 10^8$ s
Vul de formule in:
$E = P \times t = 4{,}5 \times 1{,}08 \times 10^8 = 4{,}86 \times 10^8\ \mathrm{J}$
Antwoord: De lamp gebruikt 486 MJ in 30 000 uur.

3 a De capaciteit is het product van de tijd in uur (voordat de accu leeg is) en de stroomsterkte $I$ in A. Dus $C = 1{,}5 = I \times t$
b Gegeven: $P$ = 500 W; $U$ = 18 V en $C$ = 1,5 Ah
Gevraagd: $I$ in A
Berekening: Vul de formule in:
$P = U \times I \rightarrow 500 = 18 \times I \rightarrow I = \frac{500}{18} = 28\ \mathrm{A}$
Antwoord: De boormachine gebruikt 28 A op maximaal vermogen.
c Gegeven: $P$ = 500 W; $U$ = 18 V en $C$ = 1,5 Ah
Gevraagd: $t$ in min
Berekening: $1{,}5 = I \times t \rightarrow 1{,}5 = 28 \times t \rightarrow t = 1{,}5/28 = 0{,}054$ uur $= 0{,}054 \times 60 = 3{,}2$ min.
Antwoord: De boormachine werkt 3,2 min op maximaal vermogen.

4 a



b




c De grafiek loopt minder steil dan een rechte lijn bij toenemende spanning. De stroomsterkte is dan te klein voor een ohmse weerstand. De weerstand neemt dus toe als de spanning toeneemt.

5 a De gele led werkt bij 1,0 mA op U = 1,80 V. Gevraagd *R*

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1{,}80}{0{,}001} = 1800\ \Omega$$

b Bij de grootste weerstand is de spanning het grootste bij gelijke stroomsterkte. Dat is dus de groene led.

c De groene led werkt bij 1,0 mA op U = 1,85 V
De gele led werkt bij 1,0 mA op U = 1,80 V
De rode led werkt bij 1,0 mA op U = 1,67 V
U totaal is 1,85 + 1,80 + 1,67 = 5,32 V

6 a Gegevens: $P_{1\ \text{t/m}\ 13}$ = 180 W; $U$ = 12,8 V
Gevraagd: $R_1$ in Ω
Berekening: Bereken eerst de totale stroomsterkte:

$$P = U \times I \rightarrow 180 = 12{,}8 \times I \rightarrow I = \frac{180}{12{,}8} = 14{,}1\ \text{A}$$

De deelstroom door één draad is: 14,1 / 13 = 1,08 A.
De spanning over één draad is 12,8 V (parallel)

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12{,}8}{1{,}08} = 11{,}8\ \Omega$$

Antwoord: De weerstand van één draad is 11,8 Ω.

b Gegeven: $R$ = 11,8 Ω; $l$ = 1,1 m $A$ = 4,2×10$^{-2}$ mm$^2$ = 4,2×10$^{-8}$ m$^2$
Gevraagd: $\rho$ in Ωm
Berekening: Vul de formule in:

$$R = \frac{\rho \times l}{A} \rightarrow 11{,}8 = \frac{\rho \times 1{,}1}{4{,}2 \times 10^{-8}} \rightarrow \rho = \frac{11{,}8 \times 4{,}2 \times 10^{-8}}{1{,}1} = 4{,}5 \times 10^{-7}\ \Omega\text{m}$$

Antwoord: De soortelijke weerstand is $4{,}5 \times 10^{-7}\ \Omega$m.

c Als er een draad doorbrandt valt één deelstroom weg. De totale stroomsterkte wordt dus kleiner.

7 a Gegeven: $P$ = 3500 W en $U$ = 230V. Gevraagd: $I$ in A

$$P = U \times I \rightarrow 3500 = 230 \times I \rightarrow I = \frac{3500}{230} = 15{,}2\ \text{A}$$

b In de kabel zorgt het energieverlies voor warmte. In de opgerolde kabel kan die warmte niet goed weg. Om te zorgen dat de kabel niet te heet wordt, moet het vermogen laag blijven.

c Gegeven: $l$ = 40 m; $A$ = 2,5 mm$^2$ = 2,5 × 10$^{-6}$ m$^2$ en ρ = 17 × 10$^{-9}$ Ωm Gevraagd: $R$ in Ω

$$R = \frac{\rho \times l}{A} = \frac{17 \times 10^{-9} \times 40}{2{,}5 \times 10^{-6}} = 0{,}27\ \Omega$$

d Het verlies aan spanning in één draad is 0,27 × 10 = 2,7 V.
In 2 draden is dat dus 2 × 2,7 = 5,4 V.
De spanning over de straalkachel is dus 230 – 5,4 = 225 V.

8 a Hoogspanning zorgt er voor dat er minder verlies in de kabel is.

b Er wordt 1,0 GW vermogen getransporteerd. Dat is 1000 MW. Het verlies is 7,6 MW. Dit is 7,6/1000 × 100% = 0,76 % verlies.

c Gegevens: $P_{verlies}$ = 7,6 MW = 7 600 000 W; $U$ = 450 000 V en $P_{transport}$ = 1,0 GW

Gevraagd: $R$ in Ω

Berekening: Bereken eerst de stroomsterkte uit $P_{transport}$

$P = U \times I \rightarrow 1\,000\,000\,000 = 450\,000 \times I \rightarrow I = \frac{1\,000\,000\,000}{450\,000} = 2222 \text{ A}$

$P_{\text{verlies}} = R \times I^2 \rightarrow 7\,600\,000 = R \times 2222^2 \rightarrow R = \frac{7600000}{2222^2} = 1{,}5\ \Omega$

Antwoord: De weerstand is 1,5 Ω

d Als de spanning twee keer zo klein is, dan is de stroomsterkte twee keer zo groot. Het verliesvermogen is dan vier keer zo groot.

## 5.1 Het elektromagnetisch spectrum

1 a Röntgenstraling, zichtbaar licht, radiogolven, gammastraling (UV- en IR-straling)
b Röntgenfoto's maken, kamer verlichten, muziek uitzenden, behandeling van tumoren
c Gammastraling

2 De elektromagnetische golf heeft geen medium (tussenstof) nodig, de snelheid van elektromagnetische golven is de grootste snelheid die mogelijk is.

3 Gegeven: afstand *s* = 150 000 000 000 m en snelheid *v* = 300 000 000 m/s. Gevraagd tijd *t*
Vul de formule in: $t = \frac{s}{v}$ = 150 000 000 000/300 000 000 = 1500/3 = 500 s.

4 a frequentie en golflengte zijn omgekeerd evenredig. Als je de golflengte drie maal zo groot maakt, wordt de frequentie drie maal zo klein: $1{,}0 \times 10^{15}$ / 3 = $3{,}3 \times 10^{14}$ Hz.
b De golflengte wordt dan 2 maal zo groot en de frequentie twee maal zo klein:
$1{,}0 \times 10^{15}$ / 2 = $5{,}0 \times 10^{14}$ Hz.
c De frequentie is 60 maal zo groot en de golflengte dus 60 maal zo klein: 300 : 60 = 5,0 nm.

5 a T staat voor tera = $10^{12}$ (duizend miljard)
b 500 nm × 600 THz = $500 \times 10^{-9}$ m × $600 \times 10^{12}$ Hz = $300000 \times 10^{3}$ = $3{,}00 \times 10^{9}$ .
De eenheid m × Hz = m × 1/s = m/s en dit is de eenheid van snelheid.
Dus: 500 nm × 600 THz = $3{,}00 \times 10^{9}$ m/s.
c Deze grootheid ken je als de lichtsnelheid.

6 a Infrarode straling
b Ultraviolette straling
c Radiogolven
d Zichtbare licht
e Infrarode straling
f Gammastraling

6 Gegeven: golflengte $\lambda$ = 0,040 nm = $0{,}040 \times 10^{-9}$ m en snelheid *c* = $3{,}0 \times 10^{8}$ m/s
Vul de formule in: $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{8}}{0{,}04 \times 10^{-9}} = 7{,}5 \times 10^{18}\ \mathrm{Hz}$

7 De röntgenstraling heeft een golflengte van 0,040 nm en gammastraling heeft een golflengte van rond de 0,0001 nm ( zie figuur 5.3). De golflengte van gammastraling is dus kleiner en de frequentie daardoor groter.

8 a Frequentie golven is 9,4 GHz = $9{,}4 \times 10^{9}$ Hz
In 1 sec zitten $9{,}4 \times 10^{9}$ golfjes.
In het signaal van $0{,}100 \times 10^{-6}$ s zitten $0{,}100 \times 10^{-6} \times 9{,}4 \times 10^{9}$ = 940 golfjes.
b Gegeven: $t = 0{,}26 \times 10^{-3}$ s en $c = 3{,}0 \times 10^{8}$ m/s. Gevraagd *s*.
Vul de formule in $t = \frac{s}{v} \rightarrow 0{,}26 \times 10^{-3} = \frac{s}{3{,}0 \times 10^{8}} \rightarrow s = 0{,}26 \times 10^{-3} \times 3{,}0 \times 10^{8} = 78000\ \mathrm{m}$
*s* = 78 km
De golfjes gaan heen en weer dus de afstand *s* is het dubbele van de afstand tussen schip en voorwerp. Afstand tot het object is 39 km.
c In 0,26 s legt het signaal een afstand af van 2 × 200 m = 400 m.
De snelheid is dan 400 m / 0,26 s = 1538 m/s.
Die snelheid is niet de snelheid van een elektromagnetische golf.
(In tabel 1.4 kun je zien dat dit ongeveer de geluidssnelheid is in zeewater.)

9 a Koud is donkerblauw, dan lichtblauw, groen, geel, rood, lichtrood en wit.
b Haren zijn kouder dus de frequentie van de infrarode straling is kleiner en de golflengte dus groter.

10 $\lambda$ = 2,44·$10^{-12}$ m = 2,44·$10^{-3}$ nm = 0,00244 nm.
In afbeelding 5.3 lees je af dat het hier om gammastraling gaat.

11 a Het blauw/groene licht wordt het beste doorgelaten: daar is de grafiek het ‘diepst’.
b De golflengte van die straling is kleiner dan $10^{-9}$ m = 1 nm dus gammastraling en röntgenstraling wordt voor 100 % tegengehouden volgens de grafiek.
c Opdracht 4: Bij een golflengte van 300 nm hoort een frequentie van 1,0·$10^{15}$ Hz.
3,0 Ghz = 3,0·$10^{9}$ Hz.
1,0·$10^{15}$ Hz → 300 nm = 300·$10^{-9}$ m (zie opgave 4)
1,0·$10^{9}$ Hz → 300·$10^{-3}$ m (frequentie 1000000 maal kleiner; golflengte 1000000 maal groter)
3,0·$10^{9}$ Hz → 100·$10^{-3}$ m (frequentie 3 maal groter; golflengte 3 maal kleiner)
Bij een frequentie van 3,0·$10^{9}$ Hz hoort dus een golflengte van 100·$10^{-3}$ m = 10 cm.
In de grafiek lees je af dat de verzwakking 0 % is, dus dat gaat lukken.

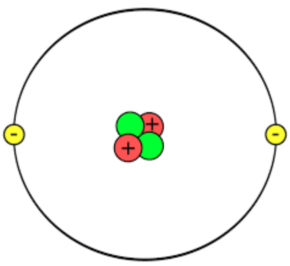
12 a Voordeel van het 5G-netwerk is dat er per seconde meer informatie verzonden kan worden.
Een nadeel is dat de cellen kleiner zijn waardoor er meer antennes nodig zijn.
b Er zijn meer antennes nodig.
c De laagste frequentie, 700 MHz is de beste keuze want dan is het bereik het grootst.
d Op plaatsen waar veel mensen bij elkaar zijn zoals bijvoorbeeld bij voetbalwedstrijden of festivals is er veel datagebruik op één zendmast.

13 a De afstand tussen de masten is groot en de cellen dus ook. Bij 5G zijn de cellen maar een paar 100 m groot.
b 463 $km^2$ is 463 000 000 $m^2$. Een cel is 300 m bij 300 m en dat is 90 000 $m^2$. Je hebt dus 463 000 000 : 90 000 = 5144 cellen.
Antwoord A is het juiste antwoord.

## 5.2 De bouw van een atoom

14 a Een proton is positief geladen.
b Elektrisch neutraal betekent dat de totale positieve lading (protonen) gelijk is aan de totale negatieve lading (elektronen).
c Het massagetal is het totaal aantal kerndeeltjes.
d 79
e Isotopen zijn atomen met een gelijk aantal protonen maar met ander aantal neutronen.

15 a He
b 2 elektronen
c $^{4}_{2}\mathrm{He}$
d




16 $^{1}_{1}\mathrm{H}$ H-1 gewone waterstof
$^{2}_{1}\mathrm{H}$ H-2 deuterium
$^{3}_{1}\mathrm{H}$ H-3 tritium

17 a Het blijft jood, dus een neutron is verwijderd.
b Jood heeft atoomnummer 53 (tabel) dus aantal neutronen = 128 – 53 = 75.

18 a Atoom I en IV zijn isotopen want ze hebben allebei 8 protonen in de kern.
b Atoom IV heeft massagetal 8 + 9 =17 en 8 protonen, dus $^{17}_{8}O$.
c Atoom II heeft 9 elektronen rond de kern en dus ook 9 protonen in de kern.
d Atoom III heeft 7 protonen en is dus volgens tabel 5.7 stikstof (N).

19 a Als twee atomen een verschillend atoomnummer hebben kunnen ze geen isotopen zijn want het aantal protonen verschilt.
b Twee verschillende atomen kunnen hetzelfde massagetal hebben. Bijvoorbeeld een atoom met 10 protonen en 14 neutronen ($^{24}_{10}Ne$) en een atoom met 11 protonen en 13 neutronen ($^{24}_{11}Na$) hebben beide het massagetal 24.

20 $^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{12}_{6}C$

21 a Jood heeft atoomnummer 53 (tabel) en dus ook 53 protonen.
b Het aantal elektronen is gelijk aan het aantal protonen in de kern dus 53,
c Het aantal neutronen is 125 – 53 = 72 neutronen.
d Het aantal protonen bepaalt om welke atoomsoort het gaat.

22 a De verhouding is: $\frac{straal\ atoom}{straal\ kern} = \frac{5{,}0\times10^{-11}}{1{,}25\times10^{-15}} = 40\ 000$
b atoom: $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(5{,}0 \times 10^{-11})^3$ = $5{,}2\times10^{-31}$ m$^3$
kern: $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(1{,}25 \times 10^{-15})^3$ = $8{,}2\times10^{-45}$ m$^3$
De verhouding is: $\frac{volume\ atoom}{volume\ kern} = \frac{5{,}2\times10^{-31}}{8{,}2\times10^{-45}} = 6{,}4 \times 10^{13}$
Kan ook zo: $40000^3 = 6{,}4\times10^{13}$
c Kernstraal $=1{,}25\times10^{-15}\times(238)^{1/3} = 7{,}7\times10^{-15}$ m

23 Antwoord A. Omdat chloor-35 iets lichter is dan chloor-37 bevat 1 gram chloor-35 meer atomen dan 1 gram chloor-37.

24 a De dikte van de folie is 100 pm = $100\times10^{-12}$ m
Het volume blijft hetzelfde. *A* is het oppervlak van de folie. Alles in meter geeft:
$0{,}02 \times 0{,}03 \times 0{,}10 = A \times 100\times10^{-12}$
$A = 0{,}02 \times 0{,}03 \times 0{,}10 / 100\times10^{-12} = 0{,}00006 / 100\times10^{-12} = 60\ 0000$ m$^3$
b Oppervlakte voetbalveld: 120 × 75 = 9 000 m$^3$
aantal velden = 600 000 / 9 000 = 67 voetbalvelden

25 a Curium (Cm) heeft atoomnummer (aantal protonen) 96, zie tabel 5.8 en calcium (Ca) heeft atoomnummer (aantal protonen) 20.
Samengevoegd geeft dat 96 + 20 = 116 en dat is het atoomnummer van livermorium; zie afbeelding 5.9.
b Massagetal van livermorium is 293, zie afbeelding 293. het aantal neutronen is dan 293 – 116 = 177.

26 a In tabel 5.8zie dat het zwaarste element het symbool Og heeft.
b Californium (Cf) heeft atoomnummer 98 (tabel 5.8) en dat atoomnummer is groter dan dat van uranium en dus komt Cf niet voor in de natuur.
c Het aantal kerndeeltjes van Cf-249 en Ca-48 is samen 249 + 48 = 297 en dat is 3 kerndeeltjes meer dan dat van de kern van organesson (294). Er zijn dus andere deeltjes vrijgekomen bij de vorming.

27 Moscovium (Mc) heeft atoomnummer (aantal protonen)115.
Calcium(Ca) heeft atoomnummer (aantal protonen) 20.
Je moet dus een atoomkern met 115 – 20 = 95 protonen beschieten om het atoomnummer van Moscovium te krijgen. In tabel 5.8 zie je dat dat Am (Americium) is.

## 5.3 Radioactiviteit

28 a Alfa- bèta- en gammastraling zijn de drie soorten kernstraling
b Alfastraling bestaat uit positieve deeltjes.
c Bètastraling bestaat uit negatieve deeltjes.

29 a Alfadeeltje is ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$
b Bètadeeltje is ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

30 Antwoord C Na de pijl moet een bètadeeltje komen: ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$ en na de pijl moet de som van de atoomnummers 7 zijn.

31 a Aantal protonen is voor en na de reactie gelijk: 94 = 2 + Z → Z = 94 – 2 = 92
b Uranium heeft atoomnummer 92, dus ${}^{A}_{92}\mathrm{U}$.
c Massagetal is voor en na de reactie gelijk: 240 = 4 + A → A = 240 – 4 = 236.

32 a Massagetal is 140 + 90 = 230, dus: ${}^{230}_{90}\mathrm{Th}$.
b Bij alfastraling verdwijnen er 2 protonen uit de kern. De kern die ontstaat, heeft 90 – 2 = 88 protonen. Atoomnummer is 88.
c Radium heeft atoomnummer 88, zie tabel op blz. 156.
d Bij alfastraling verdwijnen er 4 kerndeeltjes. Het massagetal wordt 4 lager: 230 – 4 = 226
e ${}^{230}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$

33 a ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$
b Bij bètastraling gaat een neutron over in een proton. Er komt dus 1 proton bij. De kern die ontstaat, heeft atoomnummer 2.
c Helium heeft atoomnummer 2.
d Er komt een proton bij en er gaat een neutron af: de nieuwe kern heeft hetzelfde massagetal.
e ${}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{3}_{2}\mathrm{He}$

34 a ${}^{99}_{43}\mathrm{Tc}$ is een bètastraler volgens de tabel op blz. 156.
${}^{99}_{43}\mathrm{Tc} \rightarrow {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{99}_{44}\mathrm{Ru}$
De isotoop met atoomnummer 44 (Ru) zoek je op in het periodiek systeem op blz. 151
b De samenstelling van de kern verandert niet: ${}^{99}_{43}\mathrm{Tc}$. (Doordat de protonen en neutronen in de kern zich anders rangschikken raakt de kern energie kwijt en zendt deze energie uit in de vorm van gammastraling.)

35 Als het massagetal gelijk blijft en het atoomnummer met 1 toeneemt, is het een bètastraler. Bij een alfastraler neemt het massagetal met 4 af en het atoomnummer met 2.
a Bètastraler, want het aantal kerndeeltjes (42) blijft gelijk.
b Alfastraler, want het aantal kerndeeltjes (42) neemt af met 4.
c Alfastraler, want het aantal protonen (88 → 82) neemt af met 6 dus 3 × 2, 3 alfadeeltjes
d Bètastraler, want het aantal protonen neemt toe met 1 (27 → 28) en bij bètaverval verandert één neutron in een proton.

36 a Door ventilatie verdwijnt het radon onder het huis regelmatig. De concentratie wordt zo niet hoog.
b Door afdichting kan het radongas niet doordringen in de woonvertrekken.
c Bij alfaverval verdwijnen er steeds 4 kerndeeltjes. Bij bètaverval verandert het aantal kerndeeltjes niet. Je moet in stappen van vier uitkomen bij radon-222 en dat kan alleen bij uraan-238 want dat zijn 4 stappen van 4.
d ${}^{222}_{86}\mathrm{Rn} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{218}_{84}\mathrm{Po}$ gebruik hierbij tabel 5.10.

37 a Xenon-124 heeft 124 – 54 = 70 neutronen; tellurium-124 heeft 124 – 52 = 72 neutronen.
b Aantal kerndeeltjes blijft gelijk maar er zijn 2 protonen minder en dus 2 neutronen meer.
De kern heeft 2 (negatief geladen) elektronen opgenomen en samen met twee positieve protonen zijn die veranderd in twee neutronen. Antwoord C.

38 a Uranium heeft 92 protonen. Bij het verval ontstaat barium met 56 protonen en krypton met 92 - 56 = 36 protonen.

b Uranium heeft 92 protonen en 235 – 92 = 143 neutronen. Krypton heeft 143 – 2 (vliegen weg) – 85 (van barium) = 56 neutronen. Aantal kerndeeltjes van krypton is 36 + 56 = 92.
$^{92}_{36}\mathrm{Kr}$

39 a De andere kern heeft hetzelfde atoomnummer, terwijl het massagetal één kleiner is.
$^{98}_{42}\mathrm{Mo} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{99}_{42}\mathrm{Mo}$

b Bètaverval

c Een neutron valt uiteen in een proton en een elektron. Het elektron vliegt uit de kern.

d Omdat een nieuw stuk bot het gelabelde fosfaat opneemt. Het nieuwe bot heeft het fosfaat nodig als bouwsteen.

40 a Het massagetal neemt toe met 1. Er komt dus een neutron bij. Een proton zou ook het massagetal met 1 ophogen maar ook het atoomnummer en dan is het geen samarium meer.

b $^{153}_{62}\mathrm{Sm} \rightarrow {}^{153}_{63}\mathrm{Eu} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \gamma$

c Samarium zendt gammastraling uit en deze straling kun je gebruiken om een scan te maken. Gammastraling van samarium is meetbaar buiten het lichaam van de patiënt.

41 $^{99}_{43}\mathrm{Tc} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{100}_{43}\mathrm{Tc}$ en $^{100}_{43}\mathrm{Tc} \rightarrow {}^{100}_{44}\mathrm{Ru} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

## 5.4 Activiteit en halveringstijd

42 a De halveringstijd is de tijd waarin een hoeveelheid radioactieve stof halveert.

b De eenheid van activiteit is becquerel (Bq).

c Straling kun je meten met een geigerteller.

d De activiteit hangt af van de halveringstijd en van de hoeveelheid actieve kernen.

e In verloop van tijd is de activiteit van de radioactieve stoffen rond Tsjernobyl afgenomen.

43 a 16 → 8 → 4 → 2, dat zijn drie halveringstijden.

b Na 1 halveringstijd is over 50%; na 2 25%; na 3 12,5%, na 4 6,25%, na 5 3,125 % en na 6 halveringstijden 1,6 % over.

c Na 40 uur is de helft over en na 80 uur is een kwart over. Drie kwart is dus verdwenen: 75%.

d 1/8 over na drie halveringstijden: 1/2 …. 1/4 …. 1/8.
45 dagen is gelijk aan drie halveringstijden. De halveringstijd is 15 dagen.

44 Na 10 halveringstijden is er nog over ½ ×½ ×½ ×½ ×½ ×½ ×½ ×½ ×½ ×½ = $(½)^{10}$ van de oorspronkelijke hoeveelheid. $(½)^{10}$ = 1/1024. De hoeveelheid actieve kernen is dus ongeveer 1000 maal kleiner. Antwoord C is het juiste antwoord.

45 a De halveringstijd van die stof is dus 10 uur en volgens de tabel is dat americium-244.

b Halveringstijd van radon-222 is 3,8 dag. Als er driekwart is verdwenen is er nog één kwart over en dat is na 2 halveringstijden. Antwoord: 2 × 3,8 dag = 7,6 dag.

c Daar kun je niets over zeggen als je de hoeveelheid van beide stoffen niet weet.

46 a Voor stof A geldt: 10 minuten zijn 4 halveringstijden en na 4 halveringstijden zijn nog ½ ×½ ×½ ×½ × 40000 = 2500 kernen over.
Voor stof B geldt: 10 minuten is 1 halveringstijd en na 1 halveringstijden zijn nog ½ × 5000 = 2500 kernen over.

b Stof A: in 10 minuten zijn 40000-2500 = 37500 kernen vervallen.
Stof B: in 10 minuten zijn 5000 -2500 = 2500 kernen vervallen.
Stof A heeft de grootste activiteit.

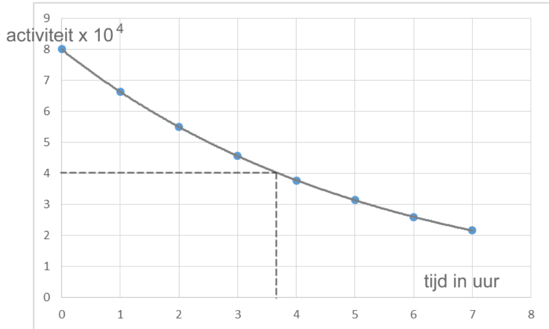
47 a De grafieklijn daalt steeds minder steil.

b De halveringstijd is 16 s. De eerste 8 seconde vervallen er meer actieve kernen dan de tweede 8 seconde. Na de eerste 8 seconde vervalt er meer dan een kwart.

48 A en B zijn niet juist, want bij een halveringstijd van 4 uur is na 4 uur nog maar 50% over.
C is ook niet juist om de volgende reden: Bij een halveringstijd van 8 uur is na 8 uur 50 % over. Omdat de activiteit in het begin groter is en langzaam afneemt, is er dan halverwege minder dan 75 % over. De halveringstijd is dus groter dan 8 uur. Het juiste antwoord is D.
(Met wat wiskunde kun je uitrekenen dat de halveringstijd 9,6 uur is.)

49 a Halveringstijd van Na-24 is 15 uur. 75 uur zijn 5 halveringstijden. Activiteit is dan ½ ×½ ×½ ×½ ×½ ×2400 Bq = 75 Bq.
b $^{24}_{10}\mathrm{Ne} \rightarrow {}^{24}_{11}\mathrm{Na} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$; een bètadeeltje; zie tabel 5.8.
c $^{24}_{11}\mathrm{Na} \rightarrow {}^{24}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$; zie tabel 5.8.
d De stof met de grootste halveringstijd: Na-24, want het Ne-24 vervalt snel tot Na-24.

50 a




b Uit de tijd bij 4×10$^4$ lees je af: 3,6 uur.

51 a In het begin is de activiteit 7100. Lees af bij 3550: de halveringstijd is ongeveer 13 uur.
b na 13 uur 7100 × ½ = 3550 Bq; na 26 uur 3550× ½ = 1775 Bq; na 39 uur 1775× ½ = 888 Bq; na 52 uur 888 × ½ = 444 Bq; na 65 uur 444× ½ = 222 Bq; na 78 uur 222× ½ = 111 Bq.
Dus na ongeveer 80 uur is 3,3 dag.

52 75 % afname is na 2 halveringstijden: 2 × 30 = 60 jaar (zie tabel 5.15).

53 a $^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$
b 1360 : 85 = 16 keer minder dus 4 halveringstijden geleden want $2^4$ = 16
4 halveringstijden = 4 × 5730 = 22920 jaar = 23 eeuwen geleden.
c $^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{14}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{1}\mathrm{p}$ Bij dit proces komt een proton vrij, een waterstofkern.
d ½ ×½ ×½ ×½ ×½ ……. = $(1/2)^{10}$ = 0,0009766
In procenten: 0,0009766 ×100% = 0,098%

54 a Omdat C-14 een lange halveringstijd heeft in verhouding tot die 5 jaar en de activiteit van C-14 dan niet meetbaar is veranderd en O -15 heeft een zeer kleine halveringstijd. Na 1 dag is zowat alle O -15 verdwenen.
b Aflezen bij 40 Bq geeft 12,5 jaar.
c Aflezen bij 55 Bq geeft 7 jaar.

## 5.5 Stralingsrisico's

55 a Omdat de straling in staat is elektronen rond atomen uit hun baan te stoten (= ioniseren) spreek je ook wel van ioniserende straling.
b Het begrip effectieve stralingsdosis houdt ook rekening met de soort straling en met de gevoeligheid van de verschillende weefsels en organen in het lichaam. De dosis is slechts de energie per kg lichaamsweefsel.
c Alfastraling heeft het kleinste doordringend vermogen.
d Je kunt je tegen straling beschermen door beperking blootstellingstijd; afstand houden en afschermen.

56 a minder
b vier ; veel
c kleiner

57 a Bereken het aantal deeltjes met een energie van $3{,}7\times10^{-14}$ J die nodig zijn om te komen tot een totale energie van 0,865 J:
aantal = $\frac{0{,}865}{3{,}7\times10^{-14}} = 2{,}3\times10^{13}$
b Stralingsdosis = hoeveelheid stralingsenergie / massa = 0,865 J / 0,010 kg = 85,6 J/kg.
c Omdat de bètastraling moeilijk van buitenaf doordringt tot in het bot van de hond.

58 a Elke seconde 0,15 μJ = $0{,}15\times10^{-6}$ J. In 25 s: 25 × $0{,}15\times10^{-6}$ J = $3{,}75\times10^{-6}$ J.
b Stralingsdosis = hoeveelheid stralingsenergie / massa = $3{,}75\times10^{-6}$ J / 12 kg = $3{,}1\times10^{-7}$ J/kg.

59 De limiet is 1 mSv per jaar.
a Aantal = 1 / 0,04 = 25 foto's
b 100 uur vliegen geeft 0,5 mSv; 8 uur geeft 8/100 ×0,5 = 0,04 mSv.
Twee weken wintersport geeft 2 × 0,03 mSv = 0,06 mSv. Totaal: 0,04 + 0,06 = 0,1 mSv.
c Duur van de vluchten is 200 × 2,5 = 500 uur. 100 uur geeft 0,5 mSv extra dus 500 uur geeft 5 × 0,5 = 2,5 mSv en dat is meer dan de toegestane stralingsdosis van 1 mSv.

60 a De badge telt de straling die is ontvangen in een bepaalde periode en de dosimeter meet de stralingsintensiteit op een bepaald moment.
b Alfastraling dringt niet door in de dosimeter en kan dus ook niet zo gemeten worden. Bovendien vormt alfastraling alleen een gevaar ín het lichaam.

61 a De afstand wordt 2 maal zo groot en de intensiteit van de straling is dan 4 maal zo klein: 8000 / 4 = 2000 μSv/uur.
b De straling moet 100 keer kleiner worden: daarvoor moet je 10 keer verder weg staan. De afstand moet zijn: 10 × 4 = 40 m.
c Maximale toegestane dosis is 20 mSv.
Op 1 m van het vat: afstand 4 maal zo klein en de stralingsintensiteit is $4^2$ = 16 maal zo groot:
16 × 8000 = 128000 μSv/uur = 0,128 Sv/uur
$20\times10^{-3}$ / 0,128 = 0,156 uur = 9,4 minuut.

62 Afstand tot de stralingsbron (H) is 6 maal zo groot (van 10 cm naar 60 cm): de straling is met factor $6^2$ = 36 afgenomen.

63 a De lijn die hoort bij bot ligt overal lager dan de weefsellijn. Dat betekent dat de straling die door het bot gaat overal minder is dan de straling die het weefsel passeert.
b De dichtheid van bot is groter dan van weefsel.
c Het stuk weefsel absorbeert 75% van de straling en laat dus 25 % door; aflezen in de grafiek: 8 cm.
d Stel de straling begint bij 100. Na 4 cm weefsel wordt 50% doorgelaten: blijft over 50. Na 4 cm bot wordt daarvan weer 28% doorgelaten: 0,28×50 = 14. Na weer 4 cm weefsel wordt daarvan weer 50% doorgelaten: 0,50×14 = 7.
De straling begint bij 100 en eindigt bij 7. Je bovenbeen laat 7% door.

64 a De stof heeft een kleine halveringsdikte. Er is weinig stof nodig om de straling te verzwakken.
b De halveringsdikte hangt af van de dichtheid van de stof: Het aantal gram van 1 $cm^3$ van die stof.
c Een stof met een kleine dichtheid laat veel straling door en heeft dus een grote halveringsdikte.
d De halveringsdikte neemt toe.

65 a 4,5 cm is drie keer de halveringsdikte. 100% → 50% → 25% → 12,5%. De plaat laat 12,5 % door.
b 75% tegenhouden betekent dat 25 % wordt doorgelaten en dat is na 2 halveringsdiktes: 2 ×1,5 = 3,0 cm aluminium.
c Bij straling met minder energie is minder stof nodig om de straling te halveren: de halveringsdikte neemt af.

66 a 0,044 cm = 0,44 mm en dat is 4 keer de halveringsdikte:
100% → 50% → 25% → 12,5% → 6,25%. Het schort laat 6,25% door en houdt dus 94 % tegen.
b Twee keer zo ver geeft $2^2 = 4$ keer minder straling. Dat betekent ¼ van de oorspronkelijke straling en dat is 25 %.

## Toetsvoorbereiding

1 a Volgorde van toenemende golflengte: gammastraling, röntgenstraling, ultraviolette straling, zichtbaar licht, infrarode straling, radiogolven.
b Toepassing van radiogolven is communicatie (radiozenders, mobieltjes enz.)
c Frequentie en golflengte zijn omgekeerd evenredig. Als de frequentie 2000 keer zo groot wordt (van 300 MHz naar 600 GHz) wordt de golflengte 2000 maal zo klein: 1,0 m : 2000 = 0,50 mm.

2 a Bij isotopen is het aantal protonen gelijk maar verschilt het aantal neutronen.
b Zuurstof, O heeft atoomnummer 8 en heeft dan 8 elektronen rond de kern.
c Zuurstof, O heeft atoomnummer 8. O-15 heeft dan 15 – 8 = 7 neutronen.
d Massagetal is 79 + 118 = 197; atoomnummer is 79; symbool is Au (tabel 5.8)
$^{197}_{79}\mathrm{Au}$

3 a Alfastraling bestaat uit de kernen van een heliumatoom (4 kerndeeltjes).
b Plutonium-239 heeft 239 kerndeeltjes en verliest er 4. Er blijft over 239 – 4 = 235 kerndeeltjes
c Plutoniumisotopen verschillen van elkaar in het aantal neutronen in de kern.

4 a Een loden schort houdt gammastraling tegen (ook alfa en bèta, maar daar heb je niet zo'n zware schort voor nodig.)
b Omdat je wilt meten hoeveel straling het lichaam bereikt.
c Omdat de limiet al in de eerste maand overschreden kan zijn.

5 a $^{63}_{28}\mathrm{Ni} \rightarrow {}^{63}_{29}\mathrm{Cu} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

b $^{212}_{84}\mathrm{Po} \rightarrow {}^{208}_{82}\mathrm{Pb} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

c Het atoomnummer blijft gelijk de kern kan geen proton opgenomen hebben. Het massagetal neemt toe met 1: de kern heeft een neutron opgenomen.

6 a Het aantal kerndeeltjes verandert niet, blijft 188. Het Re-188 moet dus een bètadeeltje uitzenden.
b De bètastraling. Deze vorm van straling wordt helemaal door het lichaam (bot) geabsorbeerd en deze straling heeft ook de meeste energie.
c 100% →50%→25%→12,5%. Na 3 halveringstijden en dat is na 3 × 17 uur = 51 uur.

7 a $^{60}_{27}\mathrm{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\mathrm{Ni} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \gamma$
b Voor de tumor is nodig: 0,014 × 150 = 2,1 J.
per seconde 1,4 ×$10^{-3}$ J
tijdsduur: 2,1 / 1,4 ×$10^{-3}$ = 1,5×$10^{3}$ s = 25 minuten
c In de loop van de tijd wordt de activiteit van de bron minder. De bestralingstijd wordt dan langer.

8 a Twee weken is 2 × 7 × 24 uur = 336 uur. De halveringstijd bedraagt 66 uur.
Na 336 uur zijn 336 / 66 = 5 halveringstijden (afgerond) verstreken. Na 5 halveringstijden is nog: ½ × ½ × ½× ½× ½ van 100 % is 1/32 van 100 % = 3 % over (afgerond).
b Twee dagen is 48 uur en dat is korter dan 1 halveringstijd en er is dus zeker meer dan 50% over. Blijft over mogelijkheid C of D. Na 48 uur is de eerste halveringstijd al lang over de helft dus is in de tijd ook het grootste deel van de actieve kernen reeds vervallen, dat in die eerste halveringstijd vervalt. Het juiste antwoord is C.
(Met wat wiskunde is uit te rekenen dat er na 48 uur nog 60,4 % over is)

9 a 1 plaatje laat 90% door, tweede plaatje laat 90% van 90% door is 81% (0,90 × 0,90 = 0,81)
b Elk plaatje laat 90 % door wat er 'binnenkomt', na drie plaatjes: 0,90 × 0,90 × 0,90 = 0,73 (73%).
c Elk plaatje laat 90 % door wat er 'binnenkomt': 0,90 × 0,90 × 0,90 × 0,90 × 0,90 = 0,59
Na 5 plaatjes is nog 59% over.

## 6.1 Treksterkte en elasticiteit

1 De eenheid van
a doorsnede is $m^2$,
b trekspanning is $N/m^2$.
c Relatieve rek heeft geen eenheid.

2 a De treksterkte hangt af van het materiaal waarvan een kabel gemaakt is.
b De eenheid voor lengte moet wel dezelfde zijn als de eenheid voor lengteverandering.
c Bij een dikkere kabel is de trekspanning kleiner (uiteraard bij dezelfde kracht).

3 De relatieve rek bereken je met de formule:
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{0{,}10}{1{,}00} = 0{,}10$$
Het juiste antwoord is C.

4 a Gegeven: $l_0 = 20\ \mathrm{m}$ en $\Delta l = 4\ \mathrm{m}$
De relatieve rek bereken je met de formule:
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{4}{20} = 0{,}2$$
b Gegeven: $l_0 = 20\ \mathrm{m}$ en $\Delta l = 30 - 20\ \mathrm{m}$
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{30-20}{20} = 0{,}5$$
c Gegeven: $l_0 = 20\ \mathrm{m}$ en $\epsilon = 0{,}10$
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \rightarrow 0{,}10 = \frac{\Delta l}{20} \rightarrow \Delta l = 0{,}1 \times 20 = 2{,}0\ \mathrm{m}$$
De nieuwe lengte van het koord is nu 20 + 2 = 22 m.

5 a Gegeven $F$ = 1,5 kN = 1500 N en $A$ = 3,0 cm² = $3{,}0 \times 10^{-4}$ m². Gevraagd: σ
De trekspanning bereken je met de formule:
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1500}{3{,}0\times10^{-4}} = 5{,}0 \times 10^6\ \mathrm{N/m^2}$$
b De treksterkte is groter dan je bij vraag a hebt berekend want er kan nog meer aanhangen voordat de kabel breekt.

6 a Gegeven: $l_0 = 10\ \mathrm{cm} = 0{,}1\ \mathrm{m}$ en $\epsilon = 0{,}15$ gevraagd: $\Delta l$ en $l$
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\Delta l}{0{,}10} = 0{,}15$$
$\Delta l = 0{,}15 \times 0{,}10 = 0{,}015\ \mathrm{m} = 1{,}5\ \mathrm{cm}$
De nieuwe lengte van het elastiek is 10 + 1,5 = 11,5 cm
b Zwaartekracht = $m \times g$ = 0,250 × 9,8 = 2,45 N
c De doorsnede = $A$ = 2,0 mm² = $2{,}0\times10^{-6}$ m²
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{2{,}45}{2{,}0 \times 10^{-6}} = 1{,}2 \times 10^6\ \ \mathrm{N/m^2}$$

7 a De trekspanning is bij breuk gelijk aan de treksterkte: $4{,}9\times10^8$ N/m²
b Gegeven σ = $4{,}9 \times 10^8$ en $A$ = 2,0 cm² = $2{,}0 \times 10^{-4}$ m². Gevraagd: $F$
De trekspanning bereken je met de formule:
$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow 4{,}9 \times 10^8 = \frac{F}{2{,}0 \times 10^{-4}} \rightarrow F = 4{,}9 \times 10^8 \times 2{,}0 \times 10^{-4} = 98000 = 98\ \mathrm{kN}.$$

8 a Zwaartekracht = $m \times g$ = 2000 × 9,8 = $1{,}96\times10^4$ N en treksterkte is gelijk aan de maximale trekspanning: $\sigma = 3{,}5 \times 10^8$ N/m².
$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow 3{,}5 \times 10^8 = \frac{1{,}96\times10^4}{A} \rightarrow A = \frac{1{,}96\times10^4}{3{,}5\times10^8} = 5{,}6 \times 10^{-5}\mathrm{m}^2$$
$A$ = 0,56 cm².
b $A = \pi r^2 \rightarrow 0{,}56 = \pi r^2 \rightarrow r = \sqrt{(0{,}56/\pi)}$ = 0,42 cm. De diameter = $2r$ = 0,84 cm
c Voor de veiligheid is de draad dikker. Bovendien kan bij een plotselinge schok de kracht tijdelijk groter zijn als je 2000 kg hijst.

9 Gegeven: $F$ = 1,5×10$^6$ N en 2$r$ = 1,0 cm, gevraagd σ.
$r$ = ½ × 1,0 = 0,50 cm = 0,0050 m
$A$ = π$r^2$ = π(0,005)$^2$ = 7,85×10$^{-5}$ m$^2$
$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1,5\times10^6}{7,85\times10^{-5}} = 1,9 \times 10^{10}\mathrm{N/m^2}$

10 a Bij 15 N kun je in de grafiek aflezen dat Δ$l$ = 0,025 m.
$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{0,025}{1,00} = 0,025$

b $F$ =15 N; $A$ = 0,80 mm$^2$ = 8,0×10$^{-7}$ m$^2$
$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{15}{8,0\times10^{-7}} = 1,9 \times 10^7\ \mathrm{N/m^2}$ voor beide draden.

c Bij een recht evenredig verband is de grafiek een rechte lijn door de oorsprong. Dat is hier het geval.

d $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{1,9\times10^7}{0,025} = 7,5 \times 10^8\ \mathrm{N/m^2}$

e Draad B rekt minder ver uit bij dezelfde trekspanning is minder elastisch en heeft dus een grotere elasticiteitsmodulus.

11 a In de constructie ontbreekt een diagonale plank.

b Als de deur verzakt aan de kant van de deurklink, wordt de diagonaal van links boven naar rechts onder groter. Een kabel moet dit voorkomen. De juiste manier is dus 1.

12 a Bij 2 werken duwkrachten en bij 3 rekkrachten. Bij 1 werken geen krachten.

b Bij 3 zal het beton het eerste breken, omdat beton weinig rekkrachten kan opvangen.

c Het betonijzer kan de rekkrachten opvangen. IJzer heeft een grote treksterkte.

## 6.2 Breking van licht

13 a De brekingsindex hangt af van het materiaal en van de kleur licht.

b Bij de figuren e en d breekt de lichtstraal van de normaal af.

d Bij loodrechte inval is de brekingshoek 0°.

14 a naar de normaal toe

b zwakker

c kleiner

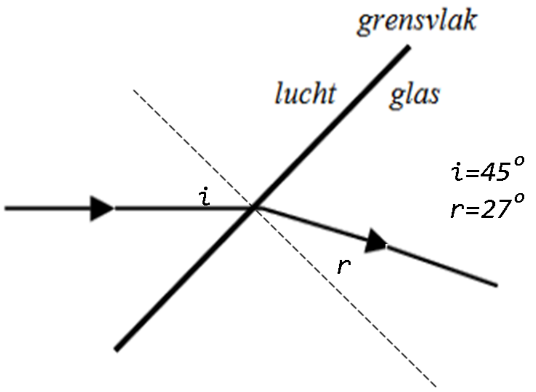
d zwakker

15 De hoek van inval $i$ = 35º en de brekingsindex van plexiglas $n$ = 1,49
De hoek van breking bereken je met de formule:
$\frac{\sin i}{\sin r} = n \rightarrow \frac{\sin 35}{\sin r} = 1,49 \rightarrow \sin r = \frac{\sin 35}{1,49} = 0,385 \rightarrow r = 23°$

16 a De hoek van inval $i$ = 30º en de hoek van breking $r$ = 18,4º.
De brekingsindex bereken je met de formule:
$\frac{\sin i}{\sin r} = n \rightarrow \frac{\sin 30}{\sin 18,4} = 1,58$

b De stof is flintglas ( een glassoort met een hoog gehalte aan loodoxide en met een brekingsindex die groter is dan normaal glas waardoor voorwerpen van flintglas mooi schitteren).

17 a,b,c,d



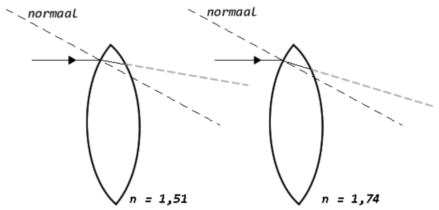

e De brekingsindex is dan:
$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \rightarrow \frac{\sin 45}{\sin 27} = 1{,}6$$

18 a De brekingsindex van het hoornvlies is 1,38, zie figuur 6.7.
De hoek van inval is 30°.
$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \rightarrow \frac{\sin 30}{\sin r} = 1{,}38 \rightarrow \sin r = \frac{\sin 30}{1{,}38} = 0{,}362 \rightarrow r = 21°$$

b Blauw licht breekt sterker dan geel licht, zie figuur 6.8: de hoek van breking is kleiner.

19 a Een lichtstraal breekt niet als hij loodrecht in valt.
b De lichtstraal moet van glas naar lucht van de normaal af breken, dat is lichtstraal C.

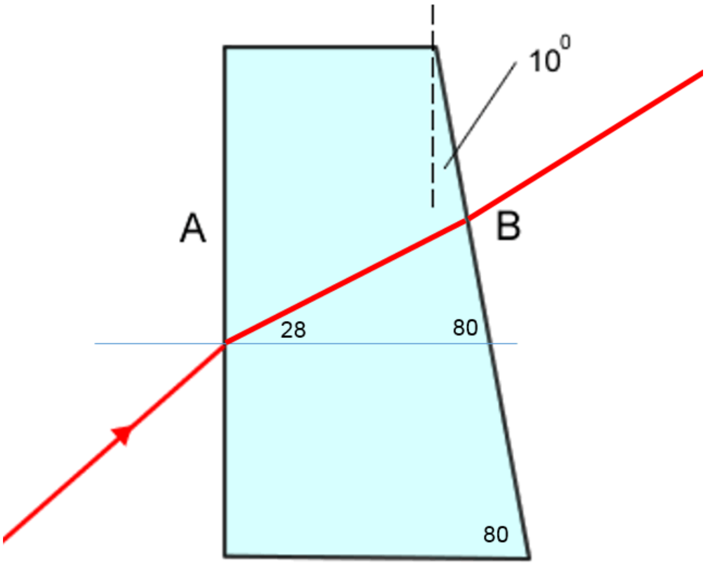
20 a De hoek van inval is 30° (opmeten uit de tekening).
b Bereken twee maal de hoek van breking.
bij n = 1,51:
$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \rightarrow \frac{\sin 30}{\sin r} = 1{,}51 \rightarrow \sin r = \frac{\sin 30}{1{,}51} = 0{,}331 \rightarrow r = 19°$$
bij n = 1,74
$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \rightarrow \frac{\sin 30}{\sin r} = 1{,}74 \rightarrow \sin r = \frac{\sin 30}{1{,}74} = 0{,}287 \rightarrow r = 17°$$




c De grotere brekingsindex zorgt voor een sterkere breking en daardoor komt het brandpunt van de lens dichter bij de lens te liggen.
d Voor dezelfde breking hoeft de lens met de grotere brekingsindex minder bol te zijn en dus kan de lens dunner zijn.

21 a De hoek van inval is bij grensvlak A 45°; brekingsindex = 1,49 zie tabel 6,7.
$\frac{\sin i}{\sin r} = n \rightarrow \frac{\sin 45}{\sin r} = 1{,}49 \rightarrow \sin r = \frac{\sin 45}{1{,}49} = 0{,}47 \rightarrow r = 28°$

b In de driehoek van de lichtstraal in het glas en de normaal weet je de hoek van 80° en 28°. Samen met de hoek met vlak B is dus 180 – 80 – 28 = 72°. De hoek van inval is de hoek met de normaal, dus 90 – 72 = 18°.




c $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n} \rightarrow \frac{\sin 18}{\sin r} = \frac{1}{1{,}49} = 0{,}671 \rightarrow \sin r = \frac{\sin 18}{0{,}671} = 0{,}461 \rightarrow r = 27°$

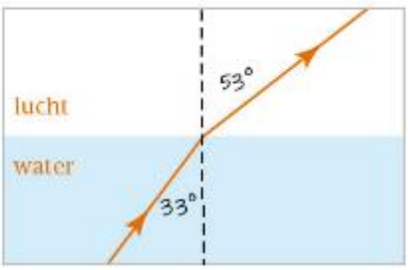
22 a Elk stukje is 20 cm lang. Er passen 5 stukjes van 20 cm in 1m. In 1 s passeert 185 000 km = 185 000 000 m.
Het aantal stukjes is nog eens 5 maal zo groot: 5 × 185 000 000 = $9{,}25 \times 10^8$ stukjes.

b 1 bit gebruikt 10 cm uit en 10 cm aan dus ook 20 cm Dus per s ook = $9{,}25 \times 10^8$ bits

c $\sin g = \frac{1}{n} = \frac{1}{1{,}6} = 0{,}625 \rightarrow g = 39°$

d Je zie dat de hoek van inval bij het grensvlak van de glasvezel ruim groter is dan 39° (Met je geodriehoek meet je een hoek van inval van ongeveer 70°.)

23 a *r* = 53° en *i* = 33°




$\frac{\sin r}{\sin i} = n \rightarrow \frac{\sin 53}{\sin 33} = 1{,}47$

b $\sin g = \frac{1}{n} = \frac{1}{1{,}47} = 0{,}68 \rightarrow g = 43°$

c Blauw licht breekt sterker dan rood licht. De brekingsindex is dus groter van blauw licht en de grenshoek kleiner.

## 6.3 Warmtegeleiding

24 a Stroming
b Geleiding en straling
c Geleiding
d Stroming

25 Waar: a, d, onwaar b en c.

26 a Oppervlakte wordt 3 maal zo groot (van 6 naar 18 m$^3$) en dus ook de warmtestroom want die is volgens de formule $P = \lambda \times \frac{A}{d} \times \Delta T$ evenredig met het oppervlak.
b De dikte halveert (van 15 cm naar 7,5 cm) en de warmtestroom verdubbelt want die is volgens de formule omgekeerd evenredig met de dikte *d*.
c De oppervlakte verdubbelt (van 6 naar 12 m$^2$) en ook de dikte (van 15 naar 30 cm): door het groter oppervlak verdubbelt de warmtestroom, maar door de grotere dikte halveert de warmtestroom. Conclusie: de warmtestroom blijft gelijk.
d In voorbeeld 4 is het temperatuurverschil 25 °C. Bij een temperatuurverschil van 5 °C wordt de warmtestroom 5 maal zo klein omdat warmtestroom *P* en temperatuurverschil $\Delta T$ recht evenredig zijn.

27 a De oppervlakte van de zijkanten: (2+3+2+3) × 2,5 = 25 m$^2$. De oppervlakte van de bovenkant: 3 × 2 = 6 m$^2$; Totaal: 31 m$^2$.
b Gegeven: $A$ = 31 m$^2$, $\Delta T$ = 5 °C, $d$ = 2 cm = 0,02 m en $\lambda$ = 0,5
Warmtestroom: $P = \lambda \times \frac{A}{d} \times \Delta T = 0{,}5 \times \frac{31}{0{,}020} \times 5 = 3875\ \mathrm{W} = 3{,}9\ \mathrm{kW}$.

28 a De warmte stroomt van hoge naar lage temperatuur dus van binnen naar buiten.
b Gegeven: $A$ = 2 × 1,5 = 3 m$^2$, $d$ = 4 mm = 0,004 m, $\Delta T$ = 20 – 5 = 15 °C, $\lambda$ = 0,9
$P = \lambda \times \dfrac{A}{d} \times \Delta T = 0{,}9 \times \dfrac{3}{0{,}004} \times 15 = 1{,}0 \times 10^4\ \mathrm{W}$
c Als de temperatuur constant is, dan is het warmteverlies gelijk aan de warmteproductie dus ook 10 kW.

29 a Voor het vermogen (warmtestroom) geldt: $P = \frac{E}{t}$ (zie §3.2). Dus $P = \frac{E}{t} = \frac{0{,}90 \times 10^6}{3600} = 250\ \mathrm{W}$
b Gegeven: $A$ = 10 m$^2$, $d$ = 1 cm = 0,01 m, $P$ = 250 W, $\lambda$ = 0,5, gevraagd $\Delta T$.
$P = \lambda \times \dfrac{A}{d} \times \Delta T \rightarrow 250 = 0{,}5 \times \dfrac{10}{0{,}01} \times \Delta T \rightarrow \Delta T = \dfrac{250}{500} = 0{,}5\ ^\circ\mathrm{C}$

30 a Voor wand A geldt: $P_A = \lambda \times \frac{A}{d} \times \Delta T = 0{,}9 \times \frac{2}{0{,}008} \Delta T = 225 \times \Delta T$
Voor wand B geldt: $P_A = \lambda \times \frac{A}{d} \times \Delta T = 1{,}3 \times \frac{6}{0{,}020} \Delta T = 390 \times \Delta T$
Voor wand C geldt: $P_A = \lambda \times \frac{A}{d} \times \Delta T = 0{,}6 \times \frac{12}{0{,}10} \Delta T = 72 \times \Delta T$
Het bakstenen muurtje laat de minste warmte door.

31 a Messing heeft een grotere warmtegeleidingscoëfficiënt en geleidt dus de warmte beter dan staal.
b Gegeven: $A$ = 0,044 m$^2$, $d$ = 2 mm = 0,002 m, $\Delta T$ = 75 – 20 °C, $\lambda$ = 120 (tabel 6.12) gevraagd *P*.
$P = \lambda \times \dfrac{A}{d} \times \Delta T = 120 \times \dfrac{0{,}044}{0{,}002} \times (75 - 20) = 1{,}45 \times 10^5\ \mathrm{W}$
c Omdat piepschuim een veel kleinere $\lambda$ heeft (0,035) een stuk dikker is, gaat er veel minder warmte doorheen. Het temperatuurverschil tussen de buitenkant en binnenkant van het piepschuim is daardoor groot en het verschil bij messing juist heel klein.

32 a Het plaatje aerogel isoleert zo goed dat de onderkant wel heet wordt maar de bovenkant koel blijft.

b Gegeven: $A$ = 0,03 × 0,04 m², $d$ = 1 cm = 0,01m, $\Delta T$ = 500 – 25 °C, $\lambda$ = 0,02, gevraagd $P$.

$$P = \lambda \times \frac{A}{d} \times \Delta T = 0{,}020 \times \frac{0{,}03 \times 0{,}04}{0{,}01} \times (500 - 25) = 1{,}14 = 1{,}1 \text{ W}$$

c $P = \frac{E}{t} \rightarrow 1{,}14 = \frac{1000}{t} \rightarrow t = \frac{1000}{1{,}14} = 877 \text{ s} = 14{,}6 \text{ minuten.}$

33 - De $\lambda$-waarde is een materiaalconstante, de $U$-waarde hangt af van de dikte van het voorwerp.

- De $\lambda$-waarde heeft alleen betrekking op geleiding. De $U$-waarde houdt rekening met stroming en geleiding.

34 a $U$ = 0,9/0,004 = 22,5 W/(m² × K)

b In de $U$-waarde zit stroming en geleiding verwerkt. De ruit zorgt er ook voor dat warmte niet naar buiten kan stromen en ook weerkaatst de ruit een deel van de infrarode straling. Daarom is de $U$-waarde van de ruit kleiner dan als je alleen naar geleiding kijkt.

35 a Voor geleiding is altijd een tussenstof nodig, vacuüm geleidt niet dus is de warmtegeleidingscoëfficiënt nul.

b Er kan via de bovenkant ook warmtetransport door geleiding en stroming plaats vinden. De binnenkant is wel glimmend maar weerkaatst nooit volledig alle straling.

36 a In de winter zorgt de coating aan de kamerzijde er voor dat er minder warmte naar buiten straalt. De coating aan de straatzijde zorgt er voor dat er minder warmte naar binnen stroomt in de zomer. Het wordt dan niet zo heet in huis.

b $P = U \times A \times \Delta T = 0{,}6 \times 1 \times 20 = 12 \text{ W}$

c De warmtegeleidingscoëfficiënten van glas, argon en glas met coating.

## 6.4 Uitzetting

37 a De eenheid van de lineaire uitzettingscoëfficiënt is 1/K

b De volumetoename hangt af van de kubieke uitzettingscoëfficiënt, het beginvolume en de temperatuurstijging.

c De moleculen van de vloeistof gaan sneller bewegen als de temperatuur stijgt en daardoor hebben ze meer ruimte nodig en neemt de afstand tussen de moleculen toe.

d Omdat de formule de formule is van een evenredig verband: y = a x, zie bladzijde 222 van het leerboek.

38 a $\Delta l$ =11,7×10$^{-6}$ m

b $\Delta l$ =10 ×11,7×10$^{-6}$ m = 11,7×10$^{-5}$ m

c $\Delta l$ =23,2 ×10$^{-6}$ × 5 × 20 = 23,2 ×10$^{-4}$ m

d $\Delta V$ = 0,72 ×10$^{-3}$ × 20 = 0,0144 L = 14,4 mL

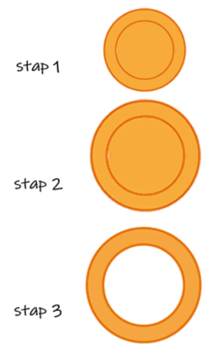
39 a De temperatuurstijging is 250 – 12 = 238 ºC.

b Gegeven: $\alpha = 16{,}8 \times 10^{-6}$; $l_0 = 0{,}864$ en $\Delta T = 238$ ºC
Gebruik de formule: $\Delta l = \alpha \times l_0 \times \Delta T$
$\Delta l = 16{,}8 \times 10^{-6} \times 0{,}864 \times 238 = 0{,}0035 \text{ m}$

c De nieuwe lengte wordt: 0,864 + 0,0035 = 0,868 m.

40 Je moet uitrekenen hoeveel 20 meter beton uitzet bij een temperatuurstijging van 35 ºC.
$\Delta l = 12 \times 10^{-6} \times 20 \times 35 = 0{,}0084 \text{ m}$
De ruimte tussen brug en wegdek moet minstens 8,4 mm zijn.

41 a Gegeven: $\alpha = 14 \times 10^{-6}$; $l_0 = 0{,}0154$ en $\Delta T = 75 - 20$ ºC
$\Delta l = \alpha \times l_0 \times \Delta T = 14 \times 10^{-6} \times 0{,}01544 \times (75 - 20) = 0{,}0000112 \text{ m} = 0{,}0112 \text{ mm}$
De nieuwe diameter wordt: 15,55 mm + 0,0112 mm = 15,56 mm.
b De afmetingen van de ring nemen in dezelfde mate toe als die van de schijf.
c Het gat is groter geworden; het gat is als het ware ook uitgezet.




Dit alles is in te zien door de volgende redenering:

- stap 1, Maak de ring in gedachten massief,
- stap 2, Laat het geheel uitzetten door verwarming,
- stap 3, Haal nu de schijf er weer uit en je krijgt de groter geworden ring.

42 a De bol is uitgezet en past niet meer door de ring.
b De hete bol heeft ook de ring verwarmd waardoor de ring uitzet. De bol koelt iets af en krimpt daardoor. Als het temperatuurverschil tussen ring en bol klein genoeg is kan de bol door de ring zakken.

43 Omdat de dichtheid verandert als de temperatuur toeneemt. Verwarm je de koperen bol uit de vorige vraag, dan zet die uit waardoor het volume groter wordt. De massa van de bol verandert niet zodat dezelfde massa nu een groter volume inneemt: de dichtheid neemt af.

44 a Gegeven: $\gamma = 1{,}1 \times 10^{-3}$; $V_0 = 268 \text{ mm}^3$ en $\Delta T = 10$°C
Volumetoename bereken je met de formule: $\Delta V = \gamma \times V_0 \times \Delta T$
Invullen: $\Delta V = 1{,}1 \times 10^{-3} \times 268 \times 10 = 2{,}95 \text{ mm}^3$
b Volume in de buis = doorsnede stijgbuis × hoogte (= afstand tussen de streepjes) = 2,95 $\text{mm}^3$
0,1 $\text{mm}^2$ × hoogte = 2,95 $\text{mm}^3$
hoogte = 2,95 : 0,1 = 30 mm
c Kwik zet minder sterk uit ($\gamma = 0{,}182 \times 10^{-3}$) dus heb je een dunnere stijgbuis nodig voor dezelfde schaalverdeling.

45 Een klein scheurtje vult zich met water en door de vorst zet dat water uit en duwt de schuur verder open. Water is een van de weinige stoffen die bij afkoelen beneden de 4 °C en bij het stollen uitzet.

46 a Het bovenste bolletje geeft de hoogste temperatuur aan. Dat bolletje zinkt als laatste omdat het de kleinste dichtheid heeft.
b Als een bolletje halverwege zweeft heeft de vloeistof precies de temperatuur van dat bolletje. Op de foto zweeft geen bolletje in het midden. De werkelijke temperatuur zit dus tussen de waarden op het bovenste bolletje aan de onderkant en het onderste bolletje aan de bovenkant.
c *m* = 100 g en $\rho$ = 0,800 g/$\text{cm}^3$ Gevraagd *V*
Invullen in: $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow 0{,}800 = \frac{100}{V} \rightarrow V = \frac{100}{0{,}800} = 125 \text{ cm}^3$
d $\Delta V = \gamma \times V_0 \times \Delta T = 1{,}1 \times 10^{-3} \times 125 \times (28 - 20) = 1{,}1 \text{ cm}^3$
e $\rho = \frac{m}{V}$ invullen $\rho = \frac{m}{V} = \frac{100}{125+1{,}1} = \frac{100}{126{,}1} = 0{,}793 \text{ g/cm}^3$
f De verschillen in dichtheid zijn maar erg klein. Een zeer klein verschil in massa heeft al een groot effect.

47 a De lineaire uitzettingscoëfficiënt is α. Neem een kubus met lengte 1m, breedte 1m en hoogte 1m. Stijgt de temperatuur met 1 graad dan worden de afmetingen Δl groter:
$\Delta l = \alpha \times l_0 \times \Delta T = \alpha \times 1 \times 1 = \alpha$
Als de kubus maar in één richting zou uitzetten, zou de extra plak zo gelijk zijn aan α.
Maar de kubus kan in drie richtingen uitzetten. In elke richting komt er een plak α bij. De totale toename is dus 3 α.
Op de hoekpunten en op de ribben zet de kubus natuurlijk ook uit, maar dat verwaarlozen we.
γ = 3 × α (maar in werkelijkheid iets groter).

b De lineaire uitzettingscoëfficiënt α van glas is $8 \times 10^{-6}$ 1/K.
De kubieke uitzettingscoëfficiënt ɣ van glas is dan $3 \times 8 \times 10^{-6} = 24 \times 10^{-6}$ 1/K.

c De kubieke uitzettingscoëfficiënt ɣ van glas is $24 \times 10^{-6}$ /K.
De kubieke uitzettingscoëfficiënt ɣ van alcohol is $1{,}1 \times 10^{-3} = 1100 \times 10^{-6}$ /K.
De kubieke uitzettingscoëfficiënt van de vloeistof is dus vele malen groter dan die van het glas en mag verwaarloosd worden. De vloeistof zakt dus een verwaarloosbaar klein beetje omdat het glas uitzet.

## 6.5 Magnetisme

48 a Een magneet is het sterkst bij de polen van de magneet.

b Een permanente magneet heeft altijd dezelfde sterkte een elektromagneet kun je uitzetten en door de stroom te regelen kun je ook de sterkte regelen. Voor een elektromagneet heb je een elektrische aansluiting nodig, bij een permanente magneet niet.

c De magnetische inductie van een spoel hangt af van het aantal windingen, de stroomsterkte, de lengte van de spoel en van het materiaal in de spoel.

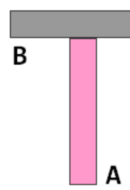
d Je krijgt 4 magneten, dus vier noordpolen en vier zuidpolen

49 a Magnetische influentie

b De spijker is een magneetje geworden met een zuid- en noordpool. De zuidpool van de magneet en de noordpool van de spijker (punt) trekken elkaar aan.

c Het sterke magnetisme van de permanente magneet draai het magnetisme in de spijker om: de punt van de spijker is nu een zuidpool geworden, die de noordpool van de permanente magneet aantrekt.

50 Hang het ene stuk (A) in het midden van het andere stuk (B). Blijft A hangen dan is A de magneet. Blijft het niet hangen dan is B de magneet. Precies tussen de polen van een staafmagneet is het magnetisme te verwaarlozen.




51 a Elektromagneten: als de stroom uitvalt, werken de magneten niet en gaan de deuren automatisch dicht. Dat is vereist in geval van brand.

b Bij het indrukken van de rode knop valt de stroom weg door de elektromagneten en kunnen de deuren loskomen van de magneet.

52 a IJzer of een andere magnetische stof

b In de verf zitten geen magneetjes maar kleine ijzerdeeltjes die alleen magneetjes worden als je er een magneet tegenaan houdt.

53 a De magnetische inductie halveert als het aantal windingen halveert.

b De magnetische inductie halveert als de lengte verdubbelt.

c De magnetische inductie wordt drie keer zo klein als de stroomsterkte drie keer zo klein wordt.

54 De magnetische inductie is evenredig met de stroomsterkte (×1/3) en het aantal windingen (×3), dus dat compenseert elkaar. De magnetische inductie is omgekeerd evenredig met de lengte van de spoel en die wordt 3 keer zo lang dus wordt de magnetische inductie 3 maal zo klein: 0,30 T. Het juiste antwoord is B.

55 a Na het hijsen moet je de lading los kunnen laten. Dat kan door de elektromagneet uit te zetten. Een permanente magneet kun je niet uit zetten.

b Gegeven: $B$ = 0,65 T; μ = $3{,}5 \times 10^{-3}$; $N$ = 5000 en $l$ = 0,40 m. Gevraagd de stroomsterkte.

$B = 3{,}5 \times 10^{-3} \frac{N \times I}{l} \rightarrow 0{,}65 = 3{,}5 \times 10^{-3} \frac{5000 \times I}{0{,}40}$

$$\rightarrow I = \frac{0{,}65 \times 0{,}4}{3{,}5 \times 10^{-3} \times 5000} = 1{,}49 \times 10^{-2}\ \mathrm{A} = 15\ \mathrm{mA}$$

(De benodigde stroomsterkte is veel groter omdat de magnetische inductie buiten de magneet veel kleiner is.)

c De waarde van $\mu_{lucht} = 1{,}3 \times 10^{-6}$, dat is 269 keer zo klein als voor ijzer. De stroomsterkte moet dan ook 269 keer zo groot zijn.

56 a De elektromagneten en het ijzer trekken elkaar aan en de trein gaat naar boven en komt los van het vaste draagconstructie.

b Een massa van $1{,}5 \times 10^5$ kg heeft een gewicht van $1{,}5 \times 10^5 \times 9{,}8 = 1{,}5 \times 10^6$ N.

Eén magneet oefent een kracht uit van $\frac{1{,}5 \times 10^6}{50} = 3{,}0 \times 10^4\ \mathrm{N}$.

57 a De stof magnetiet is gevoelig voor magnetische velden. Zonder zo'n gevoelige stof kan het zintuig nooit werken.

b De magnetische inductie is kleiner want de evenaar zit precies tussen de noord en zuidpool in.

c Dat zintuig kan de grootte en de richting van het veld bepalen en dat zegt wat over de positie van de duif. Hoe noordelijker je komt, des te sterker is het veld en is het ook meer schuin de grond in gericht.

58 De magneet op je hoofd verstoort het veld van de aarde. Je eigen magnetische zintuig kan dan niet werken waardoor je minder goed weet waar het noorden is. De proef toont ook dat het gewicht van de magneet daar niet de oorzaak van is. Dat kun je concluderen uit de resultaten van de controlegroep met alleen een steen op het hoofd.

59 De noordpool van de 'magneet' ligt dan bij de geografische zuidpool van de aarde.

60 Bewegend lading is elektrische stroom. Er is dus sprake van een elektromagneet.
*Het magneetveld van de aarde verandert ook in sterkte en draait eenmaal in de ca 300 000 jaar om. De laatste keer was 780 000 jaar geleden, dus…..*

## Toetsvoorbereiding

1 a Trekspanning is de kracht op bijvoorbeeld een kabel per $m^2$ van de doorsnede van de kabel.
b Brekingsindex geeft de mate van lichtbreking weer en is de verhouding van de sin *i* en sin *r.*
c Warmtegeleidingscoëfficiënt geeft aan hoe goed of slecht een materiaal de warmte geleidt.
d Relatieve rek is de uitrekking per meter kabel.
e Warmtestroom is de hoeveelheid warmte die per seconde voor een oppervlak stroomt.
f Treksterkte is de maximale trekspanning waarbij een draad breekt.

2 a Gegeven $\Delta l$ = 0,1 cm = 0,001 m en $l$ = 2,6 m. $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{0{,}001}{2{,}6} = 3{,}8 \times 10^{-4}$
b Gegeven: $\sigma = 2{,}8 \times 10^8$ N/m$^2$ en *A* = 0,20 mm$^2$ = 2,0×10$^{-7}$ m$^2$ Gevraagd *F.*
$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow 2{,}8 \times 10^8 = \frac{F}{2{,}0 \times 10^{-7}} \rightarrow F = 2{,}8 \times 10^8 \times 2{,}0 \times 10^{-7} = 55\ \mathrm{N}$

3 a De lineaire uitzettingscoëfficiënt van aluminium is 23,2 ×10$^{-6}$ 1/K.
b Gegeven: $\alpha = 23{,}2 \times 10^{-6}; l_0 = 15000\ \mathrm{m\ en}\ \Delta T = 35$°C, gevraagd: $\Delta l$ en $l$
$\Delta l = \alpha \times l_0 \times \Delta T = 23{,}2 \times 10^{-6} \times 15000 \times (35) = 12\ \mathrm{m}$
De nieuwe lengte van de kabel wordt 15 km + 12 m = 15 km (afgerond)
c IJzer kan roesten en is zwaarder.

4 a Gegeven: *B* = 0,0025 T, *N* = 250, *I* = 0,52 A, μ = 1,3×10$^{-6}$ en de lengte wordt gevraagd.
$B = \mu \frac{N \times I}{l} \rightarrow 0{,}0025 = 1{,}3 \times 10^{-6} \frac{250 \times 0{,}52}{l}$
$\rightarrow l = \frac{1{,}3 \times 10^{-6} \times 250 \times 0{,}52}{0{,}0025} = 0{,}068\ \mathrm{m} = 6{,}8\ \mathrm{cm}$
b De constante wordt 1000 maal zo groot en dus ook de magnetische inductie *B*. Die wordt dan 1000×0,0025 = 2,5 T.

5 a De lichtstraal breekt naar de normaal toe. Dus lichtstraal 2 is de juiste.
b Meet de hoek van inval op: 51°. *n* = 1,60

6 a Gegeven: *d* = 1 cm = 0,01 m, $\Delta T$ = 833 – 53 °C, *A* = 3 × 1 m. Gevraagd *P*
$$P = \lambda \times \frac{A}{d} \times \Delta T = 0{,}020 \times \frac{3}{0{,}01} \times (833 - 53) = 4{,}7 \times 10^3\ \mathrm{W}$$
b Het temperatuurverschil is 20 – (-11) = 31 °C
c Bij een betere isolatie zal er minder warmte naar buiten stromen. Het temperatuurverschil in de binnenmuur en de buitenmuur moet dus kleiner zijn want de λ, de *A* en de *d* van de binnen- en buitenmuur blijven gelijk. Dat gebeurt in figuur 1.

7 a De noordpool van het kompasnaaldje wijst naar de geografische noordpool. De geografische noordpool is magnetisch gezien dus een zuidpool.
b Bij een ijzeren behuizing wordt de behuizing magnetisch door de kompasnaald. Het veld van de behuizing stoort daardoor het magnetisch veld van de aarde.

8 a Bij een sleepkabel moet de treksterkte groot zijn.
b Bij een bungeejumpkoord moet de elasticiteit groot zijn.
d Het glaswol in de spouwmuur moet een kleine warmtegeleidingscoëfficiënt hebben.
e Bij een contactlens moet de brekingsindex groot zijn.