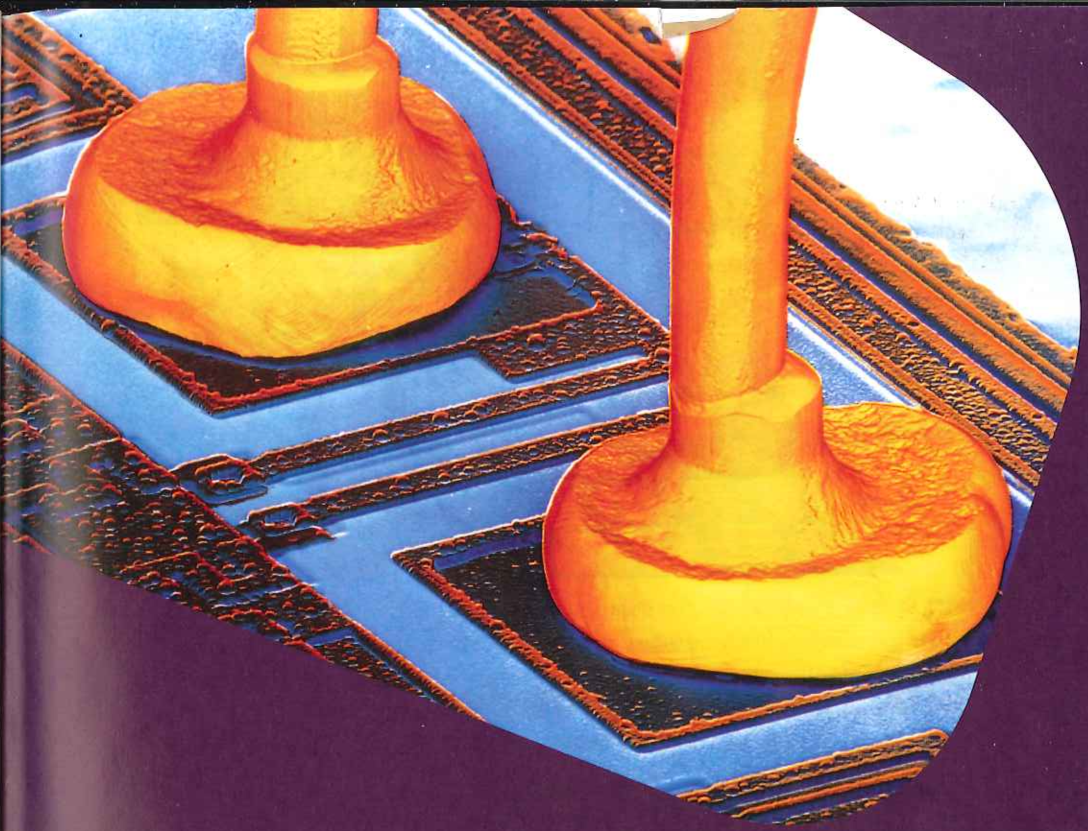


1 Basisvaardigheden

Voordat je een gouddraadje kunt vastmaken op een chip, moet je veel onderzoek doen. Zo'n onderzoek gaat de hele wereld over. Daarom zijn er allerlei afspraken hoe je meetresultaten weergeeft. Daarbij gaat het niet alleen om grootheden en eenheden maar ook om tabellen en diagrammen. Ook de nauwkeurigheid van een meetresultaat is van belang.
In dit hoofdstuk staan de belangrijkste afspraken. Deze afspraken gebruik je ook bij de natuurkunde in de klas.

ThiemeMeulenhoff

Je vergelijkt de prijzen van tomaten. Dat is niet altijd gemakkelijk omdat de hoeveelheid niet steeds dezelfde is. Om resultaten in de wetenschap met elkaar te kunnen vergelijken, gebruikt iedereen hetzelfde stelsel van eenheden. Welk stelsel is dat?

Figuur 1.1

1.1 Grootheden en eenheden

Kwalitatieve en kwantitatieve waarnemingen

Kijk je in de klas om je heen, dan zie je dat niet iedereen even lang is. Je vergelijkt lengten met elkaar zonder de lengten te meten. Zo'n waarneming noem je een **kwalitatieve waarneming**. Als je met een meetlint meet hoe lang iemand is, doe je een **kwantitatieve waarneming**.

Grootheid en eenheid

Lengte kun je meten. Een eigenschap die je kunt meten, noem je een **grootheid**. Daarom is lengte een grootheid. Andere voorbeelden van grootheden zijn tijd, temperatuur, snelheid en kracht.

Voorbeeld

Esther en Patrick meten ieder de lengte van negen leerlingen. De resultaten staan in tabel 1.1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Gemiddelde lengte
Esther	175	180	172	165	192	183	177	188	189	180
Patrick	1,79	1,82	1,64	1,86	1,84	1,89	1,95	1,71	1,61	1,79

Tabel 1.1

In de tabel ontbreekt de eenheid. Nu lijkt het alsof Esther en Patrick verschillende dingen hebben gemeten.

Doe je een meting, dan moet je ook de eenheid vermelden; zonder eenheid is een meting onvolledig. Bij elke meting hoort een grootheid die je uitdrukt in een getal en een eenheid. Een **eenheid** is de maat waarmee je de te meten grootheid vergelijkt. In het voorbeeld gebruikt Esther de eenheid cm. De gemiddelde lengte die Esther heeft gemeten is 180 keer 1 cm. Je noteert $\ell = 180$ cm. Er geldt:

grootheid = getal × eenheid

Opmerking
In boeken worden de symbolen van grootheden met cursieve letters weergegeven en de symbolen van eenheden met rechtopstaande letters.

Het internationale eenhedenstelsel

Esther en Patrick hebben voor hun metingen verschillende eenheden gebruikt. Internationaal zijn afspraken gemaakt in welke eenheid je een grootheid noteert. Deze afspraken zijn vastgelegd in het **internationale eenhedenstelsel**, het Système International d'Unités, kortweg **SI**. Er zijn negen **basisgrootheden** met bijbehorende **grondeenheden**. Zie tabel 1.2. Deze tabel vind je ook in BINAS tabel 3A.

Basisgrootheid	Symbool	Grondeenheid	Symbool
lengte	ℓ	meter	m
massa	m	kilogram	kg
tijd	t	seconde	s
stroomsterkte	I	ampère	A
temperatuur	T	kelvin	K
lichtsterkte	I	candela	cd
hoeveelheid stof	n	mol	mol
vlakke hoek	α	radiaal	rad
ruimtehoek	Ω	sterradiaal	sr

Tabel 1.2

In BINAS tabel 3B staan de definities van de grondeenheden. Alleen de definitie van de kilogram is eenvoudig te begrijpen. De waarde van de kilogram is bepaald door een cilinder van een platina-iridiumlegering, bewaard in het Bureau International des Poids et Mesures te Sèvres. Zie figuur 1.2.

Figuur 1.2

Afgeleide grootheden en afgeleide eenheden

Grootheden die geen basisgrootheden zijn, noem je **afgeleide grootheden**. De eenheid ervan heet een **afgeleide eenheid** en die kun je uitdrukken in de grondeenheden. Zie tabel 1.3.
In BINAS tabel 4 staat een overzicht van de meest voorkomende grootheden met symbool en eenheid. Achterin dit boek staat een lijst met alle grootheden en eenheden die je tijdens het eindexamen moet kunnen gebruiken.

Afgeleide grootheid	Symbool	Afgeleide eenheid	Symbool
oppervlakte	A	vierkante meter	m^2
dichtheid	ρ	kilogram per kubieke meter	kg/m^3
snelheid	v	meter per seconde	m/s

Tabel 1.3

Opgaven

1 In een klaslokaal zijn 25 kinderen aanwezig, waaronder 11 jongens. Deze 11 jongens zijn over het algemeen groter en zwaarder dan de 14 meisjes. De gemiddelde leeftijd van de 25 kinderen is 15 jaar en 8 maanden.
a Welke waarnemingen zijn kwantitatief?
b Welke waarnemingen zijn kwalitatief?

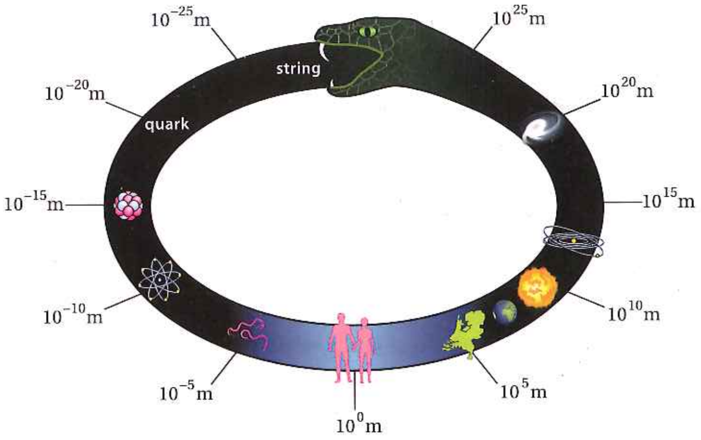
2 Leg uit wat het verschil is tussen grootheid en eenheid.

3 In onderstaande tekst staat zeven keer een grootheid met een meetwaarde.
Om de aarde cirkelt op een hoogte van 400 km een internationaal ruimteschip.
Dit ruimteschip heeft een lengte van 109 meter en weegt 391 ton.
De gemiddelde snelheid van het ruimteschip is 7,7 kilometer per seconde.
Hierdoor draait het ruimteschip iedere 90 minuten één keer om de aarde.
De astronauten leven in een ruimte met een volume van 388 kubieke meter.
De elektrische energie komt van zonnepanelen. Deze wekken maximaal een vermogen van 84 kilowatt op.
a Schrijf elke grootheid en de erbij behorende meetwaarde in symbolen.
b Welke van de zeven gebruikte eenheden zijn grondeenheden?

4 Hieronder staan drie meetwaarden waarin de letter m vet gedrukt is:
a $\ell = 2{,}1\ \mathbf{m}$ b $\boldsymbol{m} = 2{,}0$ kg c $t = 2{,}0\ \mathbf{m}$s
Geef van iedere letter m de betekenis.

5 In een supermarkt liggen allerlei soorten tomaten met prijzen. Zie figuur 1.1.
Door alleen de prijzen met elkaar te vergelijken kun je niet goed vaststellen welke soort tomaat de goedkoopste is.
Welk gegeven heb je nodig om de prijzen beter met elkaar te kunnen vergelijken?

Sheldon Glashow heeft een slang getekend die in zijn eigen staart bijt. Hij wil hiermee suggereren dat alles met elkaar samenhangt. Glashow gebruikt in zijn tekening positieve en negatieve machten van tien. Wat betekent een negatieve macht van tien?



Figuur 1.3

1.2 Werken met machten van 10

Machten van 10; de wetenschappelijke notatie

In tabel 1.4 zie je zeven kolommen met getallen. In elke kolom staan uitdrukkingen die dezelfde waarde hebben. In kolom 1 bijvoorbeeld: $1000 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^3$.
Het getal 3 noem je de exponent van het getal 10.

	Kolom 1	Kolom 2	Kolom 3	Kolom 4	Kolom 5	Kolom 6	Kolom 7
Rij 1	1000	100	10	1	0,1	0,01	0,001
Rij 2	1000	100	10	1	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{1000}$
Rij 3	$10 \cdot 10 \cdot 10$	$10 \cdot 10$	10	1	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10 \cdot 10}$	$\frac{1}{10 \cdot 10 \cdot 10}$
Rij 4	10^3	10^2	10^1	1	$\frac{1}{10^1}$	$\frac{1}{10^2}$	$\frac{1}{10^3}$
Rij 5	10^3	10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}

Tabel 1.4

Voor elke rij geldt dat er door 10 is gedeeld als je een kolom naar rechts opschuift. In rij 5 neemt dan de exponent steeds met 1 af. Kolom 4 geeft aan dat je 1 kunt schrijven als 10^0.

Kijk nu eens naar kolom 7. Hier is $0{,}001 = \frac{1}{1000} = \frac{1}{10 \cdot 10 \cdot 10} = \frac{1}{10^3} = 10^{-3}$.
De negatieve exponent -3 geeft aan dat er gedeeld moet worden door 10 tot de macht 3.

De manier waarop in rij 5 de getallen zijn genoteerd, is het meest overzichtelijk. Deze manier wordt in de natuurwetenschappen gebruikt.

Het getal 0,051 kun je schrijven als

$$5{,}1 \times 0{,}01 = 5{,}1 \times \frac{1}{100} = 5{,}1 \times \frac{1}{10^2} = 5{,}1 \times 10^{-2} = 5{,}1 \cdot 10^{-2}.$$

Dit bestaat uit een getal met voor de komma slechts één cijfer ongelijk aan nul en een macht van 10. Dit noem je de **wetenschappelijke notatie**.

Voorbeelden

$$8312 = 8{,}312 \times 1000 = 8{,}312 \times 10^3 = 8{,}312 \cdot 10^3$$

$$0{,}0079 = 7{,}9 \times 0{,}001 = 7{,}9 \times \frac{1}{1000} = 7{,}9 \times \frac{1}{10^3} = 7{,}9 \times 10^{-3} = 7{,}9 \cdot 10^{-3}$$

$$3{,}61 \cdot 10^2 = 3{,}61 \times 100 = 361$$

$$1{,}81 \cdot 10^{-4} = \frac{1{,}81}{10^4} = \frac{1{,}81}{10\,000} = 0{,}000\,181$$

Orde van grootte

Soms is het niet nodig of niet mogelijk de waarde van een grootheid met een grote nauwkeurigheid op te geven. Dan noteer je alleen de **orde van grootte**.
De orde van grootte geef je aan in een macht van 10.

Voorbeelden
De afstand zon-aarde is $1{,}496 \cdot 10^{11}$ m. De orde van grootte is dan 10^{11} m.
De massa van een elektron is $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg. De orde van grootte is dan $10 \cdot 10^{-31} = 10^{-30}$ kg.

In BINAS tabel 6 staan allerlei gegevens uitgedrukt in machten van tien.
Je kunt met tabel 6 eventueel controleren of de orde van grootte van een antwoord klopt met de werkelijkheid.

Rekenen met machten van 10

Bij het **rekenen met machten van 10** gelden de volgende regels:

$$\frac{1}{10^p} = 10^{-p} \qquad 10^p \times 10^q = 10^{p+q} \qquad \frac{10^p}{10^q} = 10^{p-q} \qquad (10^p)^q = 10^{p \times q}$$

Voorbeelden

$$\frac{2}{10^2} = 2 \times 10^{-2} = 2 \cdot 10^{-2}$$

$$\frac{20}{5 \cdot 10^2} = \frac{20}{5} \times 10^{-2} = 4 \cdot 10^{-2}$$

$$1{,}6 \cdot 10^2 \times 4{,}0 \cdot 10^3 = 1{,}6 \times 4{,}0 \times 10^2 \times 10^3 = 6{,}4 \times 10^{2+3} = 6{,}4 \cdot 10^5$$

$$\frac{3{,}2\cdot 10^4}{2{,}0\cdot 10^6} = \frac{3{,}2}{2{,}0}\times\frac{10^4}{10^6} = 1{,}6\times 10^{4+(-6)} = 1{,}6\cdot 10^{-2}$$

$$\frac{4{,}4\cdot 10^{-4}}{0{,}80\cdot 10^{-2}} = \frac{4{,}4}{0{,}80}\times\frac{10^{-4}}{10^{-2}} = 5{,}5\times 10^{-4-(-2)} = 5{,}5\cdot 10^{-4+2} = 5{,}5\cdot 10^{-2}$$

$$(10^4)^3 = 10^{4\times 3} = 10^{12}$$

Voorvoegsels of vermenigvuldigingsfactoren

In plaats van machten van 10 kun je ook **voorvoegsels** of **vermenigvuldigingsfactoren** gebruiken. In BINAS tabel 2 staat een overzicht daarvan met naam en symbool. Ook de volledige naam in het Nederlands vind je daar. Een gedeelte van het overzicht staat in tabel 1.5.

Factor	Naam	Symbool	Nederlandse naam	Factor	Naam	Symbool
10^3	kilo	k	duizend(ste)	10^{-3}	milli	m
10^6	mega	M	miljoen(ste)	10^{-6}	micro	μ
10^9	giga	G	miljard(ste)	10^{-9}	nano	n

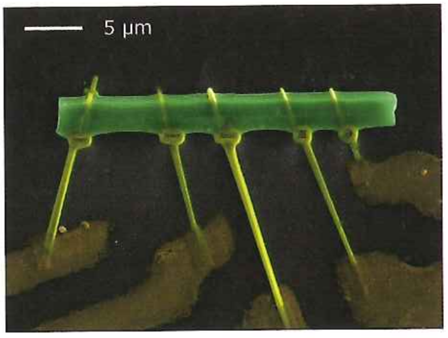
Tabel 1.5

Voorbeelden

$3{,}5\cdot 10^3$ m = 3,5 duizend meter = 3,5 kilometer = 3,5 km
5 μm = 5 micrometer = 5 miljoenste meter = $5\cdot 10^{-6}$ m
0,0075 A = $7{,}5\cdot 10^{-3}$ A = 7,5 duizendste ampere = 7,5 milliampère = 7,5 mA
15 ns = 15 nanoseconde = 15 miljardste seconde = $15\cdot 10^{-9}$ s = $1{,}5\cdot 10^{-8}$ s
500 GJ = 500 gigajoule = 500 miljard joule = $500\cdot 10^9$ joule = $5{,}00\cdot 10^{11}$ joule
$6{,}1\cdot 10^7$ W = $61\cdot 10^6$ W = 61 miljoen watt = 61 megawatt = 61 MW

De afkorting van micro is de Griekse letter μ. In BINAS tabel 1 vind je de schrijfwijze en de naam van de letters van het Griekse alfabet. In plaats van 5 micrometer mag je ook 5 mu-meter zeggen.

Figuur 1.4 is een foto gemaakt met een elektronenmicroscoop. Je ziet een stukje supergeleider (het groene staafje) dat met vijf platinadraadjes aan gouden microelektroden is vastgemaakt. De figuur is op schaal. In de figuur is de grootte van 5 μm aangegeven.



Figuur 1.4

Opgaven

6 Voer de onderstaande berekeningen uit en noteer de uitkomst in de wetenschappelijke notatie als dat mogelijk is.

a $10^2 \times 10^4 =$

b $10^2 \times 10^{-4} =$

c $\dfrac{10^4}{10^7} =$

d $2 \cdot 10^3 \times 3 \cdot 10^4 =$

e $4{,}4 \cdot 10^5 \times 2{,}5 \cdot 10^{-3} =$

f $254 \times 25{,}0 =$

g $\dfrac{3{,}85 \cdot 10^2}{250 \cdot 10^{-4}} =$

h $(2 \cdot 10^4)^3 =$

7 Herschrijf in de wetenschappelijke notatie.

a 4506 m

b 0,000 001 53 m

c $961 \cdot 10^3$ m

d $0{,}075 \cdot 10^{-2}$ m

8 Schrijf zonder voorvoegsel en noteer de uitkomst in de wetenschappelijke notatie.

a 2,5 km

b 0,51 MPa

c 18,5 μm

d 251 TJ

e 33 mbar

f 25 nm

9 Herschrijf zonder macht van 10 door gebruik te maken van een voorvoegsel.

a $9{,}4 \cdot 10^{-6}$ A

b $6{,}11 \cdot 10^{12}$ s

c $1{,}85 \cdot 10^{-8}$ m

d $2{,}36 \cdot 10^7$ W

10 Geef de orde van grootte van onderstaande meetwaarden aan.

a $9{,}4 \cdot 10^{-6}$ A

b $6{,}11 \cdot 10^{12}$ s

c 853 μm

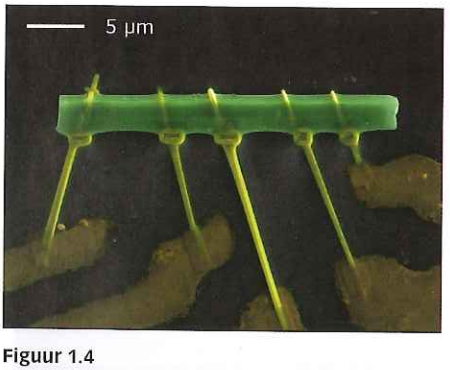
d 23,6 MW

▶ hulpblad

11 Figuur 1.4 is op schaal. In de figuur is de grootte van 5 μm aangegeven.

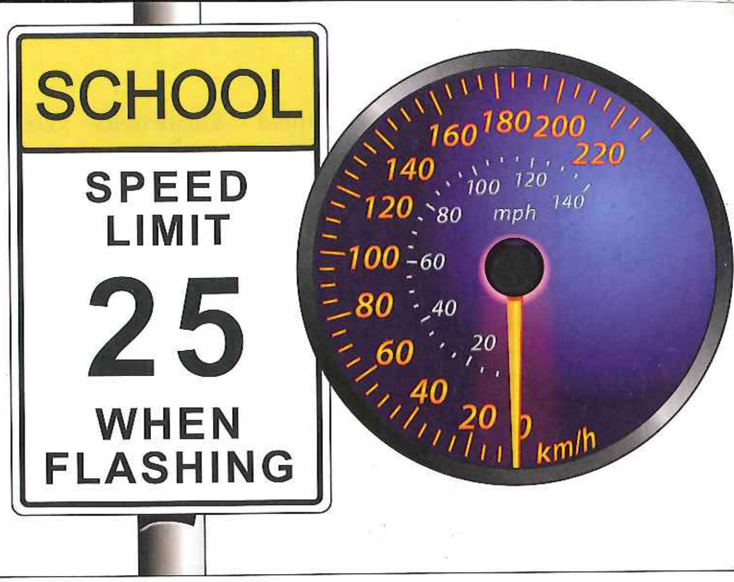
a Schat de orde van grootte van de dikte van het linker platinadraadje.

b Bepaal de lengte van het groene staafje.



Figuur 1.4

Rijd je met een Nederlandse auto in Engeland, dan moet je steeds je snelheid in km/h omrekenen naar mph om je aan de regels te houden. Je kunt ook een snelheidsmeter met beide eenheden laten inbouwen. Hoe werk je bij natuurkunde met eenheden?



Figuur 1.5

1.3 Werken met eenheden

Machten van eenheden

De afmetingen van een kamer zijn 4,5 m lang; 3,2 m breed en 2,5 m hoog.
De inhoud van de kamer bereken je met:

$V = \ell \cdot b \cdot h = 4{,}5\ \mathrm{m} \times 3{,}2\ \mathrm{m} \times 2{,}5\ \mathrm{m} = 4{,}5 \times 3{,}2 \times 2{,}5 \times \mathrm{m}^1 \times \mathrm{m}^1 \times \mathrm{m}^1 = 36\ \mathrm{m}^{1+1+1} = 36\ \mathrm{m}^3$

De rekenregels bij machten van 10 gelden ook bij **machten van eenheden**.

$$\frac{1}{\mathrm{m}^p} = \mathrm{m}^{-p} \qquad \mathrm{m}^p \times \mathrm{m}^q = \mathrm{m}^{p+q} \qquad \frac{\mathrm{m}^p}{\mathrm{m}^q} = \mathrm{m}^{p-q} \qquad (\mathrm{m}^p)^q = \mathrm{m}^{p \times q}$$

Voorbeeld 1
De eenheid van snelheid is m/s. Dit betekent $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. In plaats daarvan mag je ook $\mathrm{m\,s^{-1}}$ schrijven.

Voorbeeld 2
Tabel 1.6 toont een deel van BINAS tabel 8 met gegevens van metalen. In de eerste rij staat boven de kolom de grootheid vermeld en eventueel de temperatuur en druk waarbij die grootheid is bepaald. In de tweede rij van de tabel staan de bijbehorende eenheden. Daarvoor kan een macht van 10 staan. In die gevallen moet je de getallen uit de kolom nog vermenigvuldigen met deze macht om de juiste waarde voor de grootheid te krijgen.

	Dichtheid $T = 293$ K	Elasticiteits-modulus $T = 293$ K	Lineaire uitzet-tings-coëfficiënt	Soortelijke warmte $T = 293$ K	Warmte-geleidings-coëfficiënt $T = 293$ K	Smelt-punt $p = p_0$
	10^3 kg m^{-3}	10^9 Pa	10^{-6} K^{-1}	10^3 J kg^{-1} K^{-1}	W m^{-1} K^{-1}	K
Aluminium	2,70	71	23,2	0,88	237	933
Beryllium	1,85	300	11,5	1,8	170	1560
Bismut	9,80	32	13,5	0,12	9	545
Cadmium	8,65	60	31,5	0,234	92	594

Tabel 1.6

De dichtheid van aluminium is dus:

$2{,}70 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} = 2{,}70 \cdot 10^3 \dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2{,}70 \cdot 10^3$ kilogram per kubieke meter

Opmerking

De eenheid van massa is de enige grondeenheid die een voorvoegsel heeft, namelijk de k van kilo.

Formules en afgeleide eenheden

Een formule is een verkorte schrijfwijze van het verband tussen grootheden. Daarbij vervang je vaak woorden door symbolen. Zo is er ook een afkorting voor '**de eenheid van**'. Je gebruikt dan vierkante haken rond de grootheid. In plaats van de eenheid van massa is kilogram schrijf je $[m] = \text{kg}$.

Een formule geeft het wiskundige verband tussen grootheden. Daarom is er ook een wiskundig verband tussen de bijbehorende eenheden. Die pas je toe om een **afgeleide eenheid** te bepalen.

Voorbeeld 1

Voor de **oppervlakte van een cirkel** geldt:

$$A = \pi r^2 \text{ of } A = \tfrac{1}{4}\pi d^2$$

- r is de straal in m.
- d is de diameter in m.
- A is de oppervlakte.

Getallen en de constante π hebben geen eenheid. Dus geldt $[A] = [r]^2$ of $[A] = [d]^2$. In beide gevallen is het resultaat $[A] = \text{m}^2$.

Voorbeeld 2

In BINAS tabel 35 C staat de formule voor de **dichtheid**:

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

- m is de massa in kg.
- V is het volume in m^3.
- ρ is de dichtheid.

Voor de eenheid van dichtheid geldt:

$$[\rho] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

De eenheid van de dichtheid is dus gelijk aan kilogram per kubieke meter, afgekort kg/m^3 of $\text{kg}\,\text{m}^{-3}$.

Omrekenen van eenheden

Snelheid kun je uitdrukken in km/h en in m/s. Deze eenheden moet je naar elkaar kunnen omrekenen. Dat gaat als volgt:

$$72\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{72\,\text{km}}{1\,\text{h}} = \frac{72\,000\,\text{m}}{3600\,\text{s}} = \frac{20\,\text{m}}{1\,\text{s}} = 20\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Omgekeerd geldt:

$$20\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{20\,\text{m}}{1\,\text{s}} = \frac{20 \times 3600\,\text{m}}{3600\,\text{s}} = \frac{72\,000\,\text{m}}{1\,\text{h}} = 72\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$$

De dichtheid druk je uit in kg/m^3 als je de eenheden van het SI gebruikt. Gebruik je voor de massa en het volume andere eenheden, dan pas je de eenheid aan. Welke eenheden je kiest hangt af van de gegevens. Je moet in ieder geval altijd de **eenheden** op elkaar **afstemmen**.

Voorbeeld

Voor het **volume van een bol** geldt:

$$V = \tfrac{4}{3}\pi r^3$$

- r is de straal.

De massa van een glazen knikker is 18 g. De knikker is bolvormig. De diameter van de knikker is 2,4 cm.
Bereken de dichtheid van de glazen knikker.

Uitwerking
De dichtheid bereken je met $\rho = \dfrac{m}{V}$.
De massa is 18 g.
Het volume is gelijk aan $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ met $r = \frac{1}{2}d = 1{,}2$ cm.

$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(1{,}2)^3 = 7{,}24\ \text{cm}^3$

$$\rho = \frac{18\ \text{g}}{7{,}24\ \text{cm}^3} = 2{,}5\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 2{,}5\ \text{g}\,\text{cm}^{-3}$$

De **eenheid** $\text{g}\,\text{cm}^{-3}$ kun je **omrekenen** naar $\text{kg}\,\text{m}^{-3}$.

$$2{,}5\ \text{g}\,\text{cm}^{-3} = 2{,}5\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{2{,}5\ \text{g}}{1\ \text{cm}^3} = \frac{0{,}0025\ \text{kg}}{0{,}000\,001\ \text{m}^3} = 2500\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2{,}5 \times 1000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} =$$
$$= 2{,}5 \cdot 10^3\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Omrekenen kun je ook doen met machten van 10:

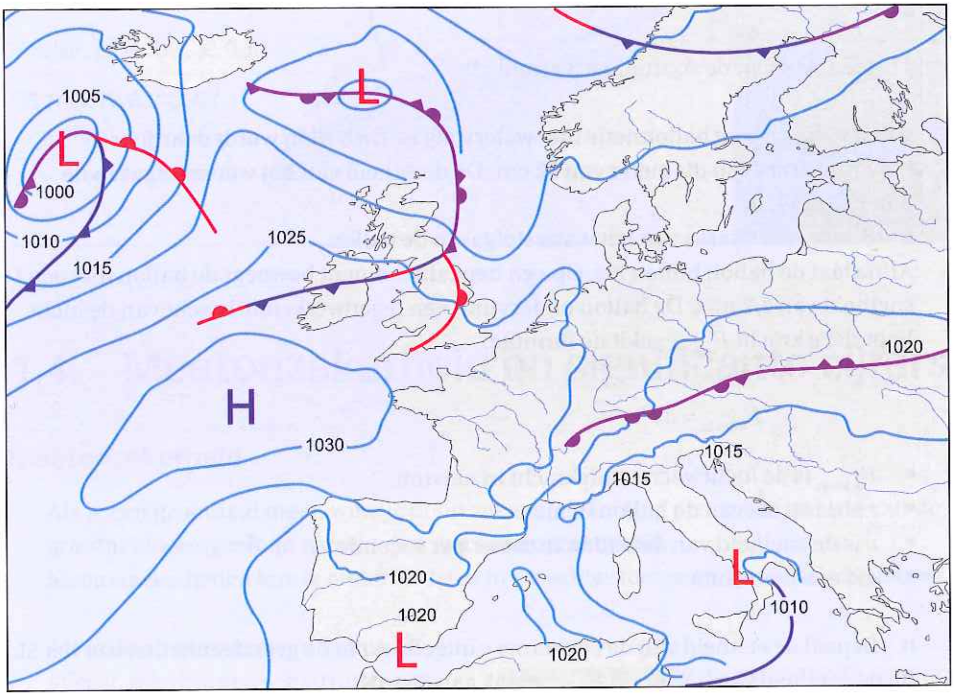
$$2{,}5\ \text{g}\,\text{cm}^{-3} = 2{,}5\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{2{,}5\ \text{g}}{1\ \text{cm}^3} = \frac{2{,}5 \cdot 10^{-3}\ \text{kg}}{1 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^3} = \frac{2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{6}\ \text{kg}}{1\ \text{m}^3} =$$
$$= \frac{2{,}5 \cdot 10^{(-3+6)}\ \text{kg}}{1\ \text{m}^3} = 2{,}5 \cdot 10^3\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Opmerkingen
1 Staat er in de vraag dat de eenheid $\text{kg}\,\text{m}^{-3}$ moet zijn, dan kun je beter eerst g naar kg en cm^3 naar m^3 omrekenen. Je maakt dan minder snel fouten.
2 In BINAS tabel 5 staat van een aantal eenheden de omrekeningsfactor. Je mag hiervan gebruikmaken zonder verdere uitleg.

Opgaven

12 a Zoek in BINAS de voortplantingssnelheid op van geluid in lucht bij 20 °C (= 293 K).
b Noteer die snelheid in de wetenschappelijke notatie.
c Druk die snelheid uit in km/h.

13 Adriaan, Ahmet en Winston kijken naar de weerkaart van figuur 1.6. Daarin zie je lijnen met een getal. Volgens Adriaan zijn de lijnen isobaren die punten met gelijke luchtdruk met elkaar verbinden. De getallen geven de druk in mbar aan. Ahmet zegt dat de getallen de druk in hPa (hectopascal) weergeven. Winston kijkt in BINAS tabel 5 en zegt tegen Adriaan en Ahmet dat ze allebei gelijk hebben.
Laat zien dat 1020 mbar gelijk is aan 1020 hPa.



Figuur 1.6

14 Voor de veerkracht geldt:

$$F_{veer} = C \cdot u$$

- F_{veer} is de veerkracht in N.
- C is de veerconstante in N/m.
- u is de uitrekking in m.

Een veer heeft een veerconstante van 12 N/m en wordt 3,5 cm uitgerekt.
Bereken de veerkracht.

15 Ricardo en Jeroen scheppen op over de topsnelheid van hun auto. Ricardo zegt dat zijn auto een topsnelheid heeft van 250 km/h. De auto van Jeroen haalt 160 mph. Iris hoort het verhaal toevallig en zegt dat haar auto een top haalt van 75 m/s.
Zet de auto's in volgorde van aflopende snelheid. Licht je antwoord toe.

16 Als je een stof verwarmt, stijgt de temperatuur. Voor de temperatuurstijging geldt:

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

- Q is de hoeveelheid toegevoerde warmte in joule.
- m is de massa in kilogram.
- Δt is de temperatuurstijging in graden Celsius.
- c is de soortelijke warmte van de stof.

Leid de eenheid van de soortelijke warmte af.

17 Alina vult een leeg ballonnetje met waterstofgas. De ballon wordt daardoor bolvormig met een diameter van 32 cm. De dichtheid van het waterstofgas in de ballon is 92 g/m^3.

a Bereken de massa van het waterstofgas in de ballon.

Alina laat de ballon buiten los. Op een bepaald moment beweegt de ballon met een snelheid van 2,2 m/s. De ballon ondervindt een tegenwerkende kracht van de lucht. Voor deze kracht $F_{w,lucht}$ geldt de formule:

$$F_{w,lucht} = c \cdot r^2 \cdot v^2$$

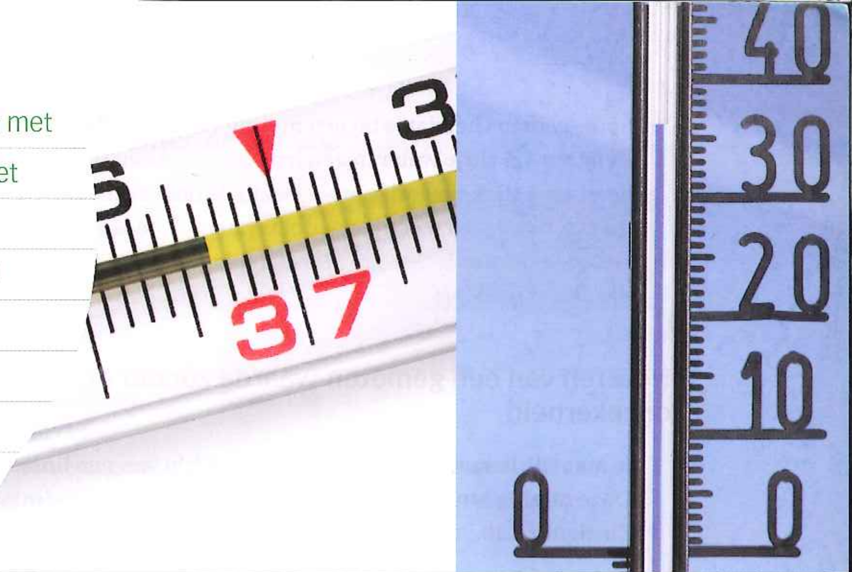
- $F_{w,lucht}$ is de luchtweerstandskracht in newton.
- r is de straal van de ballon in meter.
- v is de snelheid van de ballon in meter per seconde.
- c is een constante.

b Bepaal de eenheid van de constante c uitgedrukt in de grondeenheden van het SI.

Bij de snelheid van 2,2 m/s is $F_{w,lucht}$ gelijk aan 86 mN.

c Bereken de grootte van de constante c.

De temperatuur kun je aflezen met een koortsthermometer en met een buitenthermometer. De koortsthermometer is veel nauwkeuriger dan de buitenthermometer. Hoe laat je dat zien in de meetwaarden?



Figuur 1.7

1.4 Meetonzekerheid en significante cijfers

Meetonzekerheid

Als je een grootheid meet, weet je nooit zeker of de meting precies de waarde van de grootheid weergeeft. Je spreekt dan van **meetonzekerheid**.
Meetonzekerheden kun je onderverdelen in toevallige fouten en systematische fouten.

Als je de ampèremeter in figuur 1.8 afleest, maak je een schatting tussen twee streepjes. Zo'n schatting is soms te hoog en soms te laag. Dat geeft een **toevallige fout**. Soms lees je de gemeten waarde af op een display. Die lijkt heel nauwkeurig, maar de display kan maar een beperkt aantal cijfers weergeven. Het apparaat rondt af. Dus ook bij aflezen van een digitaal meetinstrument is sprake van een toevallige fout.

Figuur 1.8

Als er geen stroom door de ampèremeter gaat, moet de wijzer op nul staan.
Is de nulstand niet goed ingesteld, dan meet je voortdurend een te hoge of een te lage waarde. Een dergelijke fout noem je een **systematische fout**.

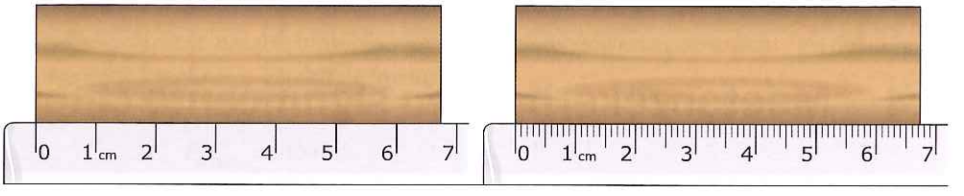
In de gebruiksaanwijzing van een meetinstrument kun je lezen hoe je de grootte van de meetonzekerheid in je meting bepaalt.

Soms gebeurt het dat je bij een meting verkeerd afleest. In figuur 1.9 zie je water in een maatglas met een schaalverdeling in mL. Een maatglas moet je aan de onderkant van de meniscus aflezen. Lees je voor het watervolume (aan de bovenkant van de meniscus) 3,69 mL af in plaats van 3,50 mL, dan is dat een **afleesfout**.

Figuur 1.9

Noteren van een gemeten waarde zónder de onzekerheid

Je meet de lengte van een blokje met behulp van een liniaal met mm-verdeling. Deze meting is nauwkeuriger dan een meting met een liniaal met cm-verdeling. Zie figuur 1.10.



Figuur 1.10

Bij de liniaal met cm-verdeling lees je af dat de lengte van het blokje ligt tussen 6 en 7 cm. Tussen deze twee streepjes ga je schatten. Je leest dan 6,7 cm af en noteert deze waarde. Hiermee bedoel je dan dat de gemeten waarde ligt tussen 6,65 cm en 6,75 cm. Je ziet dat de decimaal achter het laatste cijfer 5 omhoog of 5 omlaag gaat om de marges van de meetonzekerheid aan te geven.

Deze afspraak is algemeen. Als je de lengte van een lat meet en de lat is op de cm nauwkeurig drie meter, dan moet je dus niet opschrijven $\ell = 3$ m. Iemand anders denkt dan dat de lat ergens tussen de 2,5 m en 3,5 m lang is. Dat is erg onnauwkeurig. Je moet dus noteren: $\ell = 3{,}00$ m. Dan geldt dat de lengte ligt tussen 2,995 m en 3,005 m.

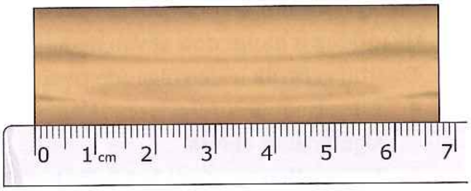
Noteren van een gemeten waarde mét de onzekerheid

In figuur 1.11 zie je een maatglas met mL-verdeling. Je leest af dat het volume van de vloeistof ligt tussen 4,8 en 4,9 mL. Tussen deze twee streepjes moet je schatten. Je leest dan af 4,83 mL. Hier zit echter een meetonzekerheid in. De grootte daarvan bepaal je door te kijken naar de afstand tussen de streepjes. Als richtlijn voor het bepalen van de grootte van de meetonzekerheid neem je $\frac{1}{10}$ deel van de kleinste schaal. De afstand tussen twee streepjes is 0,1 mL. De meetonzekerheid is dus 0,01 mL. Je noteert de uitkomst dan als $4{,}83 \pm 0{,}01$ mL.

Figuur 1.11

Significante cijfers en cijfers achter de komma

In figuur 1.12 zie je nogmaals het blokje van figuur 1.10. De liniaal met mm-verdeling laat zien dat de lengte ligt tussen 6,7 en 6,8 cm. Je schat de tienden van een mm: 6,73 cm. Omdat de liniaal met mm-verdeling nauwkeuriger is dan de liniaal met cm-verdeling noteer je één cijfer meer. Het aantal cijfers van een getal is dus een maat voor de nauwkeurigheid van het instrument. Dit aantal cijfers noem je het aantal **significante cijfers**. De meetwaarde 6,73 bestaat uit drie significante cijfers.



Figuur 1.12

Het aantal **cijfers achter de komma** zegt niets over de nauwkeurigheid van een meetwaarde. Noteer je de lengte in de grondeenheid, dan schrijf je $6{,}73 \cdot 10^{-2}$ m of 0,0673 m. Het aantal significante cijfers blijft drie maar het aantal cijfers achter de komma verandert. Nullen aan het begin van een getal tel je niet mee bij het bepalen van het aantal significante cijfers, nullen aan het eind wel.

In tabel 1.7 zie je een aantal meetwaarden met daarachter het aantal significante cijfers en cijfers achter de komma.

Meetwaarde	Aantal significante cijfers	Aantal cijfers achter de komma	Herschreven in de standaardvorm	Aantal significante cijfers	Aantal cijfers achter de komma
13,60 g	4	2	$1{,}360 \cdot 10^{1}$ g	4	3
600 cm^3	3	0	$6{,}00 \cdot 10^{2}$ cm^3	3	2
1005 kg	4	0	$1{,}005 \cdot 10^{3}$ kg	4	3
0,000 56 m^2	2	5	$5{,}6 \cdot 10^{-4}$ m^2	2	1

Tabel 1.7

Rekening houden met significante cijfers

▶ **applet** Significante cijfers

Met meetwaarden bereken je vaak een andere grootheid. De nauwkeurigheid van de uitkomst hangt dan af van de nauwkeurigheid van de meetwaarden.
Daarbij gebruik je de volgende twee vuistregels:

- Bij vermenigvuldigen en delen wint het getal met het kleinste aantal **significante cijfers**.
- Bij optellen en aftrekken wint het getal met het kleinste aantal **cijfers achter de komma**.

Voorbeeld 1
Je meet de lengte en de breedte van een tafelblad: $\ell = 153{,}3$ cm en $b = 82{,}5$ cm.
Bij de berekening van de oppervlakte vind je met behulp van de rekenmachine:
$A = \ell \times b = 153{,}3 \times 82{,}5 = 12\,647{,}25\ \text{cm}^2$
Heb je de rekenmachine op de wetenschappelijke notatie ingesteld dan staat op de display $1{,}264\,725 \cdot 10^4$. Deze uitkomsten hebben te veel significante cijfers.
Tabel 1.8 laat zien hoe je het juiste aantal significante cijfers bepaalt.

Actie	Toelichting	Antwoord
Bepaal van elke meetwaarde het aantal significante cijfers.	82,5 153,3	3 4
Bepaal het kleinste aantal significante cijfers.		3
Bereken de uitkomst in de wetenschappelijke notatie.	12 647,25	$1{,}264\,725 \cdot 10^4$
Rond de uitkomst af op het juiste aantal significante cijfers. Houd bij de afronding rekening met het eerstvolgende significante cijfer.	Je moet op drie significante cijfers afronden. Het vierde significante cijfer is een 4. Hierdoor blijft het derde significante cijfer een 6.	$1{,}26 \cdot 10^4$

Tabel 1.8

Voor de berekening van de oppervlakte van de tafel geldt daarom:
$A = \ell \times b = 153{,}3 \times 82{,}5 = 12\,647{,}25\ \text{cm}^2 = 1{,}26 \cdot 10^4\ \text{cm}^2$

Voorbeeld 2
Je wilt de metingen $\ell_1 = 3{,}3$ cm, $\ell_2 = 5$ dm, $\ell_3 = 1{,}64$ m bij elkaar optellen. Dan ga je eerst de meetwaarden naar eenzelfde lengte-eenheid omrekenen zonder gebruik te maken van machten van tien. Kies daarbij de grootste eenheid die voorkomt.
In dit geval meter. Tabel 1.9 laat zien hoe je het juiste aantal cijfers achter de komma bepaalt.

Actie	Toelichting	Antwoord
Zet elke meetwaarde om in meter en bepaal dan pas het aantal cijfers achter de komma.	$\ell_1 = 3{,}3\ \text{cm} = 0{,}033\ \text{m}$	3
	$\ell_2 = 5\ \text{dm} = 0{,}5\ \text{m}$	1
	$\ell_3 = 1{,}64\ \text{m} = 1{,}64\ \text{m}$	2
Bepaal het kleinste aantal cijfers achter de komma.		1
Bereken de uitkomst.		2,173
Rond de uitkomst af op het juiste aantal cijfers achter de komma. Houd bij de afronding rekening met het eerstvolgende cijfer achter de komma.	Je moet afronden op één cijfer achter de komma. Het tweede cijfer is een 7. Hierdoor wordt het eerste cijfer achter de komma een 2.	2,2

Tabel 1.9

Voor de totale lengte geldt daarom:
$0{,}033 + 0{,}5 + 1{,}64 = 2{,}173\ \text{m} = 2{,}2\ \text{m}$

Opmerking
Bij optellen en aftrekken van meetwaarden kan het aantal significante cijfers anders worden dan in de oorspronkelijke gegevens.
62,8 m + 57,2 m = 120,0 m (en niet 120 m).
62,8 m − 57,2 m = 5,6 m (en niet 5,60 m).

Rekenen met telwaarden en constanten

Voor de **omtrek van een cirkel** geldt:

$$O = 2\pi r$$

- r is de straal in meter.

Het getal 2 in de formule noem je een **telwaarde**. Een telwaarde heeft een oneindige nauwkeurigheid. Daarom doet een telwaarde niet mee bij het bepalen van het aantal significante cijfers in een uitkomst. Gebruik je de π-toets op je rekenmachine, dan heeft **constante** π een groot aantal significante cijfers. Is de straal van een cirkel 3,52 m, dan noteer je de uitkomst van de omtrek dus in drie significante cijfers:
$O = 2\pi r = 2\pi \times 3{,}52 = 22{,}1168123 = 22{,}1$ m.

De afstand van een marathon is 42 km en 195 m. Dit is één meting. Het getal 42 is in deze situatie een telwaarde. Er geldt $42 \times 1000 = 42\,000$ m. De afstand is dus $42\,000 + 195 = 42\,195$ meter. Het aantal significante cijfers voor de afstand is dus vijf.

Opmerkingen

1 Heb je in één meting 2 km en 15,4 m gemeten, dan is het getal 2 de telwaarde. De afstand is dan $2 \times 1000{,}0$ m + 15,4 = 2015,4 m. Je ziet dat de nauwkeurigheid van de kilometer is aangepast aan 15,4 m.

2 Omdat je met meetwaarden werkt moet je bij de natuurkunde de uitkomst altijd in decimale getallen noteren. In een uitkomst staan nooit breuken, wortels of symbolen zoals π.

3 In BINAS tabel 7 staan de nauwkeurige waarden van enkele natuurconstanten.

Opgaven

18 In figuur 1.13 zie je een deel van een maatglas.
De schaalverdeling is in mL.

a Lees het volume van de vloeistof af.

b Noteer het volume met de meetonzekerheid.

Figuur 1.13

19 Hieronder staat een aantal meetwaarden.
Uit hoeveel significante cijfers bestaat elke meetwaarde?

a 43,27 cm

b 5,30 m

c 0,086 V

d $6{,}1 \cdot 10^3$ °C

e $0{,}400 \cdot 10^{-2}$ s

f 2 uur, 5 min en 28 s

20 De getallen in deze opgave stellen meetwaarden voor. De eenheden zijn weggelaten. Voer de berekeningen uit en noteer de uitkomsten in het juiste aantal significante cijfers.

a $2{,}37 \times 3{,}42$

b $6{,}70 \times 0{,}35$

c $6{,}60 + 2{,}48 \cdot 10^{-1}$

d $\dfrac{39{,}67}{14{,}7}$

e $76{,}58 + 23{,}4$

f $5{,}30 \cdot 10^{-1} - 8{,}5 \cdot 10^{-2}$

g $173{,}45 - 82{,}6$

h $\dfrac{0{,}48}{1{,}258}$

21 Reken om en vermeld de uitkomst in de wetenschappelijke notatie.

a 0,0045 g = ______ mg

b 456,0 L = ______ m^3

c 0,567 N cm^{-2} = ______ N m^{-2}

d $6{,}24 \cdot 10^3$ m s^{-1} = ______ km h^{-1}

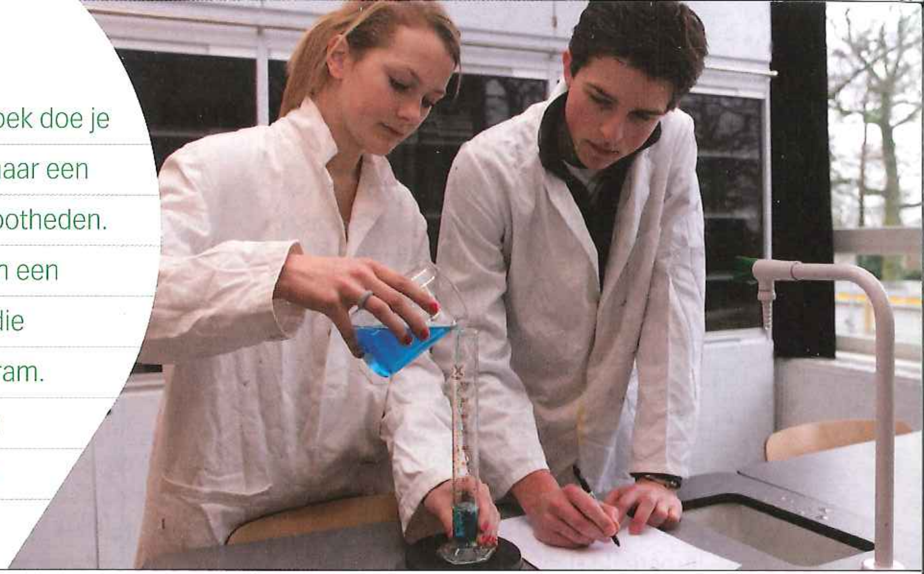
22 Van een blok hout zijn de afmetingen bepaald: $\ell = 24{,}2$ cm, $b = 6{,}8$ cm en $h = 3{,}2$ cm. De massa van het blok is 311,3 g.

a Laat zien dat het volume van het blok gelijk is aan $5{,}3 \cdot 10^2$ cm^3.

b Bereken de dichtheid van het hout in kg m^{-3}.

c Van welke houtsoort is het blok gemaakt? Licht je antwoord toe.

Bij natuurkundig onderzoek doe je metingen. Vaak zoek je naar een verband tussen twee grootheden. Je noteert de metingen in een tabel. Vervolgens zet je die metingen uit in een diagram. Aan welke eisen moeten tabellen en diagrammen voldoen?



Figuur 1.14

1.5 Van meting naar diagram

Tabel met meetwaarden

▶ **practicum** Dichtheid van vurenhout

Je onderzoekt het verband tussen de massa en het volume van een vloeistof. Zie figuur 1.14. Je doet vloeistof in een maatglas, leest het volume af en meet de massa van het maatglas met vloeistof. De meetresultaten van je onderzoek staan in tabel 1.10. De vorm van deze tabel voldoet aan een aantal eisen. Dit noem je de **standaardvorm van een tabel**:

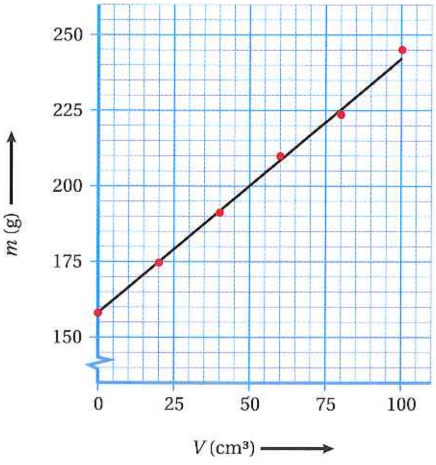
- De meetwaarden van een grootheid staan in kolommen.
- In de eerste kolom zet je de meetwaarden van de grootheid die jij verandert. Deze waarden staan in een logische volgorde, bijvoorbeeld oplopend.
- De bovenste rij van de tabel heet de kop van de tabel. In de kop staan boven elke kolom de grootheid en eenheid waarin de meetwaarde is uitgedrukt.
- In een kolom staat altijd hetzelfde aantal cijfers achter de komma. Nullen mag je niet weglaten.

Volume (cm^3)	Massa maatglas met vloeistof (g)
0,0	158,0
20,1	174,8
40,3	191,1
60,0	209,8
79,9	223,6
100,1	244,9

Tabel 1.10

Van tabel naar diagram

Om het wiskundige verband tussen de meetresultaten te kunnen zien, maak je van de meetwaarden een diagram.
Je kunt een diagram tekenen op papier, maar het kan ook met je rekenmachine of met de computer. Een veelgebruikt computerprogramma is Excel.
In figuur 1.15a staat het diagram van de meetwaarden die in tabel 1.10 zijn verzameld. Het diagram noem je een (m,V)-diagram. De eerstgenoemde grootheid staat dan langs de verticale as. Het totaal van assenstelsel, bijschriften, meetpunten en lijn door de meetpunten noem je een diagram. De vloeiende lijn door de meetpunten heet de grafieklijn of kortweg de grafiek.



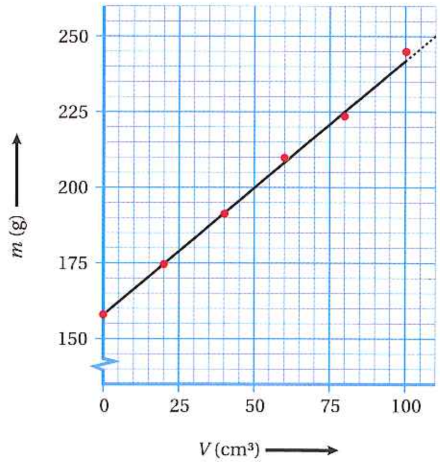
Figuur 1.15a

De vorm van het diagram voldoet aan een aantal eisen.
Dit noem je de **standaardvorm van een diagram**:

- De assen staan loodrecht op elkaar.
- Langs de horizontale as staat de grootheid die je verandert.
- Langs de verticale as staat de grootheid die je meet.
- Bij de assen staat bij een pijltje de grootheid die is uitgezet.
  De eenheid staat er tussen haakjes achter.
- Langs elke as breng je een schaalverdeling aan. De schaalverdeling begint in de meeste gevallen bij nul. De schaalverdeling kies je zodanig dat de grafieklijn het hele diagram vult. Begint een schaalverdeling niet bij nul, dan geef je de **asonderbreking** aan met een —\/—. Zie figuur 1.15a.
- Om ervoor te zorgen dat je punten op de grafieklijn gemakkelijk kunt aflezen, kies je per schaaldeel voor stapjes van 1, 2, 4 of 5, eventueel vermenigvuldigd met een macht van tien.
- Elk getallenpaar in de tabel geef je in het diagram weer als meetpunt.
  Zorg ervoor dat het meetpunt zichtbaar blijft als je er een lijn doorheen tekent.
- Je tekent een vloeiende lijn die zo goed mogelijk het verband tussen de meetpunten weergeeft. Door toevallige fouten in een meting liggen meestal niet alle punten op de grafieklijn. Zorg er dan voor dat er evenveel punten boven de grafieklijn liggen als eronder.

Aflezen in een diagram

Niet de meetpunten zelf, maar de grafieklijn laat het gemeten verband tussen de twee grootheden zien.
In figuur 1.15b moet je bij een volume van 60 cm^3 een massa van 208 g **aflezen** en niet de gemeten waarde 209,8 g.
Er is geen meting verricht bij $V = 50{,}0$ cm^3. Met behulp van de grafieklijn kun je wel de bijbehorende massa aflezen: 200 g. Het bepalen van een tussenliggende waarde noem je **interpoleren**.
Wil je weten wat de massa bij een volume van 110,0 cm^3 is, dan moet je de grafieklijn verlengen. Zie figuur 1.15b.
Je leest dan af 250 g. Dit noem je **extrapoleren**.



Figuur 1.15b

Lineair verband

De grafiek in figuur 1.15b is een rechte lijn. Het verband tussen massa en volume is dan lineair.
Volgens de wiskunde geldt voor een **lineair verband**: $y = a \cdot x + b$. Hierin zijn y en x variabelen en is a de richtingscoëfficiënt. Als je y vervangt door de massa m en x door het volume V, dan krijg je $m = a \cdot V + b$.
In de natuurkunde noem je de constante a een evenredigheidsconstante. Dat de lijn niet door de oorsprong gaat, komt doordat het maatglas is meegewogen. Je kunt zien dat de massa van het maatglas 158 g is. Dus b is hier de massa van het maatglas.

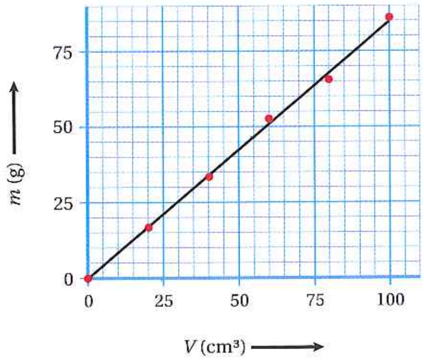
Recht evenredig verband

In tabel 1.11 is de massa van de vloeistof in de derde kolom gezet. Zet je de massa van de vloeistof uit tegen het volume, dan krijg je het (m,V)-diagram van figuur 1.16. De lijn gaat door de oorsprong van het assenstelsel, het punt (0,0). Je ziet dat bij een drie keer zo groot volume ook de massa drie keer zo groot is.

Als je de ene grootheid n keer zo groot maakt en de andere grootheid wordt ook n keer zo groot, dan vormen die grootheden een **recht evenredig verband** met elkaar. Zet je die twee grootheden in een diagram tegen elkaar uit, dan krijg je een bijzonder lineair verband namelijk een rechte lijn door de oorsprong. In figuur 1.16 is de massa dus recht evenredig met het volume.

Volume (cm^3)	Massa maatglas met vloeistof (g)	Massa vloeistof (g)
0,0	158,0	0,0
20,1	174,8	16,8
40,3	191,1	33,1
60,0	209,8	51,8
79,9	223,6	65,6
100,1	244,9	86,9

Tabel 1.11



Figuur 1.16

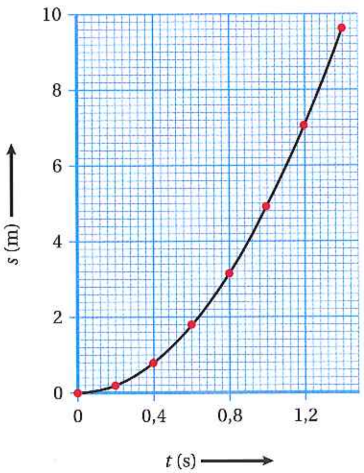
Volgens de wiskunde geldt voor een rechte lijn door de oorsprong de functie $y = a \cdot x$. Hierin zijn y en x variabelen en is a de richtingscoëfficiënt. Als je y vervangt door de massa m en x door het volume V, dan krijg je $m = a \cdot V$.
De evenredigheidsconstante a bepaal je met behulp van de grafieklijn. Kies een geschikt punt op de grafieklijn, zo ver mogelijk van de oorsprong maar wel liggend op de grafieklijn, bijvoorbeeld $V = 100$ cm^3 en $m = 85$ g. Invullen in $m = a \cdot V$ levert dan $85 = a \cdot 100$. Daaruit volgt $a = 0{,}85$. De eenheid van a leid je af uit de eenheden van 85 en 100. Er geldt:

$$a = \frac{85}{100} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0{,}85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Aan de eenheid van de evenredigheidsconstante zie je dat de constante de dichtheid ρ van de stof is. De formule wordt dan $m = \rho \cdot V$.

Kwadratisch evenredig verband

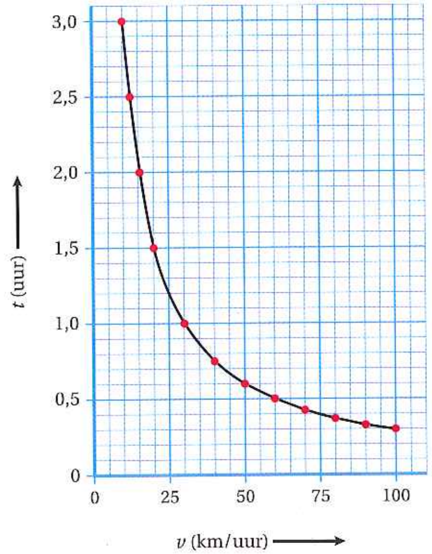
Als je de ene grootheid n keer zo groot maakt en de andere grootheid wordt n^2 keer zo groot, dan vormen die grootheden een **kwadratisch evenredig verband**. Volgens de wiskunde geldt voor zo'n verband $y = a \cdot x^2$.
In figuur 1.17 zie je het verband tussen de valafstand s en de valtijd t. De valafstand is kwadratisch evenredig met de valtijd. Ga na dat voor de grafieklijn geldt $s = 4{,}9t^2$.



Figuur 1.17

Omgekeerd evenredig verband

In het (t,v)-diagram van figuur 1.18 staat de tijdsduur die nodig is om bij een bepaalde snelheid een afstand van 30 km af te leggen. Bij een snelheid van 10 km/h heb je 3 uur nodig om 30 km af te leggen, bij een snelheid van 40 km/h is dat 0,75 uur. Door de snelheid vier keer zo groot te maken, wordt de benodigde tijd een vierde keer zo groot oftewel vier keer zo klein.
Als je de ene grootheid n keer zo groot maakt en de andere grootheid wordt $\frac{1}{n}$ keer zo groot (oftewel n keer zo klein), dan vormen die groot-heden een **omgekeerd evenredig verband** met elkaar.
In figuur 1.18 is de tijd dus omgekeerd evenredig met de snelheid.
Volgens de wiskunde geldt voor een omgekeerd evenredig verband de functie



Figuur 1.18

$y = a \cdot \frac{1}{x}$. Hierin zijn y en x variabelen en a is een constante. Als je nu y vervangt door de tijd t en x door de snelheid v, dan verandert de formule in $t = a \cdot \frac{1}{v}$.
De constante vind je door twee getallen op de grafieklijn met elkaar te vermenigvuldigen. In dit voorbeeld is $a = v \cdot t$. Met $t = 1$ h en $v = 30$ km/h is a gelijk aan 1 h × 30 km/h = 30 km.
De constante a is dus de afstand s. De formule wordt dan $s = v \cdot t$.

Omgekeerd kwadratisch evenredig verband

Als je de ene grootheid n keer zo groot maakt en de andere grootheid wordt $\frac{1}{n^2}$ keer zo groot (ofwel n^2 keer zo klein), dan vormen die grootheden een **omgekeerd kwadratisch evenredig verband**. Volgens de wiskunde geldt $y = a \cdot \frac{1}{x^2}$.

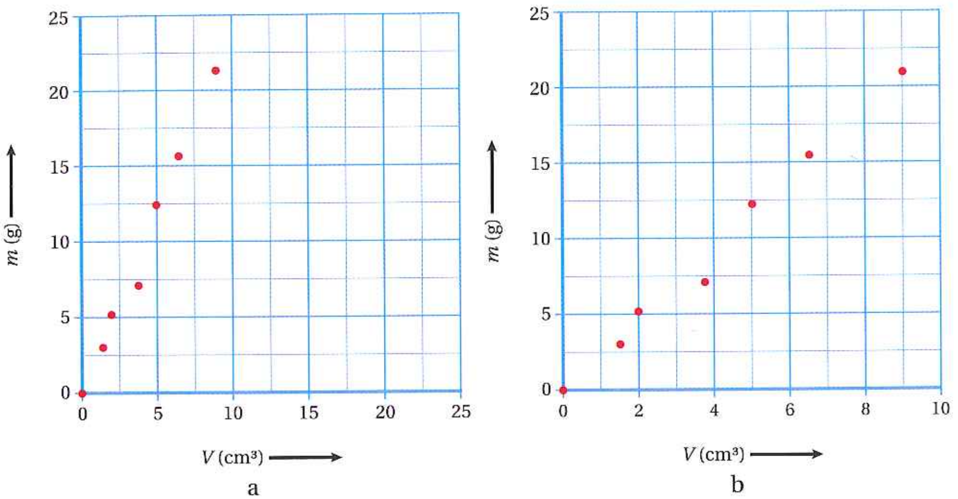
Opgaven

23 Nina en Birgit hebben de massa en het volume van verschillende blokjes marmer op twee manieren in een diagram uitgezet. Zie figuur 1.19. Ze keuren het diagram van figuur 1.19a af, omdat dit niet volledig voldoet aan de standaardvorm van een diagram.

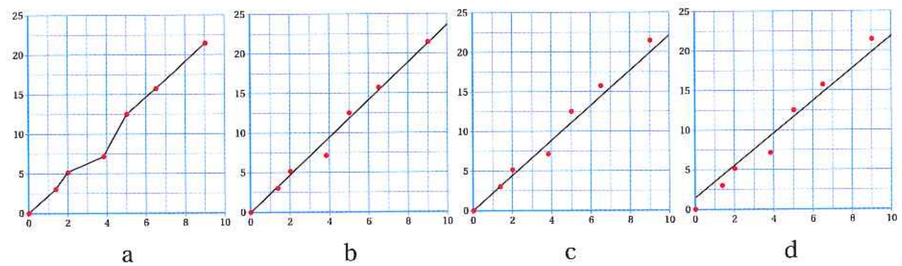
a Aan welke regel van de standaardvorm voldoet diagram 1.19a niet?

Nina en Birgit zijn het er niet over eens hoe in figuur 1.19b de grafieklijn loopt. Ze zien vier mogelijkheden. Deze staan in figuur 1.20.

b Geef van elke mogelijkheid aan of deze goed of fout is. Licht je antwoord toe.



Figuur 1.19



Figuur 1.20

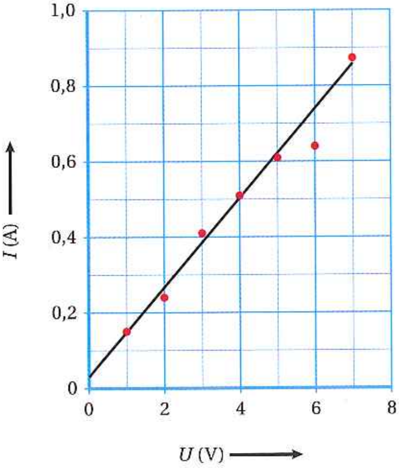
24 Om de waarde van een ohmse weerstand te bepalen zet Patrick de stroomsterkte uit als functie van de spanning. Het resultaat staat in figuur 1.21. Patrick weet dat bij een ohmse weerstand de grafiek in het (U,I)-diagram een rechte lijn door het punt (0, 0) moet zijn. Licht bij de volgende vragen steeds je antwoord toe.

a Leg uit dat de getekende grafieklijn het verband tussen stroomsterkte en spanning goed weergeeft.

b Is er bij de meting een systematische fout gemaakt?

c Is er bij de meting een toevallige fout gemaakt?

d Is er bij de meting een afleesfout gemaakt?



Figuur 1.21

25 Mona heeft bij een bepaalde uitrekking *u* van de veer de bijbehorende trekkracht *F* gemeten. De resultaten van Mona staan in tabel 1.12.

a Zet de resultaten uit in een diagram.
b Bepaal de trekkracht op de veer bij een uitrekking van 5,0 cm.
c Laat zien dat het verband tussen de trekkracht en de uitrekking recht evenredig is.

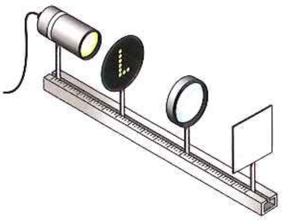
Het wiskundig verband tussen de trekkracht en de bijbehorende uitrekking is: $F = C \cdot u$.

d Bepaal de evenredigheidsconstante *C*.

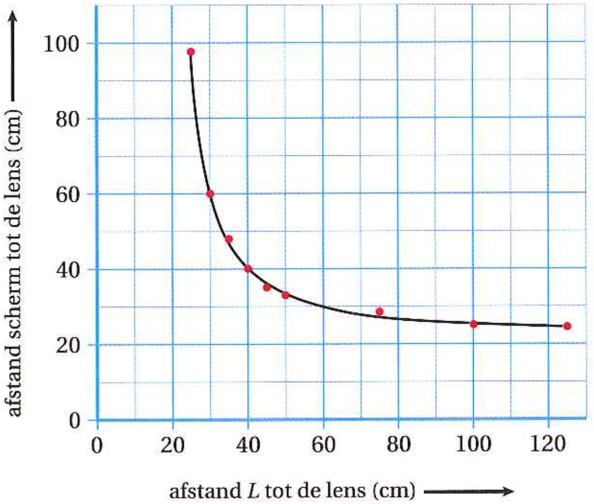
u (cm)	*F* (N)
0,0	0,0
1,4	0,5
3,6	1,1
5,1	1,8
6,6	2,2
7,5	2,4
8,8	2,9
9,9	3,3

Tabel 1.12

26 In figuur 1.22 staat een opstelling voor een lichtproef. Owen verschuift de letter L en de lens telkens zo, dat er een scherp beeld op het scherm te zien is. Hij meet steeds de afstand van de letter L tot de lens en de afstand van het scherm tot de lens. De resultaten staan in het diagram van figuur 1.23.
Toon aan of het verband tussen de afstand van L tot de lens en de afstand van het scherm tot de lens omgekeerd evenredig is.

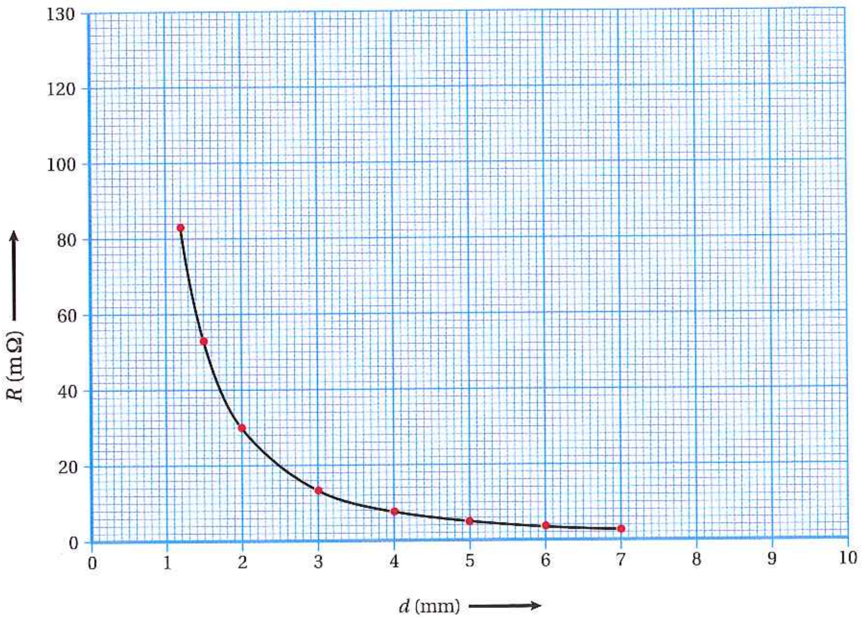


Figuur 1.22



Figuur 1.23

▶ werkblad 27 Ymke heeft het verband onderzocht tussen de weerstand R van een koperdraad en de doorsnede A van die koperdraad. De resultaten staan in het diagram van figuur 1.24.



Figuur 1.24

a Laat zien dat de weerstand R omgekeerd kwadratisch evenredig is met de diameter d.

b Bereken de weerstand B bij een diameter van 8,0 mm.

c Bereken de weerstand C bij een diameter van 1,0 mm.

Je kunt de grootte van de weerstanden B en C ook grafisch bepalen door de grafieklijn te extrapoleren. Je bepaalt de uiterste waarden door te kijken op welke manieren je de lijn kunt doortrekken. Voor weerstand B kom je dan uit op een waarde tussen 1 mΩ en 3 mΩ. Weerstand B is dan het gemiddelde van deze twee waarden.
De meetonzekerheid bij weerstand B is het verschil tussen het gemiddelde en een uiterste waarde. De meetonzekerheid voor weerstand B is dus 1 mΩ.
Hieronder staan vier mogelijke meetonzekerheden voor weerstand C.

I 0,2 mΩ

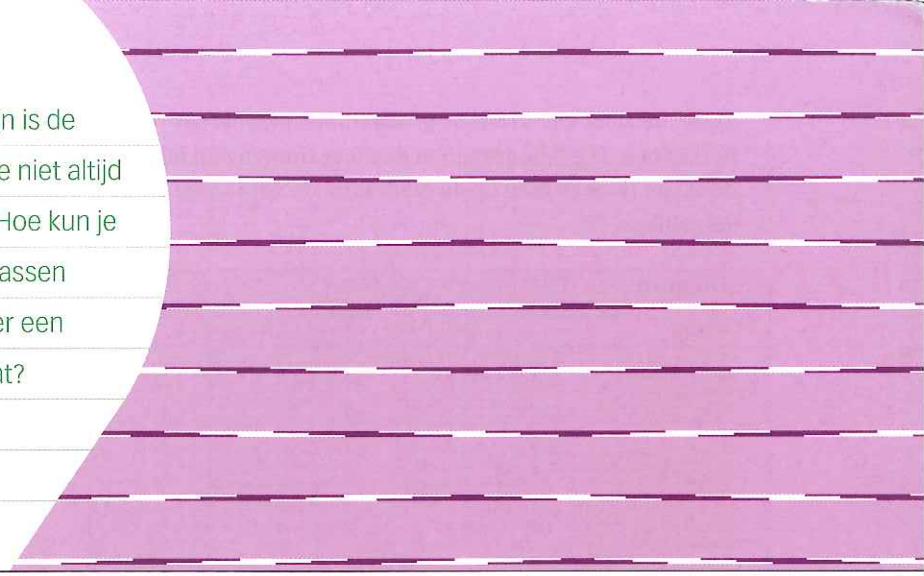
II 1,0 mΩ

III 2 mΩ

IV 0,01 mΩ

d Leg uit welke van de vier meetonzekerheden hoort bij weerstand C.

Bij een kromme grafieklijn is de evenredigheidsconstante niet altijd gemakkelijk te bepalen. Hoe kun je de grootheden langs de assen zodanig aanpassen dat er een rechte grafieklijn ontstaat?



Figuur 1.25

1.6 Diagrammen: van kromme naar rechte

Wortelverband

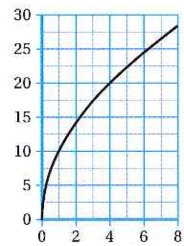
In paragraaf 1.5 staat: Als je de ene grootheid n keer zo groot maakt en de andere grootheid wordt n^2 keer zo groot, dan vormen die grootheden een kwadratisch evenredig verband. Hierbij hoort de functie $y = a \cdot x^2$.

Het volgende lijkt hetzelfde maar is dat niet. Als je de ene grootheid n^2 keer zo groot maakt en de andere grootheid wordt n keer zo groot, dan vormen die grootheden een **wortelverband**. Volgens de wiskunde geldt: $y = a \cdot \sqrt{x}$.

In figuur 1.26 vormen x en y een wortelverband. Dit komt door de volgende afspraak.

Als je het verband tussen twee grootheden bepaalt, dan verander je altijd de grootheid op de horizontale as om te zien wat de gevolgen zijn voor de grootheid op de verticale as.

Daarom is het verband in figuur 1.26 een wortelverband en het verband in figuur 1.17 een kwadratisch evenredig verband.



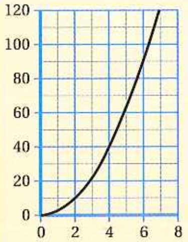
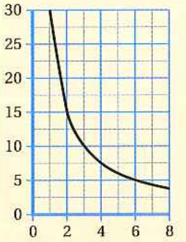
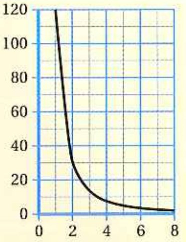
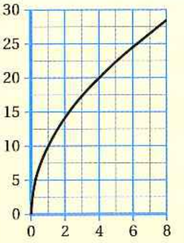
Figuur 1.26

Van een kromme naar een rechte lijn

▶ **practicum**
Kantelende lineaal

Je onderzoekt bij natuurkunde vaak welk verband er bestaat tussen twee grootheden. De grafieklijn in een diagram geeft het verband overzichtelijk weer. Is de grafieklijn een rechte lijn, dan herken je meteen een lineair verband of een recht evenredig verband.

Maar ook voor vier kromme grafieklijnen moet je het verband tussen de grootheden herkennen. Die lijnen staan in de diagrammen van tabel 1.13. Een verband leid je af door van twee punten op de grafieklijn de x-waarden en de y-waarden met elkaar te vergelijken.

Diagram	 a	 b	 c	 d
x-waarde	$2\times$ zo groot	$2\times$ zo groot	$2\times$ zo groot	$4\times$ zo groot
y-waarde	$4\times$ zo groot	$2\times$ zo klein	$4\times$ zo klein	$2\times$ zo groot
Verband	kwadratisch evenredig verband	omgekeerd evenredig verband	omgekeerd kwadratisch evenredig verband	wortelverband
Functie	$y = ax^2$	$y = \frac{a}{x}$	$y = \frac{a}{x^2}$	$y = a\sqrt{x}$
Aanpassing	$x \rightarrow x^2$	$x \rightarrow \frac{1}{x}$	$x \rightarrow \frac{1}{x^2}$	$x \rightarrow \sqrt{x}$

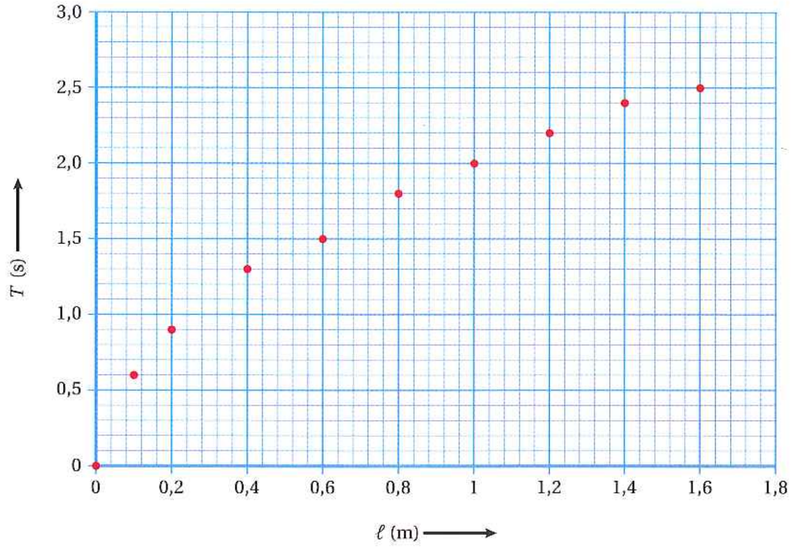
Tabel 1.13

Je kunt de evenredigheidsconstante a bepalen door van elk gemeten punt de coördinaten in de erbij behorende formule in te vullen en de uitkomsten daarvan te middelen.
Je kunt de evenredigheidsconstante ook grafisch bepalen. Bij een rechte grafieklijn kies je een punt op de rechte zo ver mogelijk van de oorsprong. De coördinaten van dat punt vul je in de erbij behorende formule in en je berekent vervolgens de evenredigheidsconstante. Dan hoef je niet meerdere punten te nemen omdat je bij het tekenen van de grafieklijn al rekening houdt met toevallige fouten.
Bij een kromme grafieklijn is het veel moelijker om de juiste grafieklijn te tekenen. Ook is niet meteen duidelijk welk punt je op de kromme moet kiezen om een zo nauwkeurig mogelijke uitkomst te krijgen. Door bij een diagram met een kromme grafieklijn de grootheid langs de horizontale as aan te passen, kun je een diagram met een rechte grafieklijn krijgen. In tabel 1.13 staat in de laatste rij wat de aanpassing is bij een bepaald verband.

Voorbeeld
Cyrinthe wil het verband onderzoeken tussen de slingerlengte ℓ en de slingertijd T. Haar resultaten staan in tabel 1.14 en in figuur 1.27. Tabel 1.15 laat zien hoe je van de meetresultaten een diagram met een rechte grafieklijn maakt.

ℓ (m)	T (s)
0	0
0,10	0,6
0,20	0,9
0,40	1,3
0,60	1,5
0,80	1,8
1,00	2,0
1,20	2,2
1,40	2,4
1,60	2,5

Tabel 1.14



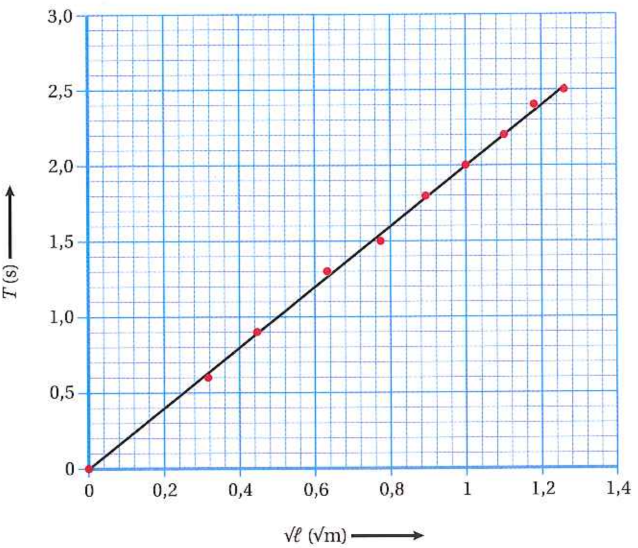
Figuur 1.27

Actie	Toelichting	Antwoord
Bepaal het verband tussen de twee grootheden	ℓ 4 × zo groot; T 2 × zo groot	$T = a \cdot \sqrt{\ell}$
Vergelijk het gevonden verband met de formule voor een rechte lijn.	$T = a \cdot \sqrt{\ell}$ $y = a \cdot x$	Voor y kun je invullen T Voor x kun je invullen $\sqrt{\ell}$
Vul de tabel aan met een kolom met nieuwe x- waarden	$\sqrt{\ell}$ wordt de nieuwe x-waarde De eenheid is dan $\sqrt{\text{m}}$	Zie tabel 1.16
Zet de nieuwe x-waarden uit tegen de oorspronkelijke y-waarden		Zie figuur 1.28

Tabel 1.15

slinger-lengte (m)	slin-ger-tijd (s)	$\sqrt{\ell}$ ($\sqrt{m}$)
0	0	0
0,10	0,6	0,32
0,20	0,9	0,45
0,40	1,3	0,63
0,60	1,5	0,77
0,80	1,8	0,89
1,00	2,0	1,00
1,20	2,2	1,10
1,40	2,4	1,18
1,60	2,5	1,26

Tabel 1.16



Figuur 1.28

De evenredigheidsconstante a bepaal je door een geschikt punt op de grafieklijn te kiezen ver van de oorsprong. Bijvoorbeeld als $\sqrt{\ell}$ gelijk is aan 1,20 $\sqrt{m}$ dan is T gelijk aan 2,40 s. Invullen in de formule $T = a \cdot \sqrt{\ell}$ levert dan $2{,}40 = a \cdot 1{,}20$. Daaruit volgt $a = 2{,}0$. De eenheid van a leid je af uit de eenheden van 2,40 en 1,20.

$$a = \frac{2{,}4}{1{,}2}\ \frac{\mathrm{s}}{\sqrt{\mathrm{m}}} = 2{,}0\ \frac{\mathrm{s}}{\sqrt{\mathrm{m}}}$$

Opgaven

28 Voor een gas geldt onder bepaalde omstandigheden de wet van Boyle:

$$p \cdot V = c$$

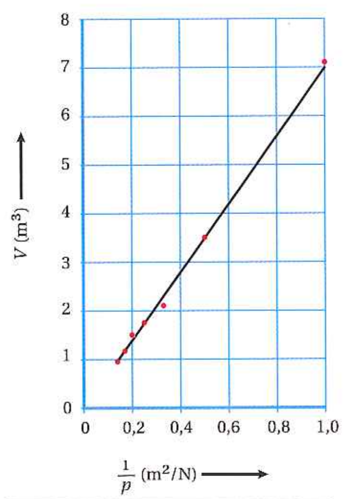
- p is de druk van het gas in N/m^2.
- V is het volume van het gas in m^3.
- c is een constante.

In het diagram van figuur 1.29 is V uitgezet tegen $\frac{1}{p}$.

a Leid af wat de eenheid is van de constante c.

b Bepaal de waarde van c.

c Bepaal je dezelfde waarde van c als je p uitzet tegen $\frac{1}{V}$? Licht je antwoord toe.



Figuur 1.29

29 Freija hangt een blokje aan een veer. Vervolgens trekt ze het blokje een klein stukje naar beneden en laat deze los. Het blokje gaat op en neer bewegen.
De trillingstijd T is de tijdsduur om van de laagste stand naar de hoogste stand en weer terug naar de laagste stand te gaan. Freija meet de trillingstijd bij verschillende massa's van het blokje. Haar resultaten staan in tabel 1.17.
Tussen de trillingstijd en de massa bestaat een wortelverband.

a Laat zien dat de metingen bij 0,100 kg en 0,400 kg het wortelverband ondersteunen.
b Zet de resultaten zo uit in een diagram dat de grafieklijn een rechte is.
c Bepaal met behulp van je diagram de evenredigheidsconstante.

m (10^{-3} kg)	T (s)
50	0,35
100	0,50
150	0,61
200	0,70
250	0,79
300	0,86
350	0,93
400	0,99

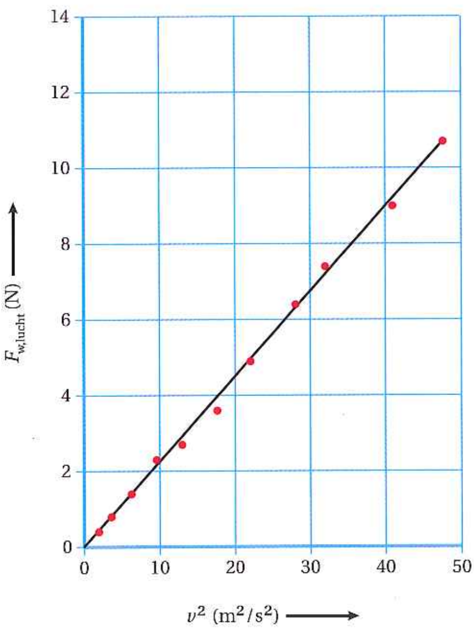
Tabel 1.17

30 Als je fietst, ondervind je een tegenwerkende kracht van de lucht. Die kracht heet de luchtweerstandskracht $F_{\text{w,lucht}}$. Voor de luchtweerstandskracht geldt:

$$F_{\text{w,lucht}} = c_{\text{w}} \cdot A \cdot v^2$$

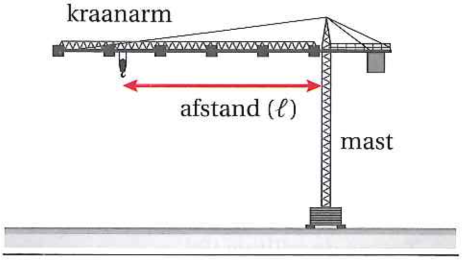
- $F_{\text{w,lucht}}$ is de luchtweerstandskracht in N.
- c_{w} is een constante.
- A is de frontale oppervlakte in m².
- v is de snelheid in m/s.

In figuur 1.30 staat het diagram van de luchtweerstandskracht als functie van de snelheid in het kwadraat. De frontale oppervlakte van deze fietser is 0, 40 m².
Bepaal met behulp van het diagram de constante c_{w}.

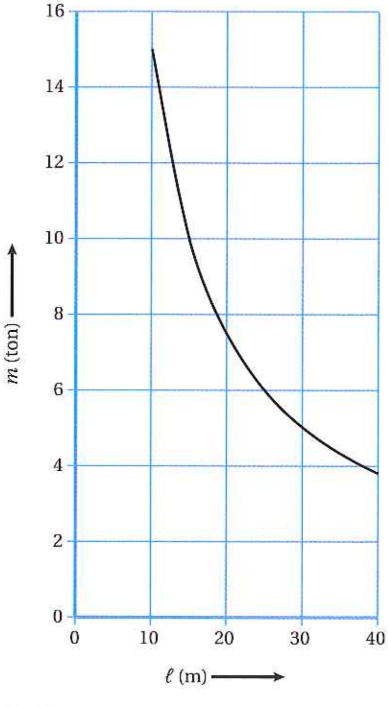


Figuur 1.30

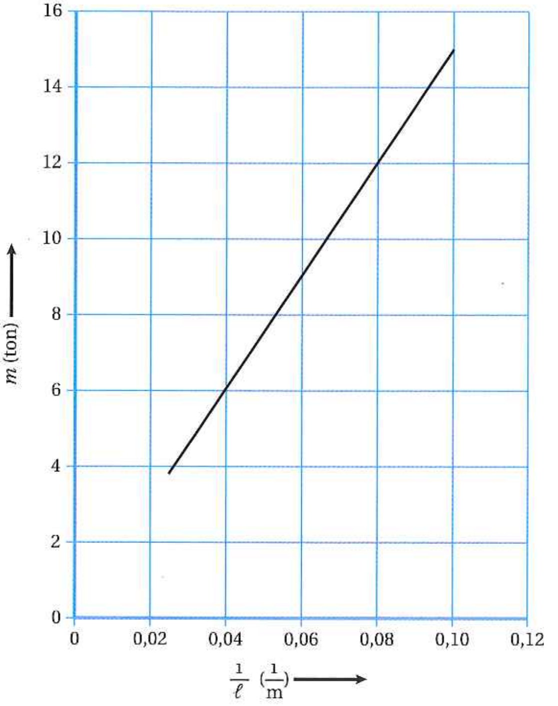
31 Op een bouwplaats zie je soms een torenkraan om zware voorwerpen te verplaatsen. De torenkraan bestaat uit een mast en een kraanarm. Zie figuur 1.31. Op de kraanarm van deze torenkraan geven bordjes de afstand tot de mast aan. Bij elke afstand tot de mast hoort een maximale massa die door de torenkraan kan worden verplaatst. In de figuren 1.32 en 1.33 staan twee diagrammen die horen bij torenkraan A.



Figuur 1.31



Figuur 1.32



Figuur 1.33

a Laat met een voorbeeld zien dat de twee diagrammen dezelfde resultaten weergeven.

De maximale lengte van de kraanarm die gebruikt kan worden is 50,0 m.

b Leg uit met welk diagram je het best de maximale massa bij 50,0 m kunt bepalen.

Voor een torenkraan B geldt:

$$\textit{maximale massa} = \frac{338}{\textit{afstand tot de mast}}.$$

Hierin is 338 de evenredigheidsconstante uitgedrukt in ton.

c Is de evenredigheidsconstante van torenkraan B groter of kleiner dan die van torenkraan A? Licht je antwoord toe.

32 Als een auto hard remt, ontstaan remsporen. Bij ongelukken kan de politie uit de lengte van het remspoor afleiden hoe hard de auto heeft gereden.
De snelheid waarmee een auto gereden heeft, wordt berekend met de formule

$$v = 3{,}2\sqrt{x_{rem}}$$

- v is de snelheid in m/s.
- x_{rem} is remspoor in m.

Een auto heeft een remspoor achtergelaten van 80 meter.

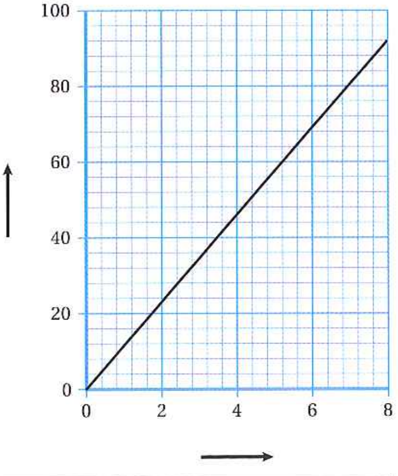
a Laat met een berekening zien dat deze auto 103 km/uur reed.

Boy vindt het handiger om de snelheid af te lezen in een diagram. Hij heeft daarom een diagram gemaakt waarin het verband een rechte grafieklijn is. Zie figuur 1.34.

b Leg uit wat op de x-as en wat op de y-as is uitgezet.

Bij een nat wegdek is het remspoor 1,4 keer zo lang. Dan moet de formule worden aangepast.

c Stel de formule op voor het verband tussen de snelheid en het remspoor bij een nat wegdek.



Figuur 1.34

Je schoolcarrière sluit je af met een landelijk examen. In de examenvragen van natuurkunde kom je werkwoorden tegen waaruit je kunt afleiden hoe je een vraag moet beantwoorden.
Welke werkwoorden zijn dat?

Figuur 1.35

1.7 Examenbepalingen

Bij het nakijken van een antwoord op een vraag houdt je docent rekening met de betekenis van bepaalde woorden die in de vraag staan. Is er bijvoorbeeld een opdracht waarbij je een berekening moet maken, dan krijg je alleen het volledig aantal punten als je een berekening hebt gegeven bij de uitkomst.

Bereken

Je gaat de vraag beantwoorden in de vorm van een berekening. De gegevens staan in de opgave en/of in BINAS. Je mag niet alleen de uitkomst van de berekening geven. Je moet ook laten zien welke (denk)stappen je hebt gezet, welke formules of principes je hebt toegepast en welke gegevens je daarbij hebt gebruikt.

Bepaal

Je gaat de vraag beantwoorden door gebruik te maken van gegevens in grafieken of figuren of door het maken van een constructie. Ook nu mag je niet alleen de uitkomst geven. Je moet aangeven hoe je aan die gegevens bent gekomen. Voer je met de gegevens een berekening uit, dan geldt ook wat er bij 'Bereken' staat.

Construeer

Je gaat de opgave beantwoorden in de vorm van een tekening of een diagram. De tekening moet precies kloppen met de waarden. Je gebruikt hierbij een geodriehoek en/of een passer. Je laat zien welke (denk)stappen je hebt gezet, welke formules of principes je hebt toegepast en welke gegevens je daarbij hebt gebruikt.

Teken

Je gaat de opgave beantwoorden in de vorm van een tekening of een diagram. De tekening moet precies kloppen met de waarden, maar je hoeft niet te laten zien hoe je aan het antwoord bent gekomen.

Schets

Je gaat de opgave beantwoorden in de vorm van een tekening of een diagram. De nauwkeurigheid is van minder belang, maar de bedoeling van de tekening moet wel duidelijk zijn. Ook bij een schets hoef je niet te laten zien hoe je aan het antwoord bent gekomen.

Beredeneer, leg uit

Je gaat de opgave beantwoorden in de vorm van een verhaaltje. Je moet laten zien welke stappen je hebt gezet, welke formules of principes je hebt toegepast en welke gegevens je daarbij hebt gebruikt.

Noem, geef (aan), wat, welke, wanneer, hoeveel

Je geeft alleen het antwoord, tenzij erbij vermeld staat: 'Licht .... toe'. Dan moet je aangeven hoe je aan je antwoord bent gekomen.

Leid af

Je gaat de vraag beantwoorden met behulp van wiskundige bewerkingen. Moet je een formule afleiden dan is een getallenvoorbeeld of een eenheden-beschouwing geen afleiding.

Toon aan of / laat zien of

Je laat aan de hand van een berekening of redenering zien *of* iets correct is. Je laat zien welke (denk)stappen je hebt gezet, welke formules of principes je hebt toegepast en welke gegevens je daarbij hebt gebruikt. In je antwoord moet de conclusie staan.

Toon aan dat / laat zien dat

Je laat aan de hand van een berekening of redenering zien *dat* een gegeven waarde en/of bewering correct is. Je laat zien welke (denk)stappen je hebt gezet, welke formules of principes je hebt toegepast en welke gegevens je daarbij hebt gebruikt. Nu is een conclusie echter niet nodig.

Schat

Je geeft de waarde van een grootheid aan, zonder deze exact te bepalen. Je kunt niet volstaan met alleen het geven van de uitkomst van de schatting. Uit je antwoord moet duidelijk blijken welke (denk)stappen je hebt gezet, welke formules of principes je hebt toegepast en welke gegevens je daarbij hebt gebruikt.

Opgaven

▶ hulpblad

33 Op de foto in figuur 1.36 zie je een molen. Schat de hoogte vanaf de grond tot de bovenkant van het dak van de molen. Geef het antwoord in twee significante cijfers.

Figuur 1.36

34 Er zijn drie werkwoorden die te maken hebben met het maken van een figuur: construeer, teken en schets.
Beatrix hangt aan een elastiek een massa van 10 g. De lengte van het elastiek is dan 15,2 cm. Vervolgens hangt zij een massa van 50 g erbij en meet weer de lengte. Dit doet zij vier keer. Zie tabel 1.18.

a Schets het verband tussen de lengte van het elastiek en de massa aan het elastiek.

b Teken het verband tussen de lengte van het elastiek en de massa aan het elastiek. Licht je antwoord toe.

Massa (g)	Lengte van het elastiek (cm)
10	15,2
60	17,7
110	19,7
160	21,3
210	22,5

Tabel 1.18

35 In figuur 1.37 is een cd verkleind weergegeven. Op het gekleurde gedeelte tussen de zwarte banden bevindt zich het spoor.
De aftasting van het spoor gebeurt met een constante snelheid van 1,3 m/s.
Voor de snelheid geldt:

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

- R is de straal van de doorlopen cirkel in m.
- T is de tijd voor het doorlopen van een rondje in s.

Figuur 1.37

Het afspelen van de cd gebeurt van binnen naar buiten.
Beredeneer of de tijd voor een rondje tijdens het afspelen toeneemt, afneemt, dan wel gelijk blijft.

36 Xavier vult een glazen cilinder met 2,5 L water. Het grondvlak is een cirkel met binnendiameter 10,4 cm.

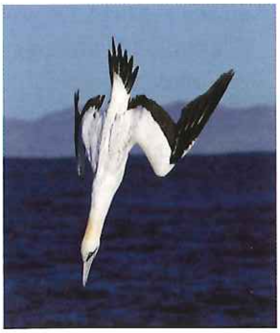
a Toon aan dat de oppervlakte van de cirkel gelijk is aan 84,9 cm^2.

b Bereken de hoogte van het water in de cilinder.

37 De jan-van-gent is de grootste zeevogel van het Noordzeegebied. Zie figuur 1.38. Hij leeft van vis, die hij vangt door middel van een duik vanuit de lucht. De ene keer laat hij zich vallen en de andere keer doet hij een krachtige vleugelslag tijdens de val. Laat hij zich alleen maar vallen, dan geldt voor het verband tussen de snelheid en valhoogte:

$$v^2 = 19{,}6h$$

- v is de snelheid in m/s.
- h is de hoogte in m.



Figuur 1.38

Bij een duik vanaf 30 m hoogte komt een jan-van-gent met een snelheid van ruim 100 km/h in het water terecht.

a Laat zien of deze jan-van-gent tijdens het duiken een vleugelslag heeft gemaakt.

Het getal 19,6 is een constante.

b Leid de eenheid van deze constante af.

38 Rien rijdt in een auto met een snelheid van 50 km/h. Plotseling ziet hij een bal de weg oprollen en gaat remmen. Voor de stopafstand van deze auto geldt:

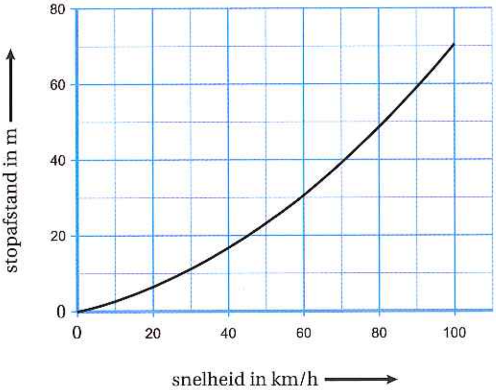
$$s = 0{,}06v^2 + 0{,}8v$$

- s is de stopafstand in m.
- v is de snelheid in m/s.

Voor snelheden van 0 tot 100 km/h staat de stopafstand in het diagram van figuur 1.39.

a Bepaal de stopafstand bij een snelheid van 50 km/h. Geef je antwoord in twee significante cijfers.

b Bereken de stopafstand bij een snelheid van 120 km/h. Geef je antwoord in twee significante cijfers.



Figuur 1.39

1.8 Afsluiting

Samenvatting

Grootheid is een eigenschap die je kunt meten. Je drukt de grootheid uit in een getal en een eenheid. De grootheden en bijbehorende eenheden zijn vastgelegd in het SI. Een eenheid van een grootheid kun je afleiden uit een formule waarin deze grootheid voorkomt.

Meetwaarden noteer je vaak in de wetenschappelijke notatie: een getal met voor de komma slechts één cijfer ongelijk aan nul en een macht van tien. Staat een meetwaarde in de wetenschappelijke notatie, dan zie je vrij snel de orde van grootte. Voor het rekenen met machten van tien geldt een aantal rekenregels. Deze rekenregels gelden ook voor machten van eenheden.
In plaats van een macht van tien voor een eenheid kun je ook een voorvoegsel gebruiken.

In iedere meting zit een meetonzekerheid. Die ontstaat door toevallige fouten, systematische fouten en/of afleesfouten. De nauwkeurigheid van een meting zie je aan het aantal significante cijfers.
Bij het vermenigvuldigen en delen van meetwaarden houd je rekening met het kleinste aantal significante cijfers.
Bij optellen en aftrekken kijk je naar het kleinste aantal aantal cijfers achter de komma.

Voor het maken van tabellen en diagrammen zijn standaardvormen afgesproken. Diagrammen lees je af op de grafieklijn. Hierbij gebruik je interpoleren en extrapoleren.

Een verband tussen twee grootheden is lineair als de grafieklijn een rechte lijn is. Gaat de rechte lijn door het punt (0,0) dan is het verband recht evenredig. Als de ene grootheid n keer zo groot wordt, dan wordt de andere grootheid ook n keer zo groot.
Een verband tussen twee grootheden is kwadratisch evenredig als de ene grootheid n keer zo groot wordt en de andere wordt n^2 keer zo groot.
Een verband tussen twee grootheden is omgekeerd evenredig als de ene grootheid n keer zo groot wordt en de andere wordt $\frac{1}{n}$ keer zo groot oftewel n keer zo klein.
Een verband tussen twee grootheden is omgekeerd kwadratisch evenredig als de ene grootheid n keer zo wordt en de andere wordt $\frac{1}{n^2}$ keer zo groot ofwel n^2 keer zo klein.
Een verband tussen twee grootheden is een wortelverband als de ene grootheid n keer zo groot wordt en de andere $\sqrt{n}$ keer zo groot.
Is een grafieklijn een kromme lijn dan kun je met behulp van een coördinatentransformatie van zo'n lijn een rechte maken.

In (examen)vragen staan werkwoorden met een speciale betekenis. Die geven aan op welke manier je de vraag moet beantwoorden.

Gegevens die betrekking hebben op dit hoofdstuk

De formules die in dit hoofdstuk besproken zijn, staan hieronder bij elkaar.

snelheid	$s = v \cdot t$
dichtheid	$\rho = \frac{m}{V}$
omtrek cirkel	$O = 2\pi r$
oppervlakte cirkel	$A = \pi r^2 = \frac{1}{4}\pi d^2$
volume bol	$V = \frac{4}{3}\pi r^3$
balk	$V = \ell \cdot b \cdot h$
cilinder	$V = \pi r^2 \cdot h = \frac{1}{4}\pi d^2 \cdot h$
lineair verband	$y = a \cdot x + b$
recht evenredig verband	$y = a \cdot x$
kwadratisch evenredig verband	$y = a \cdot x^2$
omgekeerd evenredig verband	$y = a \cdot \frac{1}{x}$
omgekeerd kwadratisch evenredig verband	$y = a \cdot \frac{1}{x^2}$
wortelverband	$y = a \cdot \sqrt{x} = a \cdot x^{\frac{1}{2}}$

Een deel van de formules kun je terugvinden in BINAS tabel 35 C Vloeistoffen, gassen en warmteleer en tabel 36 Wiskundeformules.
In de tabellen 1 t/m 7 staan veel gegevens die betrekking hebben op de onderwerpen in dit hoofdstuk. In de tabellen 8 t/m 12 staat een overzicht van de eigenschappen van verschillende stoffen.

Opgaven

39 Je hebt twee voltmeters. Elke meter heeft een maximaal meetbereik van 200 V.
Op voltmeter 1 staat de meetonzekerheid '3% full scale'. Dit betekent dat de meetonzekerheid bij elke meting 3% van 200 V is.
Op voltmeter 2 staat dat de meetonzekerheid '5% reading' is. Dit betekent dat de meetonzekerheid gelijk is aan 5% van de afgelezen waarde.
Je leest op beide voltmeters de meetwaarde 72,4 V af.

a Toon aan dat de meetonzekerheid bij gebruik van voltmeter 2 gelijk is aan 4 V.

De meetwaarde bij voltmeter 2 moet je dan noteren met 72 ± 4 V. Een fout noteer je maar in één cijfer.

b Noteer de meetwaarde bij gebruik van voltmeter 1.

De spanning van een blokbatterij is 9 V.

c Welke meter moet je kiezen om de meetonzekerheid zo klein mogelijk te houden? Licht je antwoord toe.

d Bij welke spanning is de meetonzekerheid bij beide meters gelijk? Licht je antwoord toe.

▶ hulpblad werkblad

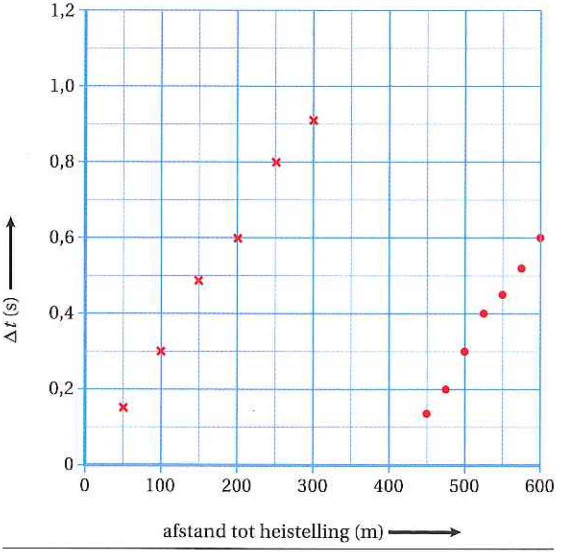
40 Aan de rand van een stad is men bezig om met een heistelling heipalen de grond in te slaan. Wende en Nick bemerken dat zij eerder het heiblok op de heipaal zien vallen dan dat ze de bijbehorende klap horen. Dat komt doordat de lichtsnelheid ongeveer een miljoen keer groter is dan de geluidssnelheid. Wende en Nick meten hoe groot het tijdsverschil is op verschillende afstanden van de heistelling. De afstand meten ze met een meetwiel. Zie figuur 1.41. De diameter van het meetwiel is 32,0 cm.

Figuur 1.40

a Bereken de omtrek van het meetwiel in meter.

Nick staat op 600 m afstand en loopt naar de heistelling toe. Wende begint bij de heistelling en loopt van de heistelling af. De resultaten van hun metingen staan in het diagram van figuur 1.42. De resultaten van Wende zijn weergegeven met een × en die van Nick met een •.

Figuur 1.41



Figuur 1.42

b Bepaal met behulp van de resultaten van Wende de snelheid van het geluid in lucht.

Nick en Wende lopen allebei verder. Op een bepaald tijdstip horen ze een klap en tegelijkertijd zien ze dat het heiblok op de heipaal neerkomt.

c Toon aan met behulp van de resultaten van Nick dat zij dan op 400 m van de heistelling staan.

d Bepaal met de grafieklijn van Wende hoeveel tijd er verloopt tussen twee opeenvolgende slagen van het blok op de heipaal.