

1 Meten en rekenen

1.0 Overzicht

1.1 Kennis van de natuur

- Wat is natuurkunde?
- Waaraan moet een natuurkundige theorie voldoen?
- Hoe wordt natuurwetenschappelijk onderzoek uitgevoerd?
- Hoe zijn natuurkunde en technologie met elkaar verbonden?
- Wanneer is een waarneming objectief en reproduceerbaar?
- Hoe doe je een experiment?
- Hoe schrijf je een verslag?

1.2 Meten is vergelijken

- Wat is een grootte en wat is een eenheid?
- Wat zijn de eenheden van lengte, tijd en massa?
- Wanneer mag je grootheden bij elkaar optellen?
- Wanneer mag je grootheden met elkaar vermenigvuldigen?
- Wanneer heeft een berekening geen eenheid?

1.3 Lengte, oppervlakte en volume

- Wat zijn de eenheden van lengte, oppervlakte en volume?
- Hoe verandert de verhouding tussen lengte, oppervlakte en volume?
- Hoe moet je omrekenen van mm ↔ cm ↔ dm ↔ m?
- Hoe bereken je de oppervlakte en het volume?

1.4 Rekenen met machten van 10

- Hoe moet je hele grote en hele kleine getallen opschrijven?
- Hoe gebruik je machten van 10?
- Wat is de wetenschappelijke notatie?
- Wat zijn de meest gebruikte voorvoegsels?
- Hoe moet je omrekenen van μg ↔ mg ↔ g ↔ kg?

1.5 Significante cijfers

- Waarom zijn significante cijfers belangrijk?
- Wat is een toevallige fout?
- Wat is een systematische fout?
- Hoe tel je het aantal significante cijfers?
- Hoeveel significante cijfers bij vermenigvuldigen en delen?
- Hoeveel significante cijfers bij optellen en aftrekken?
- Hoe bereken je de procentuele meetonzekerheid?

1.1 Kennis van de natuur

Wat is natuurkunde ?

Natuurkunde is de wetenschap die zich richt op de fundamentele eigenschappen van alles wat objectief kan worden waargenomen.

De natuurkunde richt zich op fundamentele eigenschappen van voorwerpen en niet op de eigenschappen van één specifiek voorwerp. Als maar één of enkele mensen iets kunnen waarnemen dan maken deze waarnemingen geen deel uit van de natuurkunde. Deze waarnemingen zijn niet **objectief** maar **subjectief**. Alleen als iets in principe door iedereen kan worden waargenomen, eventueel met de hulp van instrumenten, wordt het onderdeel van de natuurkunde.

Het doel van de natuurkunde is om met zo min mogelijk aannames en zo min mogelijk theorieën zoveel mogelijk verschillende waarnemingen met elkaar in verband te brengen. Een natuurkundige verklaring is **het aanbrengen van verbanden** tussen verschillende soorten waarnemingen.

In de natuurkunde zijn alleen de resultaten van objectieve waarnemingen geldig. Een objectieve waarneming is per definitie waar. Is er geen overeenstemming tussen de waarneming en de heersende theorie of opvatting, dan moet de theorie of opvatting wijken. In de natuurkunde bestaat geen gezag of autoriteit. De status van een persoon, het aantal mensen dat een theorie aanhangt of de tijd waarin een opvatting al bestaat en wordt aanvaard doet in de natuurkunde niet ter zake. Alleen objectief waarneembare uitkomsten van nauwkeurige experimenten zijn feiten waar niemand omheen kan. Een geldige natuurkundige theorie is **in overeenstemming met alle door waarnemingen verkregen feiten** en biedt de mogelijkheid om de uitkomst van nieuwe experimenten met grote nauwkeurigheid correct te **voorspellen**.

Theorie en praktijk

Wil je weten waarom dingen zijn zoals ze zijn dan moet je beginnen met nauwkeurig waarnemen. Goed om je heen kijken. Opmerkzaam zijn. Maar dat is lang niet genoeg, want je komt er vaak snel achter dat de zaken ingewikkelder zijn dan op het eerste gezicht lijkt. Je begint met een **vraag** waar je graag een antwoord op wil. Je hebt een vermoeden of **hypothese**. Om duidelijkheid te krijgen ga je **experimenten** doen. Over de uitkomst van deze experimenten ga je **nadenken**. Je verzint een **theorie** en je bedenkt nieuwe experimenten om te controleren of je theorie klopt met de praktijk. Uiteindelijk kom je tot een **conclusie**. Deze conclusie roept echter een nieuwe vraag op en het hele proces herhaalt zich om het antwoord op de nieuwe vraag te krijgen. Deze cyclus houdt nooit op.

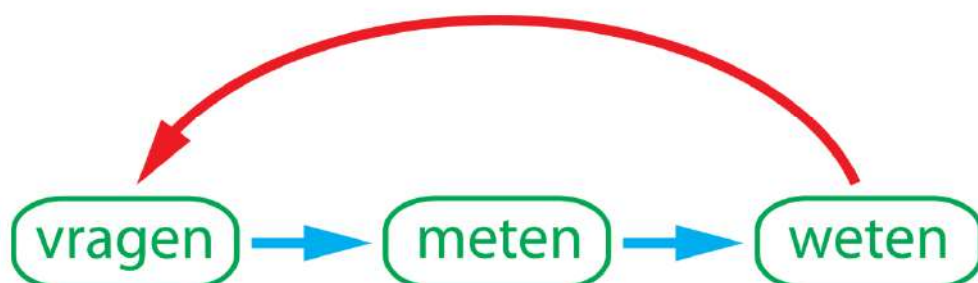
Het toetsen van de theorie aan de praktijk is het allerbelangrijkst. Want hoe logisch of vanzelfsprekend je theorie ook mag lijken, als het niet klopt met de praktijk is het niet geldig. Om te bewijzen dat je theorie echt waar is moet je theorie in overeenstemming zijn met de feiten en de uitkomst van nieuwe experimenten goed kunnen voorspellen. Je theorie moet niet alleen voorspellen **wat** er gebeurt, maar vooral ook **hoeveel** er verandert of hoeveel er van iets aanwezig is.

Als blijkt dat je theorie de uitkomst van nieuwe experimenten niet helemaal goed voorspelt hoeft je theorie niet totaal fout te zijn. Je kunt tot de conclusie komen dat je theorie soms goed is maar niet altijd. Bij de oude experimenten gaf je theorie correcte voorspellingen, maar bij nieuwe experimenten kwamen de voorspellingen niet goed uit. Je gaat daarom een betere theorie ontwikkelen die zowel de oude als de nieuwe waarnemingen kan verklaren. Soms kun je de oude theorie opnemen in je nieuwe theorie als speciaal geval. Lukt dat niet dan moet je een totaal andere theorie bedenken.

Natuurwetenschappelijk onderzoek

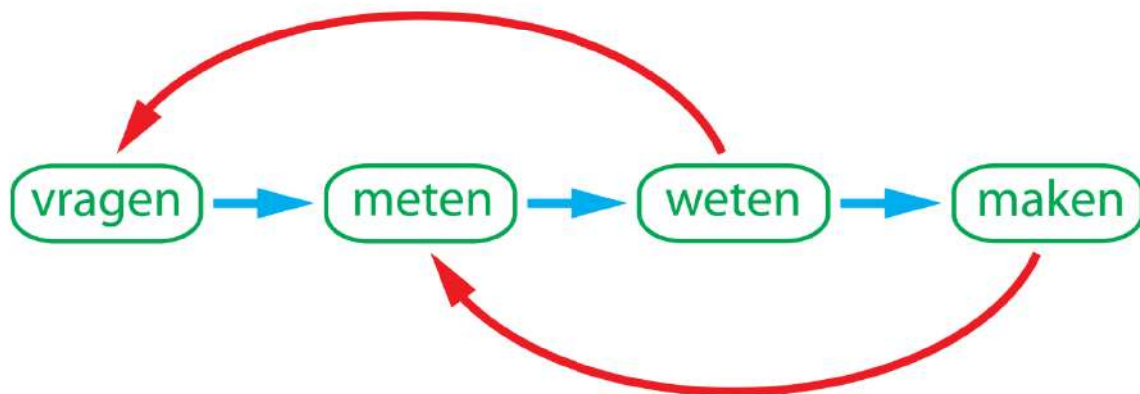
Natuurwetenschappelijk onderzoek begint altijd met een **onderzoeksvraag**. Je bent ergens nieuwsgierig naar en vraagt je af hoe het zit. Je denkt er over na en komt daarbij meestal tot een vermoeden of hypothese. Een **hypothese** is een veronderstelling die je voorlopig als waarheid aanneemt. Met behulp van **experimenten** ga je controleren of je hypothese klopt. In de natuurkunde hebben de **resultaten** van goed uitgevoerde experimenten altijd het laatste woord. Dat zijn de feiten. Over de resultaten van je experimenten ga je goed nadenken. Je voert met jezelf of met anderen een **discussie** waarin je de resultaten van alle kanten bekijkt. Je moet immers controleren of de resultaten overeenstemmen met de theoretische voorspellingen. Uiteindelijk kom je tot een **conclusie**. Zijn de experimenten succesvol dan heb je een antwoord gekregen op je onderzoeksvraag en weet je of je hypothese waar is of niet.

Het hierboven beschreven proces van **vragen** → **meten** → **weten** is in figuur 1 schematisch uitgebeeld. De rode pijl terug van weten naar vragen maakt dat het proces niet stopt. Er komen steeds weer nieuwe vragen.



Figuur 1 Van vragen, via meten tot weten.

De vragen die door het onderzoek worden opgeroepen zijn steeds moeilijker. Om het antwoord op de nieuwe vragen te vinden zijn ingewikkelde experimenten nodig. Vandaar dat aan het bovenstaande schema nog iets ontbreekt. Uit het weten komen namelijk niet alleen nieuwe vragen voort maar ook nieuwe technologie. Doordat je meer weet kun je betere instrumenten **maken** waarmee je moeilijkere experimenten kunt doen. We moeten daarom een tweede lus aan het schema toevoegen en komen dan tot figuur 2.



Figuur 2 Weten roept nieuwe vragen op en brengt nieuwe technologie voort.

Figuur 2 laat zien dat het wetenschappelijk proces een dubbele spiraal is. Er ontstaat steeds meer kennis die nieuwe vragen oproept. En er ontstaat nieuwe technologie, waarmee de apparatuur wordt gemaakt die nodig is om de nieuwe vragen te beantwoorden.

Waarnemen

Je zintuigen zijn niet geschikt om te bepalen hoeveel er aanwezig is of hoeveel er verandert. Stel dat je de temperatuur wilt weten van het water uit een kraan. Om er achter te komen laat je het water over je hand stromen. Vriest het buiten en heb je daardoor ijskoude handen gekregen, dan concludeer je dat de temperatuur van het water hoog is. Maar als je net een warme douche hebt genomen concludeer je dat het water uit deze kraan een lage temperatuur heeft. Je waarneming is dus niet **betrouwbaar**. Wat je nodig hebt is een meetinstrument. Met een thermometer kun je meten hoeveel graden het water is. Het maakt dan niet meer uit of je het toevallig koud of warm hebt. Het maakt ook niet uit of jij de meting doet of iemand anders. Je waarneming is nu **objectief** geworden. Iedereen die hetzelfde experiment uitvoert vindt hetzelfde resultaat. Verder kan jij of iemand anders het experiment net zo vaak herhalen als je wilt, als het goed is steeds krijg je steeds hetzelfde antwoord.

Een waarneming is objectief als iedereen dezelfde waarneming kan doen.

Een waarneming is reproduceerbaar als iedereen het kan herhalen.

Natuurkundigen zijn meestal pas tevreden als ze weten hoeveel er van iets is of hoeveel er verandert. De uitspraak: "deze stok is lang" bevat geen enkele informatie en is daarom waardeloos. Een uitspraak als: "deze stok is langer dan die stok" bevat wel informatie maar meestal is een natuurkundige hier niet tevreden mee. Een natuurkundige wil weten dat de ene stok bijvoorbeeld 2,68 keer zo lang is als de andere stok.

Experiment en verslag

Een experiment pak je altijd op dezelfde manier aan. Van ieder experiment maak je een verslag. Daarbij houd je altijd dezelfde volgorde aan. In deze werkwijze is er een belangrijk onderscheid tussen **feiten** en **meningen**. De feiten uit het onderzoek heet het **resultaat**; jouw mening hierover schrijf je op als **bespreking**.

feit	=	resultaat van een experiment
mening	=	bespreking van wat je hebt waargenomen

Hier is het schema zoals je te werk moet gaan bij het doen van een experiment en het schrijven van een verslag.

– Onderzoeksvraag –

- Begin met een onderzoeksvraag: wat wil je weten?

– Hypothese –

- Schrijf op van welke veronderstelling je voorlopig uitgaat.

– Werkplan –

Materialen

- Maak een lijst met speciale spullen die je nodig hebt.

Methode

- Verzin een experiment waarbij je ervoor zorgt dat je alles onder controle hebt.
- Verander stapsgewijs één ding; alle andere omstandigheden moeten precies hetzelfde blijven.
- Tijdens het experiment let je goed op wat er gebeurt.
- Richt al je aandacht op wat er verandert en hoeveel het verandert.

– Resultaat –

- Het resultaat is de uitkomst van het experiment.
- Ook al snap je er niets van, het resultaat zijn de feiten die je moet accepteren.

– Bespreking –

- Wat valt je op bij het resultaat?
- Ga na of het op dingen lijkt die je eerder gezien hebt.
- Zit er samenhang (een patroon) in de resultaten en zo ja wat dan?
- Denk na of je er misschien iets van begrijpt.

– Conclusie –

- Hoe zit het volgens jou?
- Wat is het antwoord op de onderzoeksvraag?
- Is je hypothese waar of niet waar?

Natuurkunde en technologie

Natuurkundige ontdekkingen leiden vaak tot technische vooruitgang. Nieuwe of verbeterde producten, gebruiksvoorwerpen of meetinstrumenten kunnen dan worden gemaakt. Vaak is de wens om technologische vooruitgang te bereiken de drijvende kracht om natuurkundig onderzoek te gaan doen. Maar het gebeurt ook dat natuurkundige kennis pas na tientallen jaren, honderden jaren of helemaal nooit technische vooruitgang oplevert. Het is niet te voorspellen welke consequenties nieuwe natuurkundige inzichten zullen krijgen. Het is daarom maar beter om je er niet te druk over te maken. Net als Aristoteles al schreef: "Het is naar weten dat alle mensen van nature streven." Natuurkunde doe je voor je plezier. Omdat je nieuwsgierig bent en wilt weten waarom de dingen zijn zoals ze zijn.

Bij natuurkunde wordt iedereen uitgenodigd om mee te gaan op ontdekkingsreis. Je zult versteld staan over hoeveel er inmiddels bekend is. Af en toe kom je in aanraking met de randen van de huidige kennis. Lang niet alles is bekend, en dat maakt je ontdekkingsreis alleen maar spannender.

1.2 Meten is vergelijken

Als je wilt weten hoe de wereld in elkaar zit moet je gaan meten. Maar wat is meten eigenlijk? Eerst moet je gaan nadenken over wat je eigenlijk wilt meten. Bijvoorbeeld de lengte of het gewicht. Dat wat je kunt meten noemen we een **grootheid**.

Nu je weet wat je wilt meten moet je afspreken waarmee je het gaat vergelijken. Stel je wilt weten hoe lang je tafel is dan ga je eerst een liniaal maken met streepjes erop. De afstand tussen de streepjes moet steeds hetzelfde zijn. Deze vaste afstand noemen we de **eenheid**. Daarna houd je je liniaal langs de tafel en lees je af hoeveel streepjes er op passen. Dat aantal schrijf je op.

grootheid	is	iets wat je kunt meten
eenheid	is	de maat waarmee je het vergelijkt

Gelukkig hoef je niet steeds zelf te verzinnen hoever de streepjes uit elkaar moeten staan. Ongeveer 200 jaar geleden zijn er afspraken gemaakt over standaard-eenheden waaraan iedereen zich nu houdt.

Lengte

De standardeenheid van lengte is de meter. Dat is ongeveer de grootte van een stap. Omdat de stapgrootte van ieder mens anders is hebben we afgesproken de omtrek van de aarde in 40 miljoen gelijke stukjes te verdelen en dat als standaard-eenheid van lengte te gaan gebruiken. Tweehonderd jaar geleden is een platina-iridium staaf precies op de juiste lengte afgezaagd. Deze staaf heeft lange tijd gefundeerd als de meter. Nu wordt deze staaf niet meer gebruikt en staat hij in een museum in Sèvres vlakbij Parijs.



Figuur 3
De staaf die ooit als
standaardmeter is gebruikt.

VROEGER:

Eén meter is $1/10.000.000$ deel van de meridiaan door Parijs tussen de Noordpool en de evenaar.

NU:

Eén meter is de afstand die licht in vacuüm aflegt in $1 / 299792458$ seconde.

Tijd

De standaardeenheid van tijd is de seconde. De aarde draait iedere dag een rondje om haar as. Lang geleden is afgesproken dat een dag wordt verdeeld in 24 uur. Een uur heeft 60 minuten en een minuut heeft 60 seconden. De aarde heeft dus $24 \times 60 \times 60 = 86400$ seconden nodig om een rondje om haar as te maken.

VROEGER:

Eén seconde is $1 / 86400$ deel van de tijd die de aarde nodig heeft om één rondje om haar as te maken.

NU:

Eén seconde is 9.192.631.770 keer de trillingstijd van straling afkomstig van het cesium-133 atoom.

Massa

De standaardeenheid van massa is het kilogram. Een kilogram is net zoveel materie als één liter water bij een temperatuur van vier graden Celsius. Tweehonderd jaar geleden is een platina-iridium blokje precies groot genoeg gemaakt en dit blokje fungeert nog steeds als standaard kilogram.



Figuur 4
Het kilogram.

VROEGER:

Eén kilogram is evenveel materie als één liter water bij een temperatuur van vier graden celcius.

NU:

Eén kilogram is evenveel materie als het standaard platina-iridium blokje bevat.

SI eenheden

In 1960 is het internationale SI systeem (Système International d'Unités) ontwikkeld. Het SI systeem bevat zeven basisgrootheden met bijbehorende eenheid. Hiermee kunnen alle waarneembare grootheden worden gemeten.

Tabel 2 De SI basisgrootheden met hun eenheid

basisgrootheid	symbool	basiseenheid	symbool
lengte	l	meter	m
tijd	t	seconde	s
massa	m	kilogram	kg
temperatuur	T	kelvin	K
stroomsterkte	I	ampère	A
lichtsterkte	I _v	candela	cd
hoeveelheid stof	n	mol	mol

Optellen en aftrekken van grootheden

Verschillende grootheden mag je nooit bij elkaar optellen of van elkaar aftrekken.

Gelijke grootheden mag je alleen optellen of aftrekken als ze dezelfde eenheid hebben.

VOORBEELD

Je hebt een massa van 48 kg en je bent 1,6 m lang.

Bereken je gewicht plus je lengte.

- je gewicht plus je lengte is 49,6 maar ...

- dat is ook zo als je 47 kg weegt en 2,6 m lang bent →
- 49,6 kg+m geeft geen informatie →
- gewicht plus lengte heeft geen natuurkundige betekenis

VOORBEELD

Je been is 1 m lang en je arm is 60 cm lang.

Bereken de lengte van je been plus je arm.

- je been is 1 m lang = 100 cm
- je arm = 60 cm lang →
- de lengte van je been en je arm samen = 160 cm →
- 160 cm = 1,6 m

Vermenigvuldigen en delen van grootheden

Grootheden mag je altijd met elkaar vermenigvuldigen of op elkaar delen.

VOORBEELD verschillende grootheden op elkaar delen

- je legt 100 km af in 2 uur
- je gemiddelde snelheid is $100 / 2 = 50$ kilometer per uur (km / h)
- je weegt 48 kg en je bent 1,6 m lang →
- je lichaam weegt gemiddeld $48 / 1,6 = 30$ kilogram per meter (kg / m)

VOORBEELD dezelfde grootheden met elkaar vermenigvuldigen

- oppervlakte is lengte × lengte: $m \cdot m = m^2$
- volume is lengte × lengte × lengte: $m \cdot m \cdot m = m^3$

VOORBEELD dezelfde grootheden op elkaar delen

- de oppervlakte gedeeld door een lengte is een lengte:
 $(m \cdot m) / m = m^2 / m = m^1$
- het volume gedeeld door de oppervlakte is een lengte:
 $(m \cdot m \cdot m) / (m \cdot m) = m^3 / m^2 = m^1$

Getallen zonder eenheid

In de natuurkunde komt het soms voor dat je een getal gebruikt zonder een eenheid te noemen. Dat mag alleen als je twee keer eenzelfde soort meting uitvoert en de resultaten op elkaar deelt. Het antwoord is dan een **verhouding**.

Deel je grootheden met dezelfde eenheid op elkaar dan is het antwoord een verhouding zonder eenheid.

VOORBEELD

Je wilt weten hoe vaak de lengte van je duim (0,05 m) past op de lengte van je arm (0,8 m).

- verhouding : $0,8 / 0,05 = 16$ **geen eenheid**

VOORBEELD het getal π (pi)

Je wilt weten hoe vaak de diameter van een cirkel past op de omtrek.

- omtrek / diameter = $\pi = 3,14159265358979 \dots$ **geen eenheid**

1.3 Lengte, oppervlakte en volume

We leven in een 3-dimensionale ruimte want er zijn drie richtingen waarin je kunt bewegen: van voor naar achter, van links naar rechts en van boven naar onder.

Van een voorwerp, zoals een kist, kun je de lengte, de breedte en de hoogte meten. Neem een kist van 3 m lang, 2 m breed en 1 m hoog. De kist heeft een **oppervlakte** van $2 \cdot (3 \cdot 1) + 2 \cdot (2 \cdot 1) + 2 \cdot (3 \cdot 2) = 6 + 4 + 12 = 22$ m keer m. De kist heeft een **inhoud (= volume)** van $3 \cdot 2 \cdot 1 = 6$ m keer m keer m.

Het is natuurlijk onhandig om steeds "m keer m" of "m keer m keer m" te moeten zeggen. Vandaar de volgende afspraak.

lengte	m	=	m	=	meter
oppervlakte	m · m	=	m²	=	vierkante meter
volume	m · m · m	=	m³	=	kubieke meter

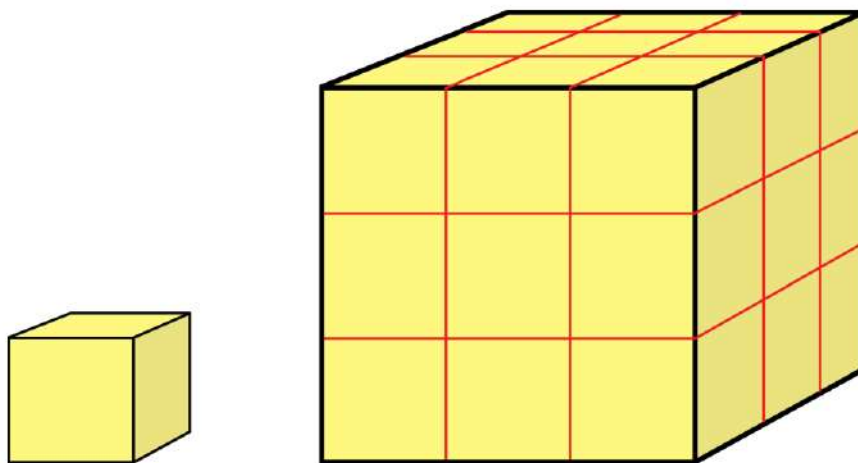
Verhouding tussen lengte, oppervlakte en volume

De kist van daarnet kun je twee keer zo groot maken. Hij wordt dan 6 m lang, 4 meter breed en 2 m hoog. De oppervlakte was eerst 22 m² maar is nu $2 \cdot (6 \cdot 2) + 2 \cdot (4 \cdot 2) + 2 \cdot (6 \cdot 4) = 24 + 16 + 48 = 88$ m² geworden. Niet twee maar vier keer zoveel oppervlakte als eerst. Het volume was 6 m³ maar is nu $6 \cdot 4 \cdot 2 = 48$ m³ geworden. Niet twee maar acht keer zoveel volume als eerst.

De verhouding tussen lengte, oppervlakte en volume verandert als je een voorwerp groter of kleiner maakt.

Om dit verder te onderzoeken gaan we een kleine kubus vergelijken met een kubus die drie keer zo groot is. De lengte, breedte en diepte maken we drie keer zo groot en we gaan uitrekenen hoeveel groter de oppervlakte en het volume wordt. We vinden:

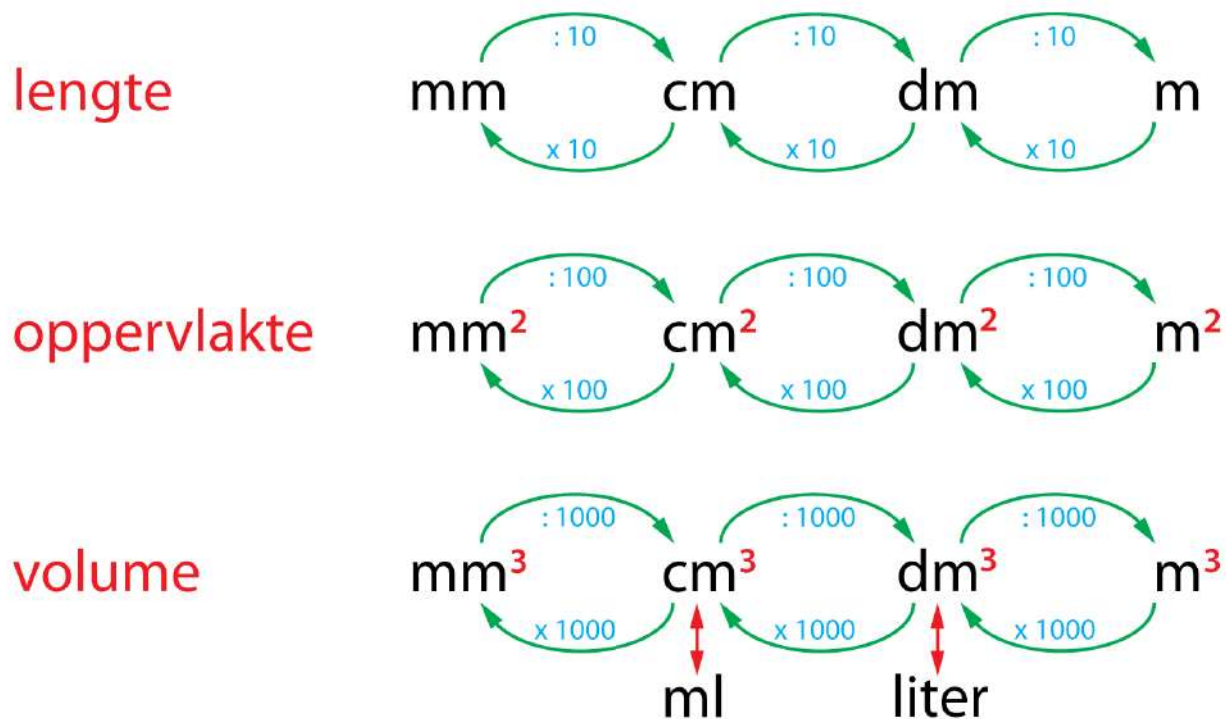
- de lengte van de kubus wordt 3 keer zo groot →
- de oppervlakte van de kubus wordt 3 keer 3 = 9 keer zo groot →
- het volume van de kubus wordt 3 keer 3 keer 3 = 27 keer zo groot



Figuur 5 De lengte, breedte en diepte van een kubus worden drie keer zo groot. De oppervlakte wordt hierdoor 9 keer zo groot en het volume 27 keer zo groot.

lengte	wordt $\times$	keer groter
oppervlakte	wordt $\times^2$	keer groter
volume	wordt $\times^3$	keer groter

Hieronder zie je een schema voor het omrekenen van lengte, oppervlakte en volume.



Figuur 6 Omrekenen van lengte, oppervlakte en volume.

Als je iets gaat bouwen moet je rekening houden met de verhouding tussen lengte, oppervlakte en volume. Heb je een apparaat dat goed werkt en wil je een grotere versie, dat wil zeggen dezelfde vorm maar met alle afmetingen bijvoorbeeld 5 keer zo groot, dan kan het zijn dat het vergrote apparaat niet meer werkt. Door alle afmetingen 5 keer zo groot te maken is het volume $5 \cdot 5 \cdot 5 = 125$ keer groter geworden. De inhoud is dus veel meer toegenomen dan de lengte of het oppervlak.

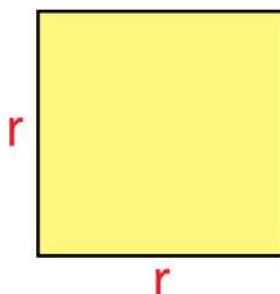
Insecten zijn klein en kunnen niet zo groot worden als een olifant, want daar is hun lichaam niet op gebouwd. De pootjes van de mug zouden het enorme lijf niet kunnen dragen. Vliegen is al helemaal ondenkbaar. Stel we maken alle afmetingen van een mug 100 keer zo groot, dan wordt zijn vleugeloppervlak 10.000 keer zo groot maar zijn gewicht wordt 1.000.000 zo groot. Ten opzichte van het gewicht is het vleugeloppervlak 100 keer zo klein geworden, zodat de reuzen-mug niet kan vliegen.



Figuur 7 Een mug en een olifant zien er heel anders uit omdat de verhouding tussen de oppervlakte en hun volume heel anders is.

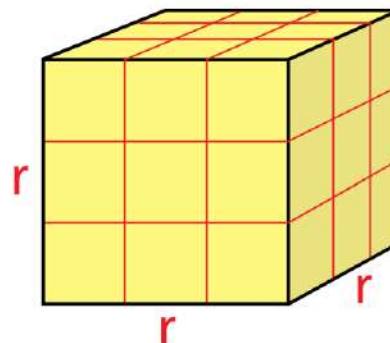
Berekening van oppervlakte en volume

oppervlakte	=	A	(m ²)	(area)
inhoud	=	V	(m ³)	(volume)



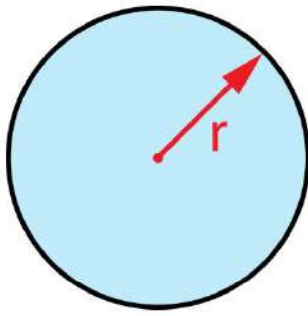
vierkant

$$\begin{aligned} \text{omtrek} &= 4 \cdot r \\ \text{oppervlakte} &= r^2 \end{aligned}$$



kubus

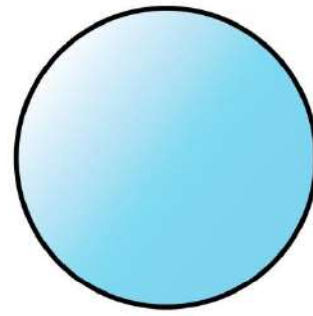
$$\begin{aligned} \text{oppervlakte} &= 6 \cdot r^2 \\ \text{volume} &= r^3 \end{aligned}$$



cirkel

omtrek = $2\pi \cdot r$

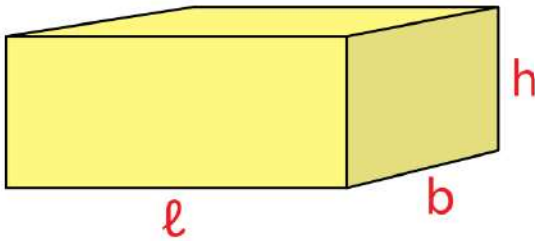
oppervlakte = $\pi \cdot r^2$



bol

oppervlakte = $4\pi \cdot r^2$

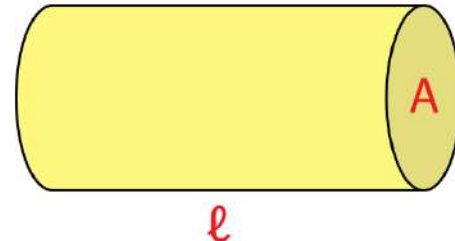
volume = $\frac{4}{3}\pi \cdot r^3$



doos

oppervlakte = $2\ell \cdot h + 2b \cdot h + 2\ell \cdot b$

volume = $\ell \cdot b \cdot h$



cilinder

oppervlakte = $(2\pi \cdot r \cdot \ell) + (2 \cdot \pi r^2)$

volume = $\pi r^2 \cdot \ell$

Figuur 8 Omtrek, oppervlakte en volume van een aantal vormen.

1.4 Rekenen met machten van 10

In de natuurkunde komen hele grote en hele kleine getallen voor. Zo is de lichtsnelheid 299.792.458 m/s en is de snelheid waarmee continenten verschuiven ongeveer 0,0000000016 m/s (5 cm per jaar). Om geen fouten te maken is het slim om getallen te schrijven als machten van 10.

Machten van 10

$$\begin{aligned}10^1 &= 10 \\10^2 &= 100 \\10^3 &= 1000\end{aligned}$$

↓

$$10^n = 1 \text{ met } n \text{ nullen}$$

$$\begin{aligned}10^{-1} &= 1 / 10 = 0,1 \\10^{-2} &= 1 / 100 = 0,01 \\10^{-3} &= 1 / 1000 = 0,001\end{aligned}$$

↓

$$10^{-n} = 0,00 \dots 1 \quad (n \text{ nullen en dan een } 1; \text{ de nul voor de komma telt mee})$$

VOORBEELD

- lichtsnelheid = 299.792.458 m/s = $3,0 \cdot 10^8$ m/s
- continenten verschuiven met 0,0000000016 m/s = $1,6 \cdot 10^{-9}$ m/s
- de afstand van de aarde tot de maan is $3,844 \cdot 10^8$ m
- de dikte van een haar is $1,0 \cdot 10^{-4}$ m
- getal 123 kun je opschrijven als $1,23 \cdot 100 = 1,23 \cdot 10^2$
- getal 0,00456 kun je opschrijven als $4,56 \cdot 10^{-3}$

Als je machten van 10 moet vermenigvuldigen of delen gebruik je de volgende regels

$$\text{Vermenigvuldigen: } 10^a \cdot 10^b = 10^{a+b}$$

$$\text{Delen: } 10^a / 10^b = 10^{a-b}$$

VOORBEELD

- $10 \cdot 100 = 1000 \rightarrow 10^1 \cdot 10^2 = 10^3$
- $1000 / 100 = 10 \rightarrow 10^3 / 10^2 = 10^1$
- $20 \cdot 300 = 6000 \rightarrow 2 \cdot 10^1 \cdot 3 \cdot 10^2 = 6 \cdot 10^3$
- $300 / 20 = 15 \rightarrow 3 \cdot 10^2 / 2 \cdot 10^1 = 1,5 \cdot 10^1$

Wetenschappelijke notatie

Ieder getal kan worden geschreven in de **wetenschappelijke notatie**. Dit wordt ook we de **standaardvorm** genoemd.

De **wetenschappelijke notatie** van een getal is:

- één cijfer ongelijk aan nul voor de komma
- alle overige cijfers achter de komma
- vermenigvuldig met een macht van 10

VOORBEELD wetenschappelijke notatie

- getal 123 schrijf je op als $1,23 \cdot 10^2$
- getal 123000 schrijf je op als $1,23 \cdot 10^5$
- getal 0,456 schrijf je op als $4,56 \cdot 10^{-1}$
- getal 0,000456 schrijf je op als $4,56 \cdot 10^{-4}$

Voorvoegsels

De factoren 10^{-12} , 10^{-9} , 10^{-6} , 10^{-3} , 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} worden vaak gebruikt en hebben daarom een speciale naam gekregen. Deze namen en symbolen moet je uit het hoofd leren.

naam	symbool	factor
milli	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}

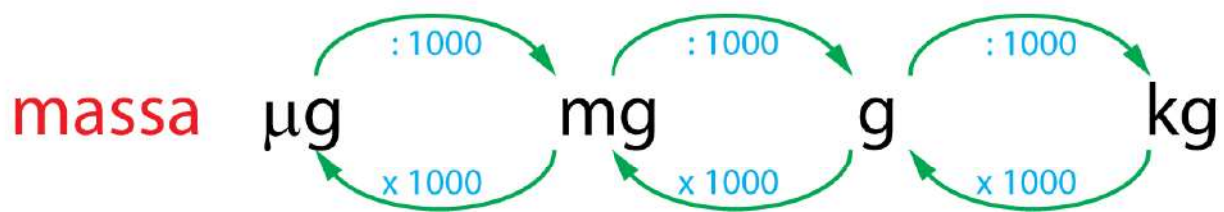
naam	symbool	factor
kilo	k	10^3
mega	M	10^6
giga	G	10^9
tera	T	10^{12}

Verder zijn er nog enkele andere voorvoegsels die soms worden gebruikt.

deci = 1/10
centi = 1/100

deca = 10
hecto = 100

Hieronder zie je een schema voor het omrekenen van massa.



Figuur 9 Omrekenen van $\mu\text{g} \leftrightarrow \text{mg} \leftrightarrow \text{g} \leftrightarrow \text{kg}$

VOORBEELD

- $1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$
- $10^2 \text{ km} = 10^2 \cdot 10^3 \text{ m} = 10^5 \text{ m}$
- $10^4 \text{ km} = 10^1 \cdot 10^3 \text{ km} = 10^1 \text{ Mm}$
- $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$
- $10^2 \text{ nm} = 10^2 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ m}$ (0,1 μm)
- $10^4 \text{ nm} = 10^4 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 10^{-5} \text{ m}$ (10 μm)

1.5 Significante cijfers

Als je een meting doet vergelijk je twee dingen met elkaar. Om de lengte van een stok te meten leg je hem langs een liniaal. Je kunt dan bepalen dat de stok ongeveer drie en een half keer zo lang is als de liniaal. Om nauwkeuriger te meten breng je 10 streepjes aan met een afstand van 1 cm. Nu kun je zeggen dat de stok 37 cm lang is. Maar de 7 van het getal 37 is niet helemaal exact. Immers als je stok 36,5 cm is dan rond je dit af tot 37. Ook als je stok 37,4 cm lang is rond je dit af op 37. Met het getal 37 bedoel je dus een gebied tussen 36,5 en 37,4.

Ben je nog steeds niet tevreden dan breng je 100 streepjes aan met een afstand van 1 mm. Met je verbeterde liniaal meet je dat de stok 3,72 keer zo lang is. Maar opnieuw is het laatste cijfer het resultaat van een afronding.

- een meting is nooit 100% nauwkeurig
- iedere meting heeft een meetonzekerheid
- het laatste cijfer is het resultaat van een afronding

Een meting is nooit 100% nauwkeurig. Dit komt vanwege afronding of omdat je meetinstrument niet goed is geijkt. De fout die ontstaat door afronding heet de **toevallige** fout en de fout die ontstaat door je meetinstrument is de **systematische** fout.

Toevallige fouten

Een toevallige fout ontstaat omdat je altijd een schatting moet maken om het laatste cijfer te bepalen. Als er streepjes staan dan moet je schatten welk streepje het dichtstbij komt. Heb je een meetinstrument met een wijzer dan staat die tussen twee streepjes op de wijzerplaat. Bij een meetinstrument met een digitaal scherm is het laatste cijfer het resultaat van een afronding.

Bij toevallige fouten is de meetwaarde soms een beetje te hoog en soms een beetje te laag. De meetfout kan net zoveel te hoog als te laag zijn. Door je meting vaak te herhalen en het gemiddelde te nemen heffen de afwijkingen omhoog en omlaag elkaar op en wordt de nauwkeurigheid groter.

Een toevallige fout komt doordat je moet schatten.

Een toevallige fout kun je verkleinen door je meting te herhalen en het gemiddelde te nemen.

Systematische fouten

Een systematische fout ontstaat doordat geen enkel meetinstrument perfect is. Soms is de nulstand niet goed, of is het instrument niet goed geijkt. Dure instrumenten zijn beter dan goedkope, maar geen enkel meetinstrument is helemaal goed.

Bij een systematische fout is je meetwaarde altijd een beetje te hoog of te laag. Het heeft dus geen zin om je meting met hetzelfde instrument te herhalen, want iedere keer meet je een waarde die te hoog of te laag is

Omdat je de nauwkeurigheid van je meetinstrument meestal niet weet zullen we het daar niet over hebben. Je mag ervan uitgaan dat je meetinstrument goed werkt, maar in je achterhoofd weet je dat geen enkel meetinstrument perfect is.

Een systematische fout komt doordat je meetinstrument niet perfect is.

Een systematische fout kun je niet verkleinen door je meting te herhalen.

Noteren van een gemeten waarde

Bij natuurkunde zijn getallen het resultaat van een meting. Aan het getal moet je kunnen zien hoe nauwkeurig de meting is geweest. Vandaar dat we bij natuurkunde anders met getallen omgaan dan bij wiskunde. Zo is bij wiskunde het getal 1,00 precies hetzelfde als 1, maar bij natuurkunde is dat niet zo, want 1,00 is veel nauwkeuriger dan 1.

VOORBEELD

Een wijzer op een weegschaal schommelt heen en weer. De wijzer schommelt tussen 5,7 en 6,3 kg dan schrijven we: $m = 6,0 \pm 0,3 \text{ kg}$.

VOORBEELD

Met een liniaal meet je de lengte van een muur van ongeveer drie meter. De nauwkeurigheid van je meting hangt af van de afstand tussen de streepjes op je liniaal. Je kunt een schatting maken op 1/10 van de afstand tussen de streepjes.

- afstand tussen streepjes = 1 m $\rightarrow l = 3 \pm 0,1 \text{ m}$
- afstand tussen streepjes = 0,1 m $\rightarrow l = 3,0 \pm 0,01 \text{ m}$
- afstand tussen streepjes = 0,01 m $\rightarrow l = 3,00 \pm 0,001 \text{ m}$

Omdat we niet steeds willen opschrijven hoe nauwkeurig de meting precies is maken we een afspraak. Met deze afspraak kun je aan het getal zien hoe nauwkeurig de meting ongeveer geweest is.

Van een getal is het laatste cijfer het resultaat van een afronding.

VOORBEELD

- 3 m is een lengte tussen 2,5 en 3,5 m
- 3,0 m is een lengte tussen 2,95 en 3,05 m
- 3,00 m is een lengte tussen 2,995 en 3,005 m

Significante cijfers

Aan het laatste voorbeeld zie je dat het uitmaakt met hoeveel cijfers je een meetwaarde opschrijft, want het aantal cijfers geeft de nauwkeurigheid van je meting aan. Met significante cijfers bedoelen we het aantal cijfers dat je gebruikt om de meting met de juiste nauwkeurigheid aan te geven. Als je maar één significant cijfer gebruikt is je meting onnauwkeurig dan als je twee of drie significante cijfers gebruikt.

Het aantal significante cijfers geeft de nauwkeurigheid van een meting aan.

Het aantal significante cijfers vind je door cijfers te tellen.

- tel het aantal cijfers zonder rekening te houden met machten van 10
- nullen aan de voorkant tellen niet mee
- nullen aan de achterkant tellen wel mee

VOORBEELD

275	→	3 significante cijfers
27500	→	5 significante cijfers
0,0275	→	3 significante cijfers
0,02750	→	4 significante cijfers

$2,75 \cdot 10^{-4}$	→	3 significante cijfers
$2,750 \cdot 10^3$	→	4 significante cijfers
$27,500 \cdot 10^{-6}$	→	5 significante cijfers
$0,275 \cdot 10^9$	→	3 significante cijfers

Vermenigvuldigen en delen

Bij vermenigvuldigen of delen moet het eindantwoord op evenveel significante cijfers worden afgerond als het minst nauwkeurige getal.

VOORBEELD

Een plank is 2,0 meter lang, 25 cm breed en 12,5 mm dik.

Bereken het volume van de plank.

- reken om naar cm →
- 200 cm lang, 25 cm breed en 1,25 cm dik
- $\text{volume} = 200 \cdot 25 \cdot 1,25 = 6250$
- minst aantal significante cijfers = 2
- $6250 = 6,3 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$

Optellen en aftrekken

Als je twee meetwaarden bij elkaar optelt of van elkaar aftrekt moet je eerst alle getallen omrekenen naar de meetwaarde met de grootste eenheid.

Bij optellen en aftrekken moet het eindantwoord op evenveel cijfers achter de komma worden afgerond als het aantal cijfers achter de komma het minst nauwkeurige getal.

Het aantal significante cijfers van het resultaat kan groter of kleiner zijn dan die van de meetwaarden.

VOORBEELD

- lengte 1 = 25,7 cm → = 0,257 m
- lengte 2 = 3,1 m → = 3,1 m
- lengte 3 = 78,2 mm → = 0,0782 m
- de minst nauwkeurige meting in meter heeft 1 cijfer achter de komma.
- de totale lengte is 3,4352 m en moet worden afgerond op 3,4 m

VOORBEELD

- Alphen a/d Rijn ligt tussen Leiden en Utrecht.
- de afstand van Leiden tot Alphen is 12157 m = 12,157 km
- de afstand van Alphen tot Utrecht is 32,5 km = 32,5 km
- de afstand van Leiden tot Utrecht is 12,157 + 32,5 = 44,657 km
- de afstand van Alphen tot Utrecht is de minst nauwkeurige meting met maar 1 cijfer achter de komma op de km schaal.
- het resultaat heeft daarom ook maar 1 cijfer achter de komma en moet worden afgerond op 44,7 km.

Procentuele meetonzekerheid

De procentuele meetonzekerheid geeft aan hoe de verhouding is tussen de absolute meetonzekerheid en de meetwaarde.

$$\text{procentuele meetonzekerheid} = \frac{\text{absolute meetonzekerheid}}{\text{meetwaarde}} \times 100\%$$

VOORBEELD

- $8,2 \pm 0,3$ kg is een massa met een absolute onzekerheid van 0,3 kg.
De relatieve meetonzekerheid is $(0,3 / 8,2) \cdot 100\% = 4\%$
- $820 \pm 0,3$ kg is een massa met een absolute onzekerheid van 0,3 kg.
De relatieve meetonzekerheid is $(0,3 / 820) \cdot 100\% = 0,04\%$

- 0,2 m/s is een snelheid tussen 0,15 en 0,25 m/s. De absolute meetonzekerheid is 0,05 m/s. De relatieve meetonzekerheid is $(0,05 / 0,2) \cdot 100\% = 25\%$.
- 0,200 m/s is een snelheid tussen 0,1995 en 0,2005 m/s. De absolute meetonzekerheid is 0,0005 m/s. De relatieve meetonzekerheid is $(0,0005 / 0,200) \cdot 100\% = 0,25\%$.