Natuurkunde - Methode Vossius - Klas 2

Hoofdstuk 2 - Meten en maten

§1 Grootheden en eenheden

Natuurkunde maakt dus veel gebruik van waarnemingen die je doet. Je kijkt naar de kleur van een voorwerp, of je ruikt eraan. Ook kan je de buigbaarheid testen. Aan deze materiaaleigenschappen kleeft één bezwaar: het is nogal subjectief. Wat de één buigbaar noemt, vindt iemand anders toch nog wat stug. En is de kleur geel wel voor iedereen gelijk?
Om goede waarnemingen te doen proberen we daarom zoveel mogelijk te *meten*. Nu valt het op dit moment niet mee om je uit te leggen hoe we kleur meten, of buigbaarheid. Maar je kent wel enkele metingen die we in de wetenschap ook doen. Je bent in je leven vaak gewogen en ook je lengte is wel eens gemeten. Bij koorts wordt je temperatuur opgenomen. En hoe vaak keek je niet op een klok om te kijken of een les nóg niet is afgelopen? Er zijn dus eigenschappen die niet subjectief zijn, die niet afhangen van de persoon die ze vaststelt, maar die we nauwkeurig kunnen meten. De meest bekende eigenschappen die we kunnen meten zijn *lengte*, gewicht (wat we in het vervolg *massa* gaan noemen), *temperatuur* en *tijd*. Je zal dit jaar ook kennismaken met *stroomsterkte* van elektriciteit.

Meetbare dingen noemen we *grootheden*. Jouw lengte is dus een grootheid, evenals de temperatuur van douchewater, de massa van je schooltas en de tijd die je erover doet om naar huis te gaan. Maar om te meten moeten we wel een maat afspreken. De maten die we gebruiken zijn je al lang vertrouwd. Om lengte te meten gebruiken we de *meter*, voor massa de *kilogram* en tijd gaat in *seconden*. Voor temperatuur gebruiken we in de wetenschap de *kelvin*, maar in het dagelijks leven ken je het begrip 'graad celsius'. En misschien heb je wel eens gehoord van *ampère* om een elektrische stroomsterkte te meten. De maat waar je een grootheid mee meet heet in de wetenschap de *eenheid*.
In de zin "De massa van een schooltas is tegenwoordig gemiddeld 6,5 kilogram" is de massa de grootheid en is de kilogram de eenheid.

Het heeft eeuwen geduurd voordat we het over de hele wereld eens konden worden over één stelsel van eenheden. Daarvóór werd een ontelbaar aantal verschillende maten gebruikt voor lengte (duim, el, inch, yard, mile) en massa (pound, ounce, pond, mud). Het gebruik van verschillende maten werd hinderlijk bij het uitwisselen van wetenschappelijke vondsten. De Franse revolutie heeft een belangrijke duw gegeven in de richting van één afspraak geldig over de hele wereld. Sinds die periode zijn er regelmatige internationale bijeenkomsten waar gesproken wordt over een nog preciesere afspraak voor deze eenheden. En dat heeft geresulteerd in een overzicht van internationaal afgesproken eenheden: het *Internationaal Stelsel van Eenheden*. De basisgrootheden die dit stelsel hanteert, zijn je nu grotendeels bekend. Ze staan in de tabel die hiernaast is afgedrukt.

Internationaal Stelsel van Eenheden

De volgende 9 eenheden gebruiken we als basis van alle metingen:

1	voor lengte	meter	m
2	voor massa	kilogram	kg
3	voor tijd	seconde	s
4	voor temperatuur	kelvin	K
5	voor stroomsterkte	ampère	A
6	voor lichtsterkte	candela	cd
7	voor hoeveelheid stof	mol	mol
8	vlakke hoek	radiaal	rad
9	ruimtehoek	steradiaal	sr

Lengte

Voor de grootheid *lengte* is de *meter* de afgesproken eenheid. Dat heeft nog heel wat voeten in de aarde gehad, letterlijk. Christiaan Huygens (1629-1695) stelde voor om een natuurmaat als eenheid te nemen. Een Franse abt, Gabriël Mouton noemde in 1671 hiervoor de omtrek van de aarde. Pas in 1789 wordt in Frankrijk het plan gelanceerd om de omtrek van de meridiaan over Parijs te meten en het veertig miljoenste deel er van de *meter* te noemen. Delambre en Méchain krijgen in 1790 de opdracht om de afstand tussen Duinkerken en Barcelona op te meten en zo te bepalen hoe groot de meter dan moest zijn. Hun metingen en berekeningen werden in 1798 door wetenschappers uit diverse landen gecontroleerd en sinds die tijd ligt de meter vast: een staaf met de afgesproken lengte wordt bewaard in het Internationaal Bureau van Maten en Gewichten te Sèvres bij Parijs. Overigens is er een nieuwe afspraak over de meter gemaakt. Daarover later meer.

Massa

Wat de meeste mensen “gewicht” noemen heet in de natuurkunde “de massa”. Waarom we dat doen, leggen we nog wel eens uit. De eenheid van *massa* is de *kilogram*. In 1799 werd afgesproken dat een kilogram de massa was van 1 kubieke decimeter water bij 4 ˚C. Maar later werd er een stuk platina-iridium vervaardigd, dat net zo zwaar was als dat water, maar niet zo snel verdampte. Dat stuk platina-iridium wordt nog steeds gebruikt. Het wordt, bij de meter, bewaard in het Bureau in Sèvres. Een nieuwe afspraak over de kilogram is er sindsdien niet gemaakt.

Tijd

Je kent de eenheid van *tijd* heel goed: de *seconde*. De huidige afspraak van de seconde is niet goed te begrijpen zonder meer van natuurkunde te weten. De afspraak die daarvóór gold is beter te begrijpen. Verdeel het jaar in 365 dagen en een beetje. Hak een dag in 24 uren, een uur in 60 minuten en tenslotte, een minuut in zestig stukjes. Eén zo’n stukje heet de seconde. Dus in een uur zitten 60×60=3600 seconden.

Temperatuur

De ons meest bekende eenheid is de graad celsius. Anders Celsius (1701-1744) voerde in 1742 een temperatuurschaal in met het kookpunt van water bij 0˚ en het vriespunt bij 100˚. Zijn opvolger Martin Stromer keerde de schaal in 1749 om.
De officiële eenheid *kelvin* gaat ook uit van het smeltpunt van water, maar legt het nulpunt op -273˚C, het absolute nulpunt, de laagste temperatuur.

Stroomsterkte

Elektrische stromen maken een magneetveld om zich heen. Als je door twee stroomdraden evenwijdig aan elkaar stroom laat lopen, dan trekken de twee draden elkaar een beetje aan. Deze kracht wordt gebruikt om de eenheid *ampère* te definiëren.

Speciale Relativiteitstheorie

In 1905 schrijft Einstein een artikel: “Zur Elektrodynamik bewegter Körper”. Vrij vertaald: “Over de elektromagne-tische krachten bij bewegende voorwerpen”. In dat artikel schrijft hij dat de natuurkunde bij bewegingen van dingen gebruik maakt van plaats en tijd. En dan merkt hij op: “Als we het hebben over tijd, dan hebben we het over gelijktijdigheid.”

Hij neemt als voorbeeld: “De trein komt om 7 uur aan.” Wat houdt deze waarneming in?

1 Een soort foto “*de trein komt aan*” bereikt onze ogen.
Als we de trein zien aankomen gaat er licht van de trein naar ons oog. Dat licht vormt het beeld “*de trein komt aan*”. Je kan dat beeld ook vergelijken met een soort foto. Die foto heeft enige tijd nodig om van de trein naar ons oog te komen.

2 Het lichtsignaal “*het is 7 uur*” bereikt onze ogen. Ook dit beeld kan je zien als een soort foto. Op die foto staat de grote wijzer bij de 12 en de kleine bij de 7. Ook deze foto heeft enige tijd nodig om ons oog te bereiken.

Nieuw is het besef dat, als je iets ziet, *er enige tijd nodig is voor het beeld om bij jouw ogen aan te komen*. Zoals je in Hoofdstuk 1 kon lezen heeft licht van de zon ongeveer 8 minuten nodig om ons te breiken. Het beeld van de zon dat je nú ziet is al 8 minuten onderweg en dus een 8 minuten oud beeld. Je ziet niet de zon zoals die nú is, maar de zon zoals die 8 minuten geleden was.
Zo is het ook met de aankomst van de trein en met de klok die 7 uur aangeeft. Op het moment dat het beeld “*de trein komt aan*” jouw oog bereikt staat de trein al enige tijd bij het perron (hij zou zelfs al weer vertrokken kunnen zijn als het perron net zo ver weg was als de zon van ons staat). En, op het moment dat het beeld “*het is 7 uur*” jouw oog bereikt is de klok zelf al weer verder. Want de klok staat niet stil.

Het probleem van de gelijktijdigheid, waar Einstein ons op wijst ontstaat als we niet even ver van de klok als van de aangekomen trein staan. Als iemand dichter bij de klok staat dan bij de trein, dan bereikt het kloksignaal haar eerder dan het treinsignaal. Een andere persoon, die juist dichter bij de trein staat, zal het treinsignaal eerder ontvangen dan het kloksignaal. *De twee personen nemen daarom een verschillende aankomsttijd waar!*

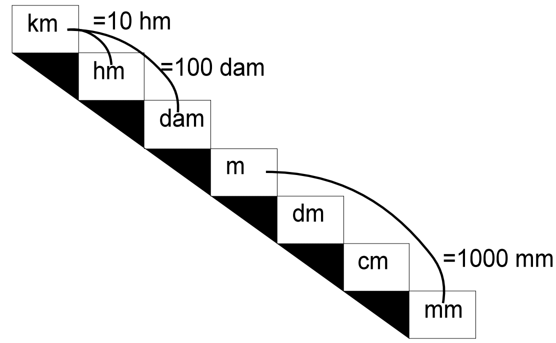
Neem eens aan dat het signaal van de trein 5 minuten nodig heeft gehad om bij ons te komen. En stel dat het kloksignaal daarvoor een kwartier nodig had.
Hoe laat kwam de trein dan echt aan?
Oplossing:
Als het kloksignaal ”*de kleine wijzer staat bij de 7*" ons oog bereikt, dan staat de klok zelf al weer op 7.15 uur (een kwartier later).
Het treinsignaal “*de trein komt aan*” had zelf 5 minuten nodig om bij ons te komen. Dat signaal is dus om 7.10 naar ons toe vertrokken (5 minuten eerder).
De trein is dus in werkelijkheid om 10 over 7 aangekomen.

In onze dagelijkse werkelijkheid merken we niets van dit soort kwesties. Daarvoor gaat het licht ons te snel: in het luchtledige altijd 300 000 km/s! In de natuurkunde heeft deze kwestie vergaande gevolgen die worden behandeld in de Speciale Relativiteitstheorie.

Opgaven bij §1

1. Wat is een *eenheid* en wat is een *grootheid*? Geef een voorbeeld.
2. Noem vijf basisgrootheden met hun eenheid; schrijf ook de bijbehorende symbolen op.
3. Welke grootheid en welke eenheid worden er bedoeld in de volgende zinnen?
   a. De temperatuur in het lokaal is 20 ˚C.
   b. De lengte van een blad A4 is 29,7 centimeter.
   c. Deze zak is 2,5 kilogram.
   d. Bij een stroomsterkte van 16 ampère slaat die zekering door.
   e. Ik liep de trap op in 12 seconden.
4. Geef zelf een voorbeeld met één van de grootheden massa, lengte, tijd, temperatuur en stroomsterkte.
5. Hoeveel seconden zitten er in een kwartier? In een uur? En in een jaar?
6. Licht heeft een snelheid van ongeveer 300.000 kilometer per seconde.
   a. Hoever moet een lamp van je af staan om het licht van de lamp er vijf seconden over te laten doen jou te bereiken?
   b. Als een blikseminslag 300 km van je vandaan plaats vindt, hoe lang heeft het licht ervan dan nodig om je te bereiken?

§2 Groot en klein



De lengte van iets kan je aangeven in centimeters of in meters. Voor veel grotere lengtes gebruik je *kilometers*. Kleintjes heten *millimeters* en hele kleintjes *micrometers*. Je hebt vast wel eens een schema gezien zoals hiernaast is weergegeven.

Elke traptrede omlaag betekent 10 maal zo groot. Dus 1 km = 10 hm en 1 cm = 10 mm. Maar ook 1 km = 1000 m en 1 m = 1000 mm.
Daarom rekenen we 4,56 m om in 456 cm. Want het zijn twee stappen de ladder af, naar rechts. De komma gaat dan ook twee plaatsen naar rechts.
Omgekeerd wordt 815 m gelijk aan 0,815 km. Want het is van gewone m naar km drie stappen omhoog en naar links.

De *voorvoegsels* <u>k</u>ilo, <u>h</u>ecto, <u>d</u>ec<u>a</u>, <u>d</u>eci, <u>c</u>enti en <u>m</u>illi worden ook bij andere eenheden gebruik; zoals bij gram voor massa, volt voor spanning, ampère voor stroom, watt voor vermogen. De voorvoegsels hebben dezelfde betekenis:
k van <u>k</u>ilo=1000; *h* van <u>h</u>ecto=100; *da* van <u>d</u>ec<u>a</u>=10; *d* van <u>d</u>eci=0,1; *c* van <u>c</u>enti=0,01; *m* van <u>m</u>illi=0,001

Zo is:	1 kilogram = 1000 gram;	1 kilovolt = 1000 volt;	2,5 kilogram = 2500 gram
	1 milligram = 0,001 gram;	1 milliliter = 0,001 liter;	562 milligram = 0,562 gram

En:	3,5 dg = 350 mg	want het zijn twee stappen van decigram naar milligram
	450 V = 0,450 kV	je komt namelijk in drie stappen van volt naar kilovolt
	0,048 A = 48 mA	want het zijn drie stappen van ampère naar milli-ampère
	7,85 hl = 785 l	want met twee stappen kom je van hectoliter naar gewone liter
	0,19 kW = 190 W	omdat je in drie stappen van kilowatt naar gewone watt gaat.

Voor hele grote meters en hele kleine meters bestaan aparte voorvoegsels. Die worden ook gebruikt voor andere grootheden:

1 Gm (*giga*meter)=1 miljard meter	1 Mm (*mega*meter)=1 miljoen meter	1GV=1miljard volt
1 μm (*micro*meter)=1 miljoenste meter	1 nm (*nano*meter)=1 miljardste meter	1 μg=1 miljoenste gram

Dus:	2,4 Gm=2400 Mm;	0,776 Mm=776 km;	595 μA=0,585 mA;
	0,444 μg=444 ng;	1250 μm=1,250 mm;	54 nm=0,054 μm;
	75 Mm=0,075 Gm;	5655 km=5,655 Mm;	0,0066 mg=6,6 μg

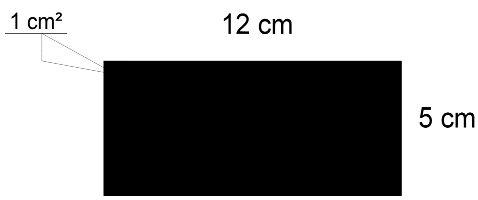
Opgaven bij §2

7. Neem over en vul in:
   a 0,023 km=...m; b 0,453 hm=...m; c 12 m=...dm; d 0,55 dm=...mm; e 9,9 cm=...mm;
   f 88 mm=...dm; g 123 cm=...m; h 0,34 dm=...m; i 781 m=...dam; j 2,0 hm=...km
8. Neem over en vul in:
   a 0,786 kg=...g; b 0,125 g=...mg; c 12 g=...dg; d 445 g=...kg; e 750 dg=...kg
9. Neem over en vul in:
   a 0,023 kV=...V; b 0,354 hW=...W; c 12 A=...dA; d 0,55 dW=...mW; e 350 ms=...s
10. Neem over en vul in:
    a 2,6 Gm=...Mm; b 7,78 Mm=...km; c 12 Gm=...Mm; d 450 km=...Mm; e 666 Mm=...Gm
    f 0,444 μm=...nm; g 135 μm=...mm; h 750 nm=...μm; i 35 μm=...mm; j 76765 nm=...mm
11. Neem over en vul in:
    a 2200 kV=...MV; b 393 kW=...MW; c 350 μA=...mA; d 0,68 mV=...μV; e 0,09 nW=...μW

§3 Oppervlakte en volume

Van twee figuren moet je de oppervlakte kunnen berekenen: de rechthoek en de cirkel. Een makkelijke oppervlakte-eenheid is de vierkante centimeter, cm². De officiële eenheid is de vierkante meter, m².

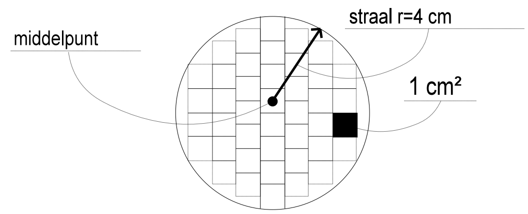
Rechthoek
De oppervlakte van een rechthoek is:
oppervlakte rechthoek = lengte x breedte



oppervlakte = lengte x breedte
oppervlakte = 12 cm x 5 cm
oppervlakte = 60 cm²
Er zitten 60 hokjes in de figuur

Cirkel
De oppervlakte van een cirkel is:
oppervlakte cirkel = π x straal²

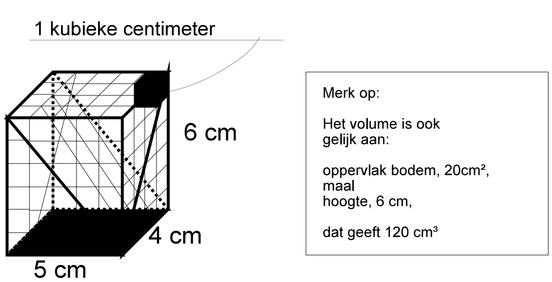
Met de Griekse letter π, pi, bedoelen we een bijzonder getal, namelijk 3,14159265359; je vindt het getal wel op jouw rekenmachine.



oppervlakte = π x straal²
oppervlakte = 3,14 x 4²
oppervlakte = 3,14 x 16 = 50 cm²
Opm.: het aantal hele hokjes van 1 cm² is 42

Ruimtefiguren zoals een kubus, een doos of een cilinder hebben inhoud. Een ander woord voor inhoud is *volume*. Het volume van een voorwerp is de hoeveelheid ruimte die het voorwerp inneemt. De eenheid van volume is 1 m³ of 1 cm³ , maar je mag ook gebruik maken van andere lengte-eenheden. Van de balk en de cilinder moet je het volume kunnen berekenen.
Een veelgebruikte eenheid voor volume is de *liter*. Met name bij vloeistoffen en gassen is die populair. De liter is net zo groot als 1 dm^3, dat is zo afgesproken. Een liter kan je in duizend gelijke stukjes verdelen: elk klein stukje heet dan 1 milli-liter, afgekort: 1 ml. Maar als je 1 dm^3 in duizend gelijke stukjes verdeelt, dan heb je duizend stukjes van 1 cm^3. Conclusie: 1 ml = 1 cm^3.

Balk
Het volume van een balk is:
volume balk = lengte x breedte x hoogte



volume = lengte x breedte x hoogte
volume = 5 x 4 x 6 = 120 cm ^{3}

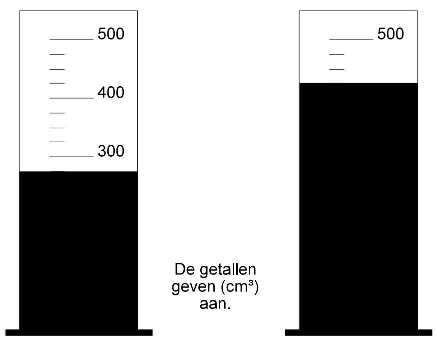
Cilinder
Het volume van een cilinder is:
volume cilinder = π x straal² x hoogte

volume = π x straal² x hoogte
volume = 3,14 x 3² x 6 = 170 cm³

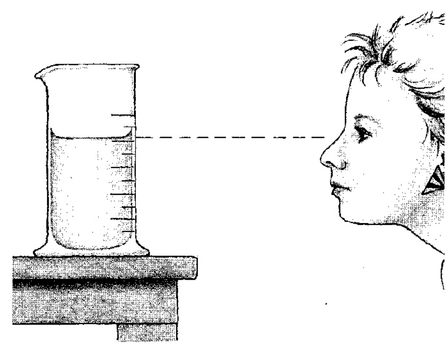
Onderdompelmethode

Niet alle voorwerpen hebben zo'n mooie cilindervorm, noch zijn ze een perfecte balk. Toch is het soms nodig hun volume te bepalen. Daarvoor is de zogenaamde onderdompelmethode bedacht. Het verhaal gaat dat Archimedes de methode bij het bezoek aan het badhuis bedacht. Het voorwerp moet wel tegen een beetje water kunnen, anders moet je een andere vloeistof nemen.

De methode gaat als volgt: neem een maatcilinder en vul die gedeeltelijk met water. Lees op de schaalverdeling van de maatcilinder af hoeveel water er in zit. Dompel het voorwerp nu geheel onder in de vloeistof. Zoals Archimedes zich realiseerde: "Waar het voorwerp zit, daar kan geen water zitten", dus moet het water in de maatcilinder omhoog. Het geeft een hogere stand aan bij de schaalverdeling. Lees de nieuwe stand af. Het verschil is het volume van het voorwerp.



In de tekening hiernaast zie je bij de linkermaatcilinder 275 cm^3 water in zit. Er is een voorwerp in gedaan, zodat het waterniveau is gestegen tot 425 cm^3, dat is 425−275=150 cm^3 meer. Natuurlijk is het niet zo dat er 150 cm^3 water bij is gekomen. De hoeveelheid water is gelijk gebleven. De voorwerp neemt zelf 150 cm^3 ruimte in. Het volume van dit voorwerp is dus 150 cm^3.

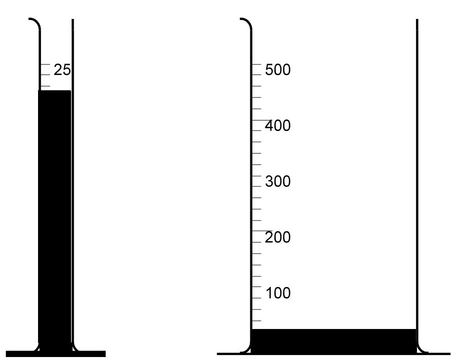


Twee opmerkingen moeten we maken over de onderdompelmethode:

1. De maatcilinder moet goed rechtop staan, de bodem horizontaal.
2. Het water kruipt een beetje omhoog tegen de wand van de maatcilinder. Je moet proberen af te lezen op het niveau van de vloeistof.

Schaaldeel en nauwkeurigheid

Meetinstrumenten, zoals een maatcilinder, helpen ons nauwkeuriger en betrouwbaarder te werken. Maar de nauwkeurigheid kent grenzen. Als je de twee maatcilinders vergelijkt die je hier ziet afgebeeld, dan zie je bij de linker dat er tussen de 22 en 23 cm^3 water in zit. Die zelfde hoeveelheid zit ook in de rechter maatcilinder.

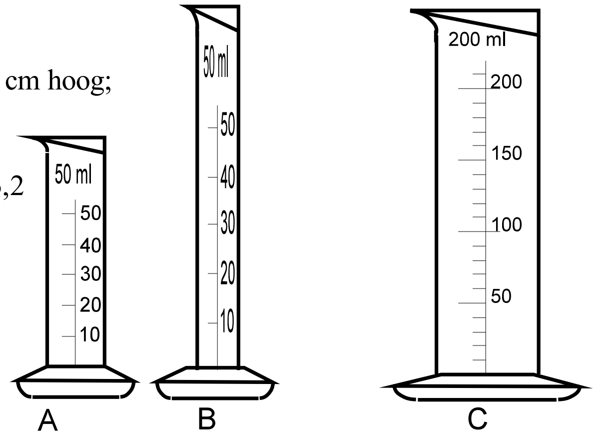


Maar dat is niet zo goed te zien. Het water staat daar tussen de 20 en 40 cm^3. Het zal je duidelijk zijn dat de linker maatcilinder nauwkeuriger is in het gebruik dan de rechter. Maar, alles heeft zijn prijs: in de linker kan maar maximaal 25 cm^3 worden gemeten. En als je er de onderdompelmethode mee wilt doen, dan kan dat alleen met kleine smalle voorwerpen. De rechter kan grote voorwerpen meten en tot maximaal 500 cm^3 meten.

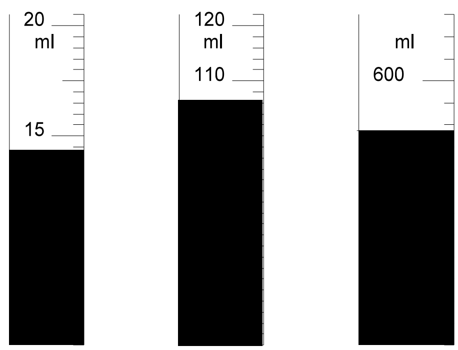
De afstand tussen twee naast elkaar liggende streepjes noemen we het *schaaldeel*. In de linker maatcilinder is de schaal verdeelt in schaaldelen van 1 cm^3, rechts is dat 20 cm^3. Controleer dat even.

Als je wat vaker schaalverdelingen hebt afgelezen dan kan je nog nauwkeuriger werken door een verdeling in gedachten het schaaldeel in tienen te verdelen. Dan kan je links aflezen dat er 22,7 cm^3 water in zit. Dat is wel een beetje twijfelachtig: sommigen zullen 22,8 cm^3 verkiezen, anderen 22,6 cm^3. Maar niemand zal zeggen dat het 22,5 cm^3 is. Want dan moet de vloeistof precies halverwege de 22 en 23 staan en dat doet die niet. Of het nou 22,6 of 22,7 of 22,8 is daarover maken we ons niet zo druk. Iedereen moet maar zelf uitmaken welke van de drie zij kiest. Maar 22,5 of 22,9 dat wordt niet goed gerekend.

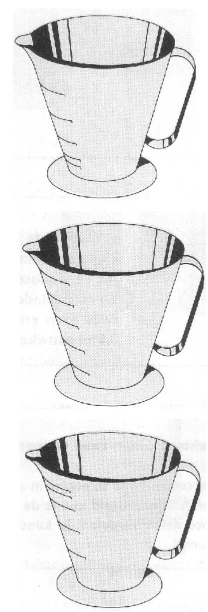
Opgaven bij §3



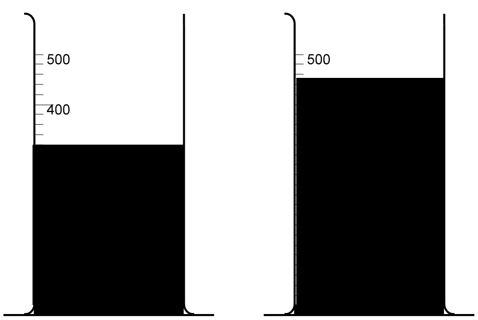
12. Bereken van de volgende voorwerpen het volume:
    a. een luciferdoosje is 5,3 cm lang, 3,6 cm breed en 1,6 cm hoog;
    b. een pakje boter is 12 cm lang; de breedte is de helft van de lengte, de hoogte is een derde van de lengte;
    c. een verhuisdoos heeft de afmetingen van 5,0 dm bij 3,2 dm bij 3,8 dm.
13. a. In elk van de hiernaast getekende maatcilinders moet 43,5 ml water worden gedaan. Teken in alle drie hoe hoog het water komt.
    b. Je moet 20,5 ml water afmeten. Welke maatcilinder zou je gebruiken? Waarom?
    c. Je moet 205 ml water afmeten. Welke maatcilinder zou je gebruiken? Waarom?



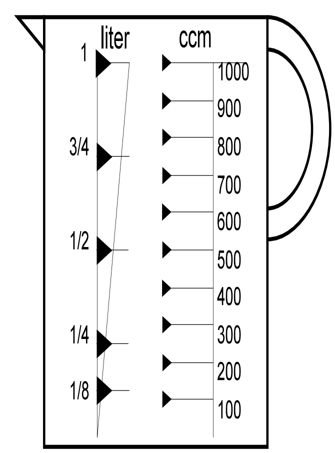
14. Hiernaast zie je drie situaties met een maatcilinder. De getallen geven milliliters weer.
    a. Lees af hoe groot het schaaldeel in elk van de drie gevallen is.
    b. Lees zo nauwkeurig mogelijk af hoeveel vloeistof er in de maatcilinders zit.
15. In de keuken gebruik je ook maatbekers met schaalverdeling. Op welke maatbeker hiernaast staat de schaalverdeling juist aangegeven? Licht je keuze toe.



16. Kees wil het volume van één soepbord bepalen. Hij vult een plastic wasbak voor drie vierde deel met water. De wasbak is 4 dm lang, 4 dm breed en 2 dm hoog.
    a. Bereken hoeveel liter water er in de wasbak zit. Hoeveel kubieke centimeter is dat?
    b. Kees laat vervolgens acht soepborden in het water glijden. Het water stijgt daardoor 2,5 cm. Hoeveel water is er in de wasbak bijgekomen?
    c. Hoe groot is het volume van één soepbord?



17. Bepaal met behulp van de tekening hier links hoe je het volume van het voorwerp kan bepalen. Schrijf duidelijk op hoe je te werk moet gaan.
18. Hout drijft op water. Hoe kun je met de onderdompelmethode toch het volume bepalen van een blokje hout?
19. Je zou de onderdompelmethode ook andersom kunnen uitvoeren: eerst de eindstand bepalen van de vloeistof met het voorwerp erin, dan het voorwerp eruit halen, en dan de beginstand bepalen. Leg uit of dit een goede manier is.



20. Zie de figuur hier rechts. De maatbeker heeft twee schaalverdelingen: één in liter en één in kubieke centimeter.
    a. Neem over en vul in: 1 liter= ... cm^3; ¾ liter= ...cm^3; ⅛ liter= ... cm^3;
    b. Teken met rood de hoogte van de vloeistof als er 1/5 liter water in zit;
    c. Teken met blauw als er 175 cm^3 water in zit.
21. Twee weegschalen wijzen elk 50 gram teveel of te weinig aan: een keukenweegschaal en een personenweegschaal. Leg uit of dit een bezwaar is.

§4 Archimedes

Archimedes (287-212 v.C.) werd geboren in Syracuse en was bevriend van koning Hiëro. Hij bracht een deel van zijn jeugd in Egypte door, waar hij wiskunde leerde van de directe opvolgers van Euclides. Daarna keerde hij voor de rest van zijn leven terug naar Syracuse. Plutarchus en anderen vermeldden dat hij gedurende het beleg van Syracuse door de Romeinen (214-212) oorlogsmachines samenstelde. Na inneming van de stad zou hij door een Romeinse soldaat zijn gedood, terwijl hij zijn wiskundige figuren, getekend in een bak met zand, probeerde te beschermen.

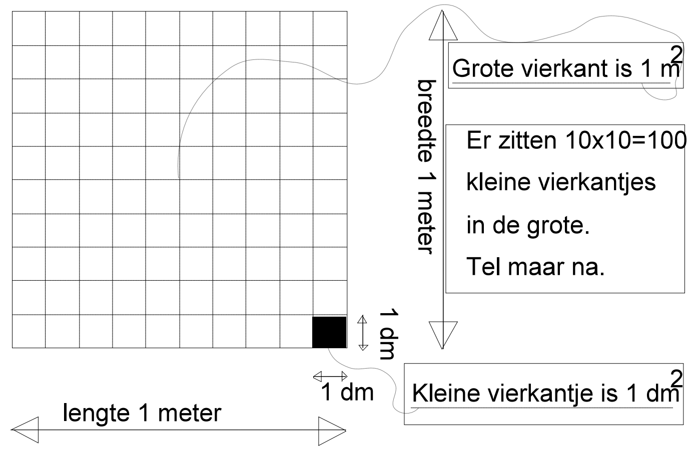
In de natuurkunde is hij het meest bekend om de *Wet van Archimedes*, een der eerste natuurwetten die wetenschappelijk zijn afgeleid. De wet zegt dat een lichaam, dat geheel of gedeeltelijk in een vloeistof is gedompeld, een opwaartse kracht ondervindt, gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof.
Hij heeft zich veel bezig gehouden met wiskunde. Daar bedacht hij een methode om het getal π te berekenen Hij deed dat door de omtrek van een cirkel te benaderen door de omtrek van een omgeschreven of een ingeschreven regelmatige veelhoek.
Een uitvinding die hem wordt toegeschreven is de *schroef van Archimedes*: een wijde buis, met een schroefblad er in. Door de buis te draaien wordt water omhoog gebracht.

Archimedes heeft ongetwijfeld veel wonderbaarlijke ontdekkingen op allerlei gebied gedaan, maar wat ik daar nu van ga bespreken lijkt toch wel met ongelooflijke scherpzinnigheid te zijn uitgedacht. Toen Hiëro, die zich in Syracuse koninklijke macht had toegeëigend, uit dank voor zijn overwinningen had besloten een gouden votiefkrans voor de onsterfelijke goden in een heiligdom te plaatsen, besteedde hij het vervaardigen aan tegen arbeidsloon en voor degene die het werk aannam woog hij het benodigde goud exact op de balans af.
Deze legde op de gestelde termijn het stuk, een fijnzinnig handwerk, aan de koning ter goedkeuring voor en op de balans zag het er naar uit dat hij het gewicht van de krans had afgeleverd. Later werd er aangifte gedaan: hij zou wat goud hebben achtergehouden en in plaats daarvan zilver in de krans hebben verwerkt. Hiëro was verontwaardigd dat hij was beetgenomen, maar vond geen middel om de diefstal aan de kaak te stellen en vroeg Archimedes of hij het op zich wilde nemen voor hem een methode te bedenken. Terwijl deze hier zijn gedachten over liet gaan, kwam hij toevallig een keer in het badhuis; op het moment dat hij in de kuip stapte viel het hem op dat er een hoeveelheid water over de rand stroomde gelijk aan het volume van zijn lichaam toen hij erin ging zitten. Dit bracht hem op een methode om dat vraagstuk op te lossen. Hij bedacht zich geen moment, sprong meegesleept door blijdschap uit de kuip en ging naakt naar huis, terwijl hij luidkeels aan iedereen liet weten dat hij had gevonden wat hij zocht, want onder het hollen riep hij telkens weer in het Grieks: "εϋρηκα, εϋρηκα" ("eureka, eureka" - ik heb het gevonden).
Bij het uitwerken van deze inval zou hij vervolgens twee klompen hebben vervaardigd van gelijk gewicht, hetzelfde als die krans ook had, de ene van goud, de andere van zilver. Toen hij daarmee klaar was, vulde hij een groot vat tot de rand met water en liet daarin de baar zilver neer. Er stroomde een even groot volume aan water over de rand als er aan zilver in het vat was ondergedompeld. Hij nam de klomp eruit en goot evenveel water terug als was weggelopen, onderwijl de hoeveelheid bijhoudend met een maatbeker, totdat het water net als tevoren weer precies tot de rand stond. Zo kon hij vaststellen welk bepaald gewicht aan zilver met een bepaald volume aan water overeenkwam.
Toen hij dit proefondervindelijk had vastgesteld, liet hij op dezelfde manier de baar goud in het volle vat zakken, haalde die eruit, en verrichtte zijn meting volgens dezelfde methode. Zo vond hij uit de kleinere hoeveelheid water hoeveel verschil in volume er was tussen een klomp goud en een even zware klomp zilver. Daarna vulde hij het vat opnieuw en liet nu in hetzelfde water de krans neer, waarbij hij tot de bevinding kwam dat er meer water wegvloeide voor de krans dan voor de gouden baar met hetzelfde gewicht. Uit het feit dat er meer water was overgelopen bij de krans dan bij de goudklomp, bewees hij dat er zilver door het goud was gemengd, en maakte de diefstal van degene die het werk had aangenomen helder zichtbaar.

Bron: Vitruvius "De architectura" Boek IX Proloog
1e eeuw v.C.
vertaling Ton Peters - Atheneum-Polak & Van Gennep - 2004

§5 Omrekenen

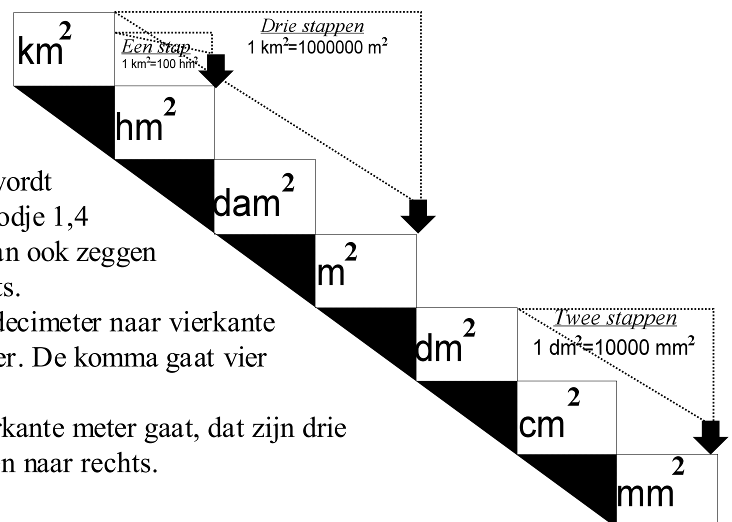
Omrekenen oppervlakte



In §2 heb je kennis gemaakt met het omrekenen van grote maten naar kleine en omgekeerd. Nu gaan we het omrekenen beschrijven van oppervlakte.

Hiernaast zie je een vierkant dat een oppervlakte moet voorstellen van 1 meter bij 1 meter. De oppervlakte is dus 1 vierkante meter, 1 m².
Nu kan je ook zeggen dat het een vierkant is van 10 decimeter bij 10 decimeter. Dat is het namelijk ook. De oppervlakte van het vierkant is daarom ook gelijk aan 10×10=100 vierkante decimeter.
In de figuur is één vierkante decimeter aangegeven. Er zitten inderdaad 100 van dat soort vierkantjes in het hele vierkant. Tel maar na als je het niet gelooft.
We kunnen nu dus schrijven: *1 vierkante meter is even veel als 100 vierkante decimeter.*
Of korter: *1 m² = 100 dm²*

Het zal je niet verbazen dat we ook kunnen schrijven:
1 vierkante decimeter is even veel als 100 vierkante centimeter
Of korter: *1 dm² = 100 cm²*



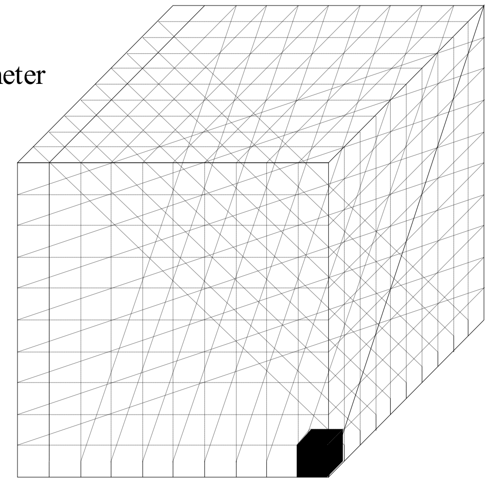
De twee figuur probeert uit te leggen hoe je oppervlakten moet omrekenen. Als je één stap de ladder afgaat, zoals van vierkante kilometer naar vierkante hectometer, dan wordt het getal 100 maal groter. Dat is logisch, want de maat wordt 100 keer kleiner. Denk maar aan: "Als een broodje 1,4 euro kost, dan kost het ook 140 eurocent". Je kan ook zeggen de komma gaat twee (=1×2) plaatsen naar rechts.
Ga je twee stappen omlaag, hier van vierkante decimeter naar vierkante millimeter, dan wordt het getal 10000 keer groter. De komma gaat vier (=2×2) plaatsen naar rechts.
En wanneer je van vierkante kilometer naar vierkante meter gaat, dat zijn drie stappen, dan gaat de komma zes (=3×2) plaatsen naar rechts.

Dit waren gevallen waarin je van grote maten naar kleine maten ging. Maar omgekeerd, dus van klein naar groot kan ook. Dan wordt het getal kleiner en gaat de komma naar links. Bijvoorbeeld. Een oppervlak van 1,0 hm² is even groot als een oppervlak van 0,01 km². Je zie dat het getal 100 keer kleiner is geworden. Dat komt omdat de maat honder keer groter is. Een vierkante kilometer is namelijk honderd keer groter dan een vierkante hectometer.

Enkele voorbeelden:

0,050 m² = 500 cm²,	want het zijn twee stappen naar rechts; de komma gaat dus 2×2=4 plaatsen naar rechts.
3500 mm² = 0,0035 m²	want het zijn drie stappen naar links; de komma gaat dus 3×2=6 plaatsen naar links.
1,1 km² = 1100000 m²	want het zijn drie stappen naar rechts; de komma gaat dus 3×2=6 plaatsen naar rechts.

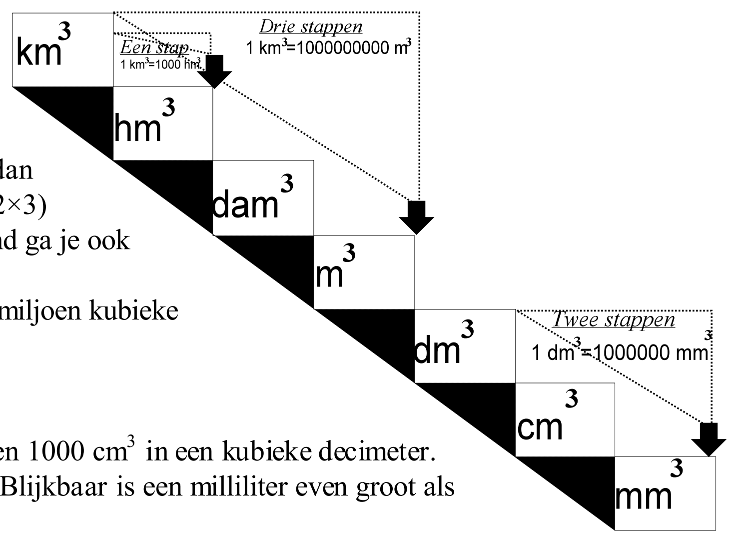
Omrekenen volume



Het omrekenen van volume gaat op een vergelijkbare manier. Als je hiernaast kijkt, dan zie je een kubus. Die heeft de afmetingen van 1 meter lengte, bij 1 meter breedte, bij 1 meter hoogte. Het volume is dus 1 kubieke meter, 1 m^3.
Nu kan je ook schrijven dat de kubus een kubus is met een lengte van 10 decimeter, een breedte van 10 decimeter en een hoogte van 10 decimeter. Dan is het volume gelijk 10×10×=1000 kubieke decimeter, 1000 dm^3.
Omdat het niet uitmaakt hoe je het volum weergeeft, met meters, of met decimeters, moet je het met me eens zijn dat 1 kubieke meter gelijk is aan 1000 kubieke decimeter.
In de rechter benedenhoek zit één kubieke decimeter. Als je goed telt zie je dat er 1000 van in de hele kubus zitten.

We kunnen nu dus schrijven: *1 kubieke meter is even veel als 1000 kubieke decimeter.*
Of korter: $1\ m^3 = 1000\ dm^3$

Het zal je niet verbazen dat we ook kunnen schrijven:
1 kubieke decimeter is even veel als 1000 kubieke centimeter
Of korter: $1\ dm^3 = 1000\ cm^3$



Je zal het systeem ondertussen wel begrijpen, dus gaan we het hier niet nog eens zo precies uitleggen. Bij elke stap schuift de komma nu drie plaatsen op. Dus als je een kubieke decimeter hebt en je verdeelt die in millimeters, dan zet je twee stappen. De komma schuift dan 6 (=2×3) plaatsen opzij. Naar rechts, want de trap aflopend ga je ook naar rechts.
Daarom is één kubieke decimeter gelijk aan een miljoen kubieke millimeter:
1 dm^3 = 1000000 mm^3.

Een kubieke decimeter heet ook een liter. Er zitten 1000 cm^3 in een kubieke decimeter. Er zitten ook 1000 milliliter in een gewone liter. Blijkbaar is een milliliter even groot als een kubieke centimeter.
1 dm^3 = 1 liter; 1 cm^3 = 1 milliliter (afgekort:1 ml)

Het worden al gauw grote getallen met die kubieke maten. Een berg van een kubieke kilometer heeft (het zijn drie stappen, 3×3=9) een miljard kubieke meter:
1 km^3 = 1000000000 m^3

Enkele voorbeelden:

0,075 dm^3 = 75000 mm^3;	twee stappen naar rechts, 2×3=6, komma zes plaatsen naar rechts
2450000 m^3 = 2,45 hm^3;	twee stappen naar links, 2×3=6, komma zes plaatsen naar links
1250 ml = 1,25 l;	want milli staat voor 'een duizendste', komma drie plaatsen naar links
450 cm^3 = 0,45 dm^3 = 0,45 l;	één stap naar links, komma drie plaatsen naar links, 1 dm^3 = 1 liter
900 cl = 9 l;	want centi staat voor 'een honderdste', twee nullen weg
0,50 ml = 0,50 cm^3 = 500 mm^3;	want 1 ml = 1 cm^3; één stap naar rechts: komma drie plaatsen naar rechts
2,5 l = 2,5 dm^3 = 0,0025 m^3;	want 1 l = 1 dm^3, één stap naar links: komma drie plaatsen naar links

Opdrachten bij §5

22. Oppervlakte omrekenen, neem over en vul in:

a 120 cm^2=... dm^2	b 4500 mm^2=... dm^2	c 0,100 m^2=... dm^2	d 0,250 km^2=... dam^2
e 87,5 mm^2=... cm^2	f 0,745 m^2=... cm^2	g 12,5 dm^2=... mm^2	h 12,5 dm^2=... m^2

23. Volume omrekenen, neem over en vul in:

a 8640 mm^3=... dm^3	b 12,555 m^3=... dm^3	c 2,134 km^3=... hm^3	d 1,5 cm^3=... m^3
e 9,000345 m^3=... cm^3	f 8,172 cm^3=... mm^3	g 7,7 l=... dl	h 650 cl=... l
i 599 ml=... cm^3	j 0,888 m^3=... l	k 1,5 l=... cm^3	l 250 ml=... mm^3

24. Een balk heeft een lengte van 1,20 m, een breedte van 8,00 dm en een hoogte van 15,0 cm. Bereken het volume van de balk in dm^3, in cm^3 in l en in ml.
25. Een balk met een volume van 1200 cm^3 heeft een lengte van 2,00 m, en een breedte van 3,00 cm. Bereken de dikte van de balk in mm.
26. Een pak melk van 1,5 l is 20 cm hoog en 7,7 cm breed. Bereken de lengte.
27. Een cirkel heeft een straal van 8,0 cm. Bereken de oppervlakte van de cirkel in dm^2.
28. Een muntstuk van 2 euro heeft een straal van 1,25 cm.Bereken het oppervlak van dit muntstuk.
29. Een cilinder is 1,50 dm hoog en heeft een straal van 5,00 cm. Bereken het volume in cm^3.
30. In een cilinder vormige fles zit nog 1,0 l frisdrank. De fles heeft een straal van 4,5 cm. Hoe hoog is de vloeistofkolom?

§6 Dichtheid

In hoofdstuk 1 hebben we het gehad over *materiaaleigenschappen*. In deze paragraaf introduceren we nieuwe kenmerkende eigenschap van alle materialen, de *dichtheid*. Eén van de bekende flauwe grappen is “Wat weegt meer, een kilo veren of een kilo lood?” Iedereen weet dat lood zwaarder is dan veren. Maar een kilo blijft een kilo. Zelfs een kilo lucht is even zwaar als een kilo lood. Het verschil tussen een kilo lood en een kilo veren zit hem in het volume. Een kilo veren neemt veel meer ruimte in dan een kilo lood. Je zou kunnen zeggen dat lood veel dichter op elkaar gepakte materie is dan veren. Vandaar het woord dichtheid.

Als je wilt weten of een stof zwaar is, dan moet je afspreken hoeveel je van die stof neemt om te wegen. Dus, hoeveel volume je ervan neemt. De eenheid van volume is de kubieke meter. In dit geval is dat geen praktische maat. Een kubieke meter is nogal groot om vast te pakken en op een weegschaal te leggen. Bovendien zou een kubieke meter lood 11300 kg wegen en dat zie ik mezelf niet een, twee, drie optillen.

We gebruiken voor de dichtheid daarom de kubieke centimeter als volume-eenheid en meten dan de massa in gram. Hoe bepalen we de dichtheid van een materiaal? Wel, kies een voorwerp uit, gemaakt van dat materiaal. We bepalen *de massa* ervan door het te wegen en *het volume* via, bijvoorbeeld, de onderdompelmethode. En dan rekenen we met die gegevens *de dichtheid* uit. Een voorbeeld.

Neem aan dat je een zilveren ring hebt. We wegen de massa: 15,25 gram. Daarna het volume 1,5 cm^3. Hoeveel weegt nu 1 cm^3? Dan moet je delen: 15,25 : 1,5 = 10,5. Dus 1 cm^3 zilver weegt 10,5 gram. We zeggen dat als:

☺ *de dichtheid van zilver is 10,5 gram per kubieke centimeter*, of kortweg:

☺ *de dichtheid van zilver is 10,5 g/cm^3*

Nog een voorbeeld. Stel je bent een vliegtuigje aan het bouwen van balsahout en je wilt weten hoeveel dat vliegtuig gaat wegen. Je koopt balsahout en je kiest een plankje van 200 cm^3. Je weegt het en het blijkt dan 30 gram te wegen. Hoeveel zou dan een plankje van 100 cm^3 balsahout wegen?
Ja, inderdaad de helft. Daarover hoef je niet lang na te denken. Als het hele plankje (200 cm^3) 30 gram weegt, dan weegt het halve plankje (100 cm^3) ook de helft, dus 15 gram. Een stukje van 10 cm^3 zal dan 1,5 gram wegen. En een stukje van 1 cm^3 weegt dan 0,15 gram.
Zo hebben we de dichtheid gevonden van balsahout: 0,15 gram per kubieke centimeter of korter 0,15 g/cm^3.
Heb je voor het vliegtuig 60 cm^3 balsahout nodig, dan weet je dat het vliegtuig $60 \times 0{,}15 = 9$ gram gaat wegen.
Natuurlijk werkt dit voorbeeld ook voor andere materialen dan balsahout.

Dichtheid van allerlei materialen
gram per kubieke centimeter

alcohol	0,80	koolzuurgas	0,001986
aluminium	2,70	koper	8,96
baksteen	1,5 - 1,8	kurk	0,20 - 0,50
basaltsteen	2,7 - 3,2	kwik	13,5
benzine	0,72	lood	11,3
bot	1,9	lucht	0,0013
boter	0,86 - 0,87	marmer	2,7
brons	8,9	melk	1,02 - 1,04
diamant	3,52	messing	8,5
glas	2,5 - 2,6	nylon	1,14
goud	19,3	olijfolie	0,92
helium	0,000178	papier	0,7 - 1,2
hout balsa	0,15	perspex	1,2
hout eiken	0,78	platina	21,5
hout vuren	0,58	staal	7,8
ivoor	1,9	suiker	1,58
ijs	0,92	terpentine	0,84
ijzer	7,87	water	1,0
keukenzout	2,17	zilver	10,5
koolstof	3,5	zink	7,2

Formule van de dichtheid

Je hebt het ondertussen gemerkt: in de natuurkunde wordt ook veel gerekend. Gelukkig wel. Want metingen en berekeningen stellen ons in staat heel precies te werken en veel eigenschappen te ontdekken.

Om het berekenen makkelijker te maken gebruiken we formules. Een formule is een korte manier van opschrijven, met name van wat er is ontdekt. We lichten dat toe aan de hand van het nieuwe begrip dichtheid.

Bij het voorbeeld van het balsahouten vliegtuig zie je dat 60 cm^3 van dat hout een massa heeft van 9 gram. De *massa* werd gevonden door de *dichtheid* te vermenigvuldigen met het *volume*. Dat is logisch. Want als één cm^3 een massa heeft van 0,15 gram, dan hebben twee cm^3 samen 2×0,15=0,30 gram. En 60 cm^3 wegen bij elkaar 60×0,15=9 gram.

Blijkbaar vind je de *massa* door de *dichtheid* te vermenigvuldigen met het *volume*. Als we daar een formule van maken, dan is het resultaat:

massa = dichtheid × volume

①*Hoeveel weegt een ijzeren balk van 400 cm^3?*
Een ijzeren balk met een volume van 400 cm^3 heeft een bepaalde massa. Die kunnen we uitrekenen omdat we de dichtheid van ijzer kennen. Zie de tabel op de vorige bladzijde. Daar staat dat één kubieke centimeter ijzer een massa heeft van 7,87 gram. Dus 400 cm^3 is 400 keer zoveel: massa = 400×7,87 = 3148 gram = 3,148 kg.
Een ijzeren balk van 400 cm^3 weegt 3,148 kg.

②*Hoe groot is een bronzenbeeld van 2,225 kg?*
Omgekeerd kan ook, dat je weet hoe zwaar het is en dus het volume kan berekenen. Denk eens aan een bronzen beeldje dat 2,225 kg weegt. Je weet dat één kubieke centimeter 8,9 gram weegt. Twee kubieke centimeters wegen dus 2×8,9=17,8 gram, drie kubieke centimeters wegen 3×8,9=26,7 gram. Maar hoeveel kubieke centimeters wegen dan 2,225 kg = 2225 gram? Dan moet je natuurlijk delen: 2225 : 8,9 = 250. Een bronzen beeldje weegt 2,225 kg als het bestaat uit 250 cm^3 brons. Want 250×8,9=2225.
Een bronzen beeld van 2,225 kg is 250 cm^3 groot.

Een formule helpt ons doordat we er snel iets mee kunnen uitrekenen. We geven nog enkele voorbeelden. Lees ze eens rustig door.

③☹*Hoe groot is een pakje boter?*
Een pakje bevat 250 gram boter. De dichtheid van boter is 0,86 gram per kubieke centimeter.

massa = dichtheid × volume
250 = 0,86 × volume

volume = 250 : 0,86 = 291 cm^3
Het pakje boter is 291 cm^3 groot.☺

④☹*Hoeveel weegt het water in het aquarium?*
Een bepaald aquarium is 1 meter lang, 7,5 dm breed en het water staat 60 cm hoog. Water heeft een dichtheid van 1,0 gram per cm^3.

massa = dichtheid × volume
volume = lengte × breedte × hoogte

volume = 100 × 75 × 60 = 450000 cm^3
massa = 1 × 450000 = 450000 gram = 450 kg
Het water in het aquarium weegt 450 kg.☺

⑤☹*Hoe zwaar is een liter olijfolie?*
Een liter olijfolie is 1 dm^3 groot, dat is gelijk aan 1000 cm^3. De dichtheid van olijfolie is 0,92 g/cm^3.

massa = dichtheid × volume
massa = 0,92 × 1000 = 920 g

Een liter olijfolie weegt 920 g , dat is 0,92 kg.☺

Hopelijk herken je het systeem dat we steeds gebruikten bij berekeningen:
❶ Kijk welke gegevens er zijn.
❷ Schrijf de formule op.
❸ Stop de bekende getallen in de formule.
❹ Bereken de nog onbekende grootheid.
❺ Schrijf het antwoord op, met de juiste eenheid.

§7 Werken met formules

In de lessen wiskunde van de eerste klas werkte je misschien met *woordformules*. Daarmee kan je bijvoorbeeld berekend hoeveel Astrid moet betalen voor het huren van een behangafstomer. Dat kostte 10 euro per dag plus 5,- euro administratiekosten.Bij het huren van de behangafstomer kan je dan woordformule maken:
bedrag in euro = 10 x aantal dagen + 5
Als Astrid de stomer bijvoorbeeld 6 dagen huurt dan moet ze betalen:
bedrag in euro = 10 x 6 + 5 = 65 euro.

Formules zijn handiger om mee te werken dan woordformules. De natuurkunde maakt er veel gebruik van. Formules kom je in de natuurkunde zo veel tegen, dat het gebruik van hele woorden hinderlijk wordt. De formules worden dan te groot en onoverzichtelijk. In plaats van woorden gebruikt de natuurkunde daarom letters.

Een ander voorbeeld van een letterformule. Je kent de *woordformule* voor het volume van een balk:
volume balk = lengte x breedte x hoogte

Voor de woorden "**volume balk**", "**lengte**", **breedte**" en "**hoogte**" kiezen we letters:

☺	"**volume balk**" wordt "***V***"	"**lengte**" wordt "***l***"
☺	"**breedte**" wordt "***b***"	"**hoogte**" wordt "***h***"

De *letterformule* ziet er dan als volgt uit:
***V* = *l* x *b* x *h*.**

Je ziet: een letterformule is overzichtelijker en korter dan een woordformule. Maar, je moet wel de betekenis van de letters onthouden! Dat is een nadeel. Maar, als je veel met formules hebt gewerkt, dan merk je dat je de betekenis van zelf leert.
Je kent nu al enkele andere woordformules. We gaan ze allemaal omzetten in letterformules.

oppervlakte rechthoek = lengte x breedte	wordt in het vervolg	***A* = *l* x *b***
oppervlakte cirkel = π x straal²	wordt in het vervolg	***A* = π x *r*²**
volume balk = lengte x breedte x hoogte	wordt in het vervolg	***V* = *l* x *b* x *h***
volume cilinder = π x straal² x hoogte	wordt in het vervolg	***V* = π x *r*² x *h***
massa = dichtheid x volume	wordt in het vervolg	***m* = ρ x *V***

Opmerkingen

1 De letter *A* wordt gebruikt om *oppervlakte* aan te geven; het stamt van het Latijnse woord *area*. De letter *A* wordt gebruikt voor elke oppervlakte: rechthoek, cirkel, het maakt niet uit. Uit de situatie blijkt of er een rechthoek, een cirkel of iets anders wordt bedoeld.
Zoiets geldt ook voor de letter *V*. Die wordt altijd voor een *volume* gebruikt, of het nou een balk is of een cilinder, of nog wat anders. Dat maakt niet uit. We móeten wel één letter voor meerdere dingen afspreken. Er zijn namelijk te weinig letters om alles aan te geven.

2 Bij elke letter hoort een eenheid. Links en rechts van het "="-teken in de formule moet dezelfde eenheid staan. Dit lichten we toe met een voorbeeld.
Een rechthoek heeft een lengte van 1,2 dm en een breedte van 5,0 cm. Dan is de *oppervlakte*:
12 cm x 5,0 cm = 60 cm². Links en rechts van het "="-teken staat cm².
Nog een voorbeeld: Van een materiaal heb je een brok dat 25,0 cm³ groot is; de massa is 121 g. De *dichtheid* is dan ρ=121 : 25,0 = 4,84 g/cm³.
De dichtheid heeft hier de eenheid g/cm³ omdat het volume in cm³ en de massa in g is gegeven.

3 De formule **massa = dichtheid x volume**, (***m*** **= ρ x *V***) staat in het boek op bladzijde 28 anders. Daar staat: *dichtheid=massa:volume*. Als je goed kijkt, dan zie je dat de twee formules eigenlijk hetzelfde beweren, maar het anders zeggen. Zoiets als: *12=4x3* in plaats van *4=12:3 of 3=12:4*.
Omdat het makkelijker werkt, zullen wij **massa = dichtheid x volume** blijven gebruiken.
Maar de formule uit het boek is ook goed.

§8 Oefenen met formules

In deze paragraaf oefen je in het werken met formules. Formules worden altijd gebruikt om iets te berekenen. En een berekening kan je het beste op een systematische manier doen.
Voor de berekeningen heb je *gegevens* nodig, en een *formule*. Je stopt de gegevens in de formule. Dan blijft er een onbekende over. Die reken je uit. En dan heb je het *antwoord*. Als laatste zet je de *eenheid* er bij. Hiernaast is deze aanpak in een stappenschema gezet. We zullen dit toelichten aan de hand van enkele voorbeelden.

Stap 1 Kijk wat is gegeven.
Stap 2 Schrijf de formule op.
Stap 3 Vul de gegevens in.
Stap 4 Bereken het antwoord.
Stap 5 Zet er de eenheid bij.

Voorbeeld 1
Een rechthoek heeft een lengte van 1,5 dm en een breedte van 8,0 cm. Bereken de oppervlakte
Formule opschrijven: $A = l \times b$
Gegevens invullen: $A = 15 \times 8{,}0$
Antwoord met eenheid: $A = 120\ cm^2$

Voorbeeld 2
Een rechthoek heeft een oppervlakte van 150 cm². De lengte is 25 cm. Bereken de breedte.
Formule opschrijven: $A = l \times b$
Gegevens invullen: $150 = 25 \times b$
Antwoord met eenheid: $b = 150:25 = 6{,}0\ cm$

Voorbeeld 3
Een balk heeft een lengte van 75 dm, een breedte van 40 cm en een hoogte van 20 mm. Bereken het volume.
Formule opschrijven: $V = l \times b \times h$
Gegevens invullen: $V = 75 \times 4{,}0 \times 0{,}20$
Antwoord met eenheid: $V = 60\ cm^3$

Voorbeeld 4
Een balk heeft een volume van 480 cm^3, lengte is 60 cm, breedte is 4,0 cm. Bereken de hoogte.
Formule opschrijven: $V = l \times b \times h$
Gegevens invullen: $480 = 60 \times 4{,}0 \times h$
Antwoord met eenheid: $480 = 240 \times h$
$h = 480:240 = 2{,}0\ cm$

Voorbeeld 5
Een balk heeft een volume van 720 cm^3, lengte is 80 cm, hoogte is 2,0 cm. Bereken de breedte.
Formule opschrijven: $V = l \times b \times h$
Gegevens invullen: $720 = 80 \times b \times 2{,}0$
Antwoord met eenheid: $720 = 160 \times b$
$b = 720:160 = 4{,}5\ cm$

Voorbeeld 6
Een balk heeft een volume van 540 cm^3, breedte is 6,0 cm, hoogte is 3,0 cm. Bereken de lengte.
Formule opschrijven: $V = l \times b \times h$
Gegevens invullen: $540 = l \times 6{,}0 \times 3{,}0$
Antwoord met eenheid: $540 = l \times 18$
$l = 540:18 = 30\ cm$

Voorbeeld 7
Een cilinder heeft een volume van 125,6 cm^3, en een straal van 2,0 cm. Bereken de hoogte.
Formule opschrijven: $V = \pi \times r^2 \times h$
Gegevens invullen: $125{,}6 = 3{,}14 \times 2{,}0^2 \times h$
Antwoord met eenheid: $125{,}6 = 3{,}14 \times 4 \times h$
$125{,}6 = 12{,}56 \times h$
$h = 125{,}6:12{,}56 = 10\ cm$

Voorbeeld 8
Een metalen voorwerp heeft een massa van 240 gram en volume 28,5 cm³. Bereken de dichtheid.
Oplossing:
Formule opschrijven: $m = \rho \times V$
Gegevens invullen: $240 = \rho \times 28{,}5$
Antwoord met eenheid: $\rho = 240:28{,}5 = 8{,}42\ g/cm^3$

Voorbeeld 9
Een perspex buis heeft een volume van 55 cm³; de dichtheid is 1,2 g/cm³. Bereken de massa.
Oplossing:
Formule opschrijven: $m = \rho \times V$
Gegevens invullen: $m = 1{,}2 \times 55$
Antwoord met eenheid: $m = 66\ g$

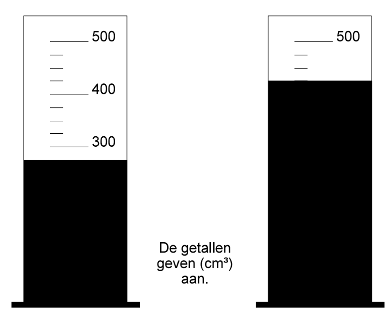
Voorbeeld 10
Een gouden trouwring weegt 35,6 gram; de dichtheid is 19,3 g/cm³. Bereken het volume.
Oplossing:
Formule opschrijven: $m = \rho \times V$
Gegevens invullen: $35{,}6 = 19{,}3 \times V$
Antwoord met eenheid: $V = 35{,}6:19{,}3 = 1{,}84\ cm^3$

Voorbeeld 11
Een aluminium plaat heeft een massa van 3,24 kg; de dichtheid is 2,7 g/cm³. De lengte van de plaat is 12 dm, de breedte is 50 cm. Bereken de hoogte.
Oplossing:
Formule opschrijven: $m = \rho \times V$
Gegevens invullen: $3240 = 2{,}7 \times V$
Antwoord met eenheid: $V = 3240:2{,}7 = 1200\ cm^3$

Formule opschrijven: $V = l \times b \times h$
Gegevens invullen: $1200 = 120 \times 50 \times h$
Antwoord met eenheid: $1200 = 6000 \times h$
$h = 1200:6000 = 0{,}20\ cm$

§9 Opgaven met dichtheid

31. Lucht heeft een dichtheid van 1,3 kg/m³. Een klaslokaal heeft de volgende afmetingen: 10 m, bij 8,0 m, bij 5,0 m. Bereken de massa van de lucht.
32. Water heeft een dichtheid van 1000 kg/m³. Een zwembad is 50 m lang, 10 m breed en het water staat er gemiddeld 2,0 m diep. Bereken de massa van het water.
33. Een metalen lepel weegt 39,35 g; het volume is 5,0 cm^3.
    a. Bereken de dichtheid van het metaal.
    b. Zoek op in de tabel welk metaal het is.
34. Een beeldje heeft een volume van 30 cm^3 en een massa van 57 g.
    a. Bereken de dichtheid van het beeldje.
    b. Zoek op van welk materiaal het is gemaakt.
35. Michelangelo maakte in 1501 -1504 een kolossaal marmeren beeld ‘David’ uit één stuk marmer. Het is niet meer bekend hoe groot het stuk marmer oorspronkelijk was, natuurlijk wel groter dan het beeld nu is. Het beeld is ongeveer 4 meter hoog, zeker 1 meter breed en misschien ook 1 meter diep.
    a. Zoek de dichtheid van marmer op in de tabel.
    b. Bereken het volume van het oorspronkelijke blok marmer; neem aan dat het rechthoekig was.
    c. Bereken de massa van het blok in kilogram.
36. Een gouden sieraad weegt 289,5 g. Bereken het volume ervan met behulp van de dichtheid uit de tabel.
37. Een blad aluminiumfolie weegt 0,54 g; de dichtheid van aluminium is 2,7 g/cm³.
    a. Bereken het volume van dat blad in cm³.
    b. Het blad is 20 cm lang en 5 cm breed.Bereken de dikte van het blad in millimeters.
38. Een ronde bezemsteel is 1,6 m lang en heeft een straal van 1,2 cm. De dichtheid is 0,70 g/cm³.
    a. Bereken het volume van de bezemsteel in cm³.
    b. Bereken de massa van de bezemsteel.
39. De legering duraluminium bestaat voornamelijk uit aluminium en koper; de dichtheid van aluminium is 2,7 g/cm³, die van koper is 8,96 g/cm³. De dichtheid van duraluminium is 2,8 g/cm³.
    a. Beredeneer dat er meer aluminium in de legering zit dan koper.
    b. In een poging om duraluminium te maken mengt Xavièra 500 g aluminium met 500 g koper. Hoeveel ruimte neemt het mengsel in? Bereken de dichtheid van dit mengsel.
    c. In een hernieuwde poging om duraluminium te maken neemt zij 500 cm³ aluminium en 500 cm³ koper. Hoeveel massa heeft het mengsel? Bereken de dichtheid van het mengsel.
    d. Ze begint opnieuw met 350 cm³ aluminium. De totale massa moet 1000 g zijn, van aluminium en koper samen. Hoeveel massa aluminium is dat? Hoeveel massa koper moet ze bijvoegen? Hoeveel cm^3 koper is dat? Welke dichtheid heeft het mengsel nu?
40. Hiernaast zie je een maatcilinder twee keer. Links nog zonder voorwerp, maar wel al met vloeistof. De totale massa links is 350 g; rechts is dat 740 g. De vloeistof heeft een dichtheid van 0,80 g/cm³.
    a. Bereken de massa van de vloeistof.
    b. Bereken de massa van de lege maatcilinder.
    c. Bepaal de massa en het volume van het donkere voorwerp.
    d. Bereken de dichtheid van het voorwerp.



41. Een aluminium plaat is 2 m lang, 1,5 m breed en 5 mm dik. Bereken de massa.
42. Een pak papier weegt 4,2 kg. Het is 28 cm lang, 21 cm breed en 9 cm hoog. Bereken de dichtheid.
43. Hoe groot is het volume van een kilo suiker?
44. Het menselijk lichaam heeft een gemiddelde dichtheid van ongeveer 1 g/cm^3. Daarom blijven we in water zo makkelijk drijven. Hakim weegt 75 kg. Bereken het volume van Hakim.
45. Van drie gassen is de dichtheid gegeven.
    a. Wat valt je op aan die getallen?
    b. Waarom hebben gassen in werkelijkheid niet één vaste dichtheid?
46. Hoe bepaal je de dichtheid van een voorwerp? Noem benodigdheden en beschrijf de methode.

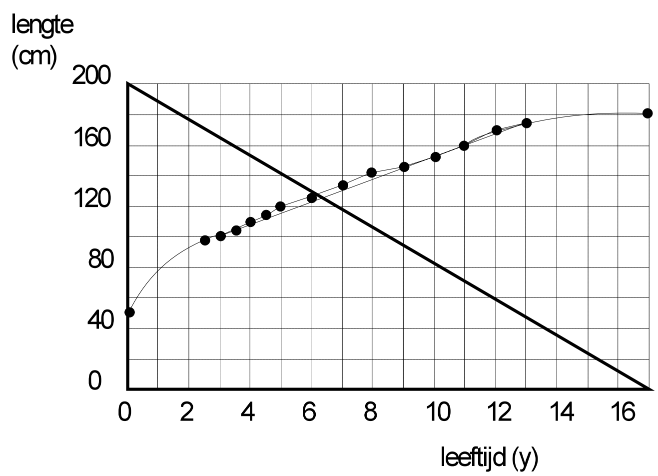
§10 Het tekenen van een grafiek

De natuurwetenschappen maken regelmatig gebruik van grafieken. Je zult ze ook zelf moeten maken, bijvoorbeeld als je een reeks waarnemingen hebt gedaan. Een grafiek geeft nu eenmaal een duidelijker overzicht van een verschijnsel dan een reeks getallen.

Als voorbeeld nemen we de groei van een baby. In de tabel hiernaast zie je de gegevens. Daarvan moet een grafiek worden gemaakt. Dat doe je als volgt.

leeftijd (y)	lengte (cm)
0	50
2,5	98
3	101
3,5	107
4	112
4,5	116
5	120
6	126
7	135
8	144
9	146
10	154
11	161
12	169
13	176
17	180

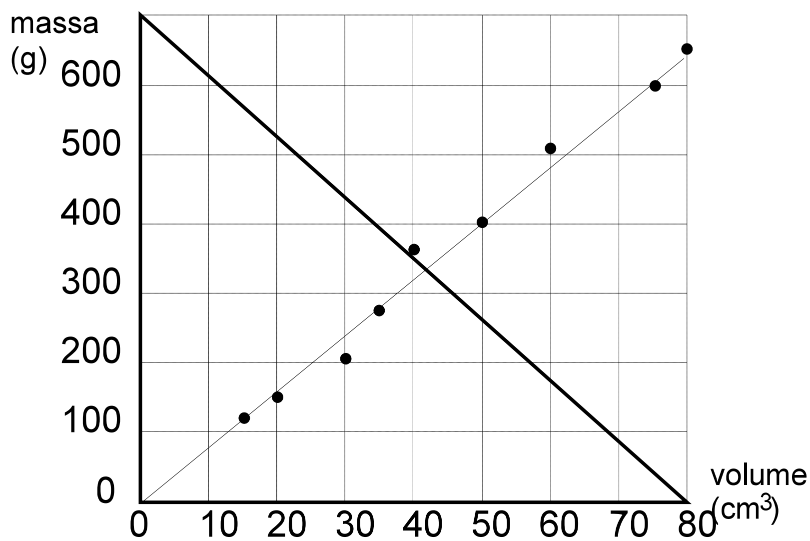
① Teken een assenstelsel.
② Beslis welke grootheid je horizontaal plaatst en welke verticaal. In principe maakt het niet uit. In de praktijk kies je horizontaal de grootheid die je zelf verandert.
Nu kiezen we horizontaal de leeftijd en verticaal de lengte.
③ Zet de grootheid langs de assen en vermeld welke eenheid ze hebben. In ons geval is dat horizontaal de leeftijd in jaar, (y) en verticaal de lengte in centimeter, (cm).
④ Maak bij elke as een geschikte schaalverdeling. Het is meestal zo dat elke schaal bij 0 begint. Af en toe komt een scheurlijn wel voor.
⑤ Plaats alle meetpunten in de figuur als punten.
⑥ De lijn door de punten heen heet de *grafiek*. Wat voor een soort lijn moet dat zijn? Dat hangt van de situatie af.
In dit geval zijn de metingen nauwkeurig, want het is niet moeilijk om op een centimeter de lengte van iemand nauwkeurig te meten. De groei van een mens gaat niet steeds met hetzelfde tempo. De lijn gaat zo ongeveer van punt naar punt. Zie de figuur hieronder.



Maar de grafiek gaat in veel gevallen helemaal *niet* door alle getekende punten. Dat heeft een bijzondere oorzaak. Natuurwetenschappen krijgen hun gegevens door het doen van metingen, dat zal je duidelijk zijn. Die metingen zijn echter, hoe precies en met goede bedoelingen gedaan, niet altijd betrouwbaar. Niet dat de waarnemer de boel oplicht. Dat mag niet en we gaan er daarom vanuit dat er iets anders aan de hand is. Metingen kunnen onnauwkeurig zijn. Bij de groei van een baby wordt jaarlijks de lengte bepaald door het kind rechtop tegen een vaste plank te zetten. Maar misschien zijn de zolen van het schoeisel niet altijd even dik, of is er wel eens met blote voeten gemeten. Bij het aflezen vaan een maatcilinder staat de cilinder de ene keer anders scheef dan de andere keer. Ga zo maar door, er zijn talloze mogeljkheden die de meetresultaten beïnvloeden. Die beïnvloeding is vaak willekeurig: de ene keer meet je een te grote waarde, de andere keer een te kleine en verolgens de juiste, wie weet. Inderdaad niemand weet wat de juiste waarde is; iedereen in de natuurwetenschappen weet dat metingen met een korreltje zout moeten worden genomen. We noemen dat de meetonnauwkeurigeheid. In het volgende geval laten we zien hoe dan de grafiek moet.

Om te illustreren hoe de meetonnauwkeurigheid uitpakt bij het tekenen van een grafiek bedenken we het volgende onderzoek. Iemand wil de dichtheid van een bepaald gesteente meten. Anja verzamelt daartoe tijdens een wandeling stenen van het te onderzoeken type. Thuis gekomen wast ze de stenen schoon, bepaalt hun massa en hun volume. In de tabel zie je de metingen. En de grafiek staat er naast.

nummer	massa (g)	volume (cm^3)
1	400	50
2	510	60
3	656	80
4	150	20
5	210	30
6	360	40
7	120	15
8	280	35
9	600	75



De grafiek is nu wel een *rechte lijn.* Daarvoor is een goede reden. Als de stenen van één en hetzelfde materiaal zijn, dan moet een tweemaal zo grote steen ook tweemaal zo zwaar zijn. Dat betekent dat de meetpunten op één rechte, maar schuine, lijn *zouden moeten* liggen. *En, de lijn moet ook nog door de oorsprong gaan*. Want een steen met geen volume heeft ook geen massa.
Waarom liggen sommige meetpunten naast de schuine lijn? Daarvoor zou je verschillende redenen kunnen bedenken. De meest flauwe is dat Anja een schaalverdeling van een instrument verkeerd heeft afgelezen. Meer voor de hand ligt dat de stenen toch niet van precies dezelfde samenstelling zijn. Ook kan het met water schoonmaken van invloed zijn geweest. De ene steen kan meer water hebben opgenomen dan de andere, daaardoor zal Anja meer of minder water hebben meegewogen.

De conclusie: de grafiek gaat in het algemeen *niet van punt naar punt*, zoals bij de leeftijd-lengte wel het geval was. Maar de grafiek is een lijn die zo soepel mogelijk tussen de punten door loopt. Vaak is het een rechte lijn, maar kromme lijnen komen ook voor.

Opgaven bij §10

47. Pjotr herhaalt het onderzoek van Anja. Hij verzamelt nieuwe stenen van dezelfde soort. Zie de tabel.

nummer	1	2	3	4	5	6	7
massa (g)	320	460	70	135	310	560	160
volume (cm^3)	40	60	10	15	30	70	20

a. Teken de grafiek van deze waarnemingen.
b. Welke waarneming valt je op? Wat zou er mee aan de hand kunnen zijn?

48. Tijdens een proefwerk laat de docent een kopje hete thee afkoelen. Na elke minuut meet hij de temperatuur.

tijd (min)	0	1	2	3	4	5	6
temperatuur (˚C)	80	68	58	50	44	39	36

Teken de grafiek van deze waarnemingen.

§11 De kapstok van Hoofdstuk 2

№	Naam	Formule / tekst
1	Grootheid en eenheid	Een *grootheid* is een begrip dat kan worden gemeten. De *eenheid* is de maat waarmee de grootheid wordt gemeten
2	Stelsel van eenheden	1 *lengte* meter m — 6 *lichtsterkte* candela cd 2 *massa* kilogram kg — 7 *hoeveelheid stof* mol mol 3 *tijd* seconde s — 8 *vlakke hoek* radiaal rad 4 *temperatuur* kelvin K — 9 *ruimtehoek* steradiaal sr 5 *stroomsterkte* ampère A
3	Groot en klein	Voor grote en kleine getallen zijn voorvoegsels afgesproken: *Giga*, G miljard, 100000000 — *deci*, d één tiende, 0,1 *Mega*, M miljoen, 1000000 — *centi*, c één honderste, 0,01 *kilo*, k duizend, 1000 — *milli*, m één duizendste, 0,001 *hecto*, h honderd, 100 — *micro*, µ één miljoenste, 0,000001 *deca*, da tien, 10 — *nano*, n één miljardste, 0,000000001
4	Volume balk	$V = \ell \times b \times h$
5	Volume cilinder	$V = \pi \times r^2 \times h$
6	Oppervlakte rechthoek	$A = \ell \times b$
7	Oppervlakte cirkel	$A = \pi \times r^2$
8	Omrekenen oppervlakte	Als je een tien keer zo grote maat gebruikt, dan wordt het oppervlaktegetal 100 keer kleiner en omgekeerd: *bij elke stap verplaats de komma twee plaatsen*: $1\ m^2 = 100\ dm^2$ en $10000\ mm^2 = 1\ dm^2$
9	Omrekenen volume	Als je een tien keer zo grote maat gebruikt, dan wordt het volumegetal 1000 keer kleiner en omgekeerd: *bij elke stap verplaats de komma drie plaatsen*: $1\ m^3 = 100\ dm^3$ en $10000\ mm^3 = 1\ dm^3$ $1\ dm^3 = 1$ liter $1\ cm^3 = 1$ ml
10	Onderdompelmethode	Met de *onderdompelmethode* bepaal je het volume van voorwerpen. 1 Doe water in een maatcilinder en lees af tot waar het water staat, *beginstand*. 2 Doe het voorwerp in het water, lees opnieuw af, *eindstand*. 3 Volume voorwerp is eindstand min beginstand 4 Let op rechtop staan van maatcilinder en aflezen bij de vloeistofspiegel
11	Schaaldeel	Een schaalverdeling van een meetinstrument heeft streepjes. Een *schaaldeel* is de waarde van de afstand tussen twee naast elkaar gelegen streepjes.
12	Sommen oplossen	Als je niet weet hoe je een som moet oplossen, gebruik dan het rampenplan: 1 Bekijk *welke gegevens* er zijn. 2 Schrijf een *formule* op waar die gegevens in voorkomen. 3 Vul zoveel mogelijk *gegevens in de formule* in. 4 Je kan nu de *onbekende uitrekenen.* 5 Zet de *eenheid* achter het antwoord.

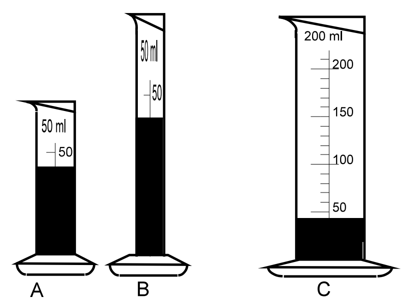
13	Grafiek tekenen	1 Teken een *assenstelsel*. 2 Zet bij de assen een geschikte *schaalverdeling*. 3 Vermeld bijde assen de *grootheden* en de *eenheden*. 4 Plaats *alle punten* in de figuur. 5 Beredeneer of de grafiek door de *oorsprong* moet. 6 Bedenk of de grafiek *recht* moet zijn of *krom*. 7 Teken een *vloeiende lijn* (bedenk of je de punten moet verbinden).
14	Dichtheid	$m = \rho \times V$

Gebruikte grootheden

Grootheid		Officiële eenheid; tussen haakjes veelgebruikte eenheid		
V	volume	m^3, l	(cm^3)	kubieke meter, liter
ℓ	lengte	m	(cm)	meter
b	breedte	m	(cm)	meter
h	hoogte	m	(cm)	meter
r	straal	m	(cm)	meter
A	doorsnede, oppervlak	m^2	(cm^2)	vierkante meter
m	massa	kg	(g)	kilogram
ρ	dichtheid	kg/m^3	(g/cm^3)	kilogram per kubieke meter

Antwoorden van de opgaven

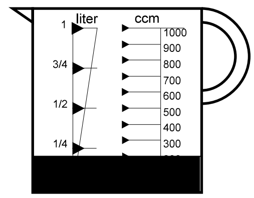
1. Een eenheid is de maat waarmee je een grootheid meet. Een grootheid is een meetbaar begrip.
2. lengte meter, m; massa kilogram, kg; tijd seconde, s; temperatuur kelvin, K; stroomsterkte ampère, A
3. a. grootheid is temperatuur, eenheid is ˚C;
   b. grootheid is lengte, eenheid is cm;
   c. grootheid is massa, eenheid is kg;
   d. grootheid is stroomsterkte, eenheid is A;
   e grootheid is tijd, eenheid is s.
4. massa Voor een cake heb je 200 gram meel nodig.
   lengte Dan wordt de cake 4 cm hoog.
   tijd Het deeg moet wel eerst een kwartier rijzen.
   temperatuur De cake wordt het mooist als je de oven op 180 ˚C zet.
   stroomsterkte Als je de oven tegelijk met de wasmachine aanzet dan wordt de stroomsterkte 18 A, de zekering slaat dan geheid door.
5. In een kwartier zitten 15 minuten. Elke minuut heeft 60 s; in een kwartie zitten dus 15×60=900 s.
   In een uur zitten 60×60=3600 s. In een jaar 365,25×24×3600=31557600 s.
6. a. In één seconde legt het licht 300.000 km af. In vijf seconden is dat 5×300.000 = 1.500.000 km. Dat is ongeveer 4 keer zo ver als de maan van ons staat.
   b. In één seconde komt het licht 300.000 km verder. In één duizendste seconde komt het licht ‘maar’ 300 km verder. Het licht heeft dus één duizendste seconde nodig.
7. a 0,023 km=23 m; b 0,453 hm=45,3 m; c 12 m=120 dm; d 0,55 dm=55 mm; e 9,9 cm=99 mm;
   f 88 mm=0,88 dm; g 123 cm=1,23 m; h 0,34 dm=0,034 m; i 781 m=78,1 dam; 2,0 hm=0,20 km
8. a 0,786 kg=786 g; b 0,125 g=125 mg; c 12 g=120 dg; d 445 g=0,445 kg; e 750 dg=0,0750 kg
9. a 0,023 kV=23 V; b 0,354 hW=35,4 W; c 12 A=120dA; d 0,55 dW=55 mW; e 350 ms=0,350 s
10. 2,6 Gm=2600 Mm; 7,78 Mm=7780 km; 12 Gm=12000 Mm; 450 km=0,450 Mm; 666 Mm=0,666Gm
    0,444 µm=440 nm; 135 µm=0,135 mm; 750 nm=0,750 µm; 35 µm=0,035mm; 76765 nm=0,076765 mm
11. 2200 kV=2,200 MV; 393 kW=0,393MW; 350 µA=0,350mA; 0,68 mV=680µV; 0,09 nW=0,00009 µW
12. a. $V = l \times b \times h = 5{,}3 \times 3{,}6 \times 1{,}6 = 30{,}528\ cm^3 = 31\ cm^3$
    b. $V = l \times b \times h = 12 \times (½\times12) \times (⅓\times12) = 12 \times 6 \times 4 = 288\ cm^3$
    c. $V = l \times b \times h = 5{,}0 \times 3{,}2 \times 3{,}8 = 60{,}8\ dm^3 = 61\ dm^3$
13. a. Zie hiernaast.

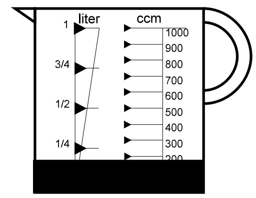


    b. Dan zou ik maatcilinder B gebruiken, omdat de de afstand tussen de schaaldelen van 10 ml daar groter is dan bij A. Dan kan je met B nauwkeuriger werken.
    c. Dan zou ik maatcilinder C nemen. Die kan tot 210 ml, zodat je de hoeveelheid in één keer kan afmeten. Met de andere maatcilinders moet je meerdere keren een hoeveelheid afmeten. Dan maak je elke keer een fout. Of kan jij de keuze voor (alweer B) verdedigen?
14. a.. Links: 14,4 ml; de schaal gaat in stukken van 0,5 ml. De vloeistofspiegel staat iets onder de 14,5 ml.
    b. Midden: 106,4 ml; de schaal is in stukken van 2 ml. De vloeistof staat iets boven de 106, maar niet halverwege de 106 en de 108. Het is daarom niet 107, maar iets tussen de 107 en 106. Ook goed is 106,3 en 106,5 ml.
    c. Rechts: 578 ml; schaalverdeling in 10 ml. De vloeistof staat tussen 570 en 580; 577 ml is ook goed.
15. De juiste schaalverdeling is weergegeven op de onderste maatbeker. De maatstrepen staan, van beneden naar boven, dichter op elkaar. Neem aan dat de maat tussen twee strepen wel steeds even groot is. Omdat boven het oppervlak groter is, moet de hoogte kleiner zijn, voor eenzelfde hoeveelheid. Dan kunnen de getallen bij de strepen gelijkmatig oplopen, bijvoorbeeld 10, 20, 30, 40 en 50.
    Bij de bovenste maatbeker zouden de getallen sterk oplopen, bijvoorbeeld 2, 5, 10, 20, 50.
16. a. $V = l \times b \times h = ¾\times(4 \times 4 \times 2) = 24\ dm^3 = 24\ l = 24000\ cm^3$
    b. Er is geen water bij gekomen, er zijn soepborden bijgekomen; die nemen ook ruimte in. Het water moest daardoor naar boven wijken.

c. Het waterniveau is 2,5 cm = 0,25 dm gestegen. De ruimte die de soepborden innemen is:
$V = l \times b \times h = 4 \times 4 \times 0{,}25 = 4\ \text{dm}^3 = 4000\ \text{cm}^3$. Dat is voor acht borden. Eén bord is 500 cm^3

17. Doe een hoeveelheid water in een maatcilinder. Lees af hoeveel er in zit, de beginstand. Dompel het voorwerp onder in de vloeistof. Lees af tot waar de vloeistof komt, de eindstand. Het volume van het voorwerp is gelijk aan het verschil tussen eindstand en beginstand.
18. Neem een zwaar voorwerp en een touwtje. Bepaal daarvan met de onderdompelmethode het volume. Bind het touwtje om het houten voorwerp. Bepaal nu het volume van hout, touwtje en zwaar voorwerp op dezelfde manier. Het verschil is het volume van het houten voorwerp.
19. Als je het ondergedompelde voorwerp uit de maatcilinder haalt, dan gaat er altijd wat vloeistof mee. Hoeveel dat is, is onbekend en daarmee introduceer je een onnauwkeurigheid, die de officiële methode niet heeft.
20. a. 1 liter = 1000 cm^3; ¾ liter = 750 cm^3; ⅛ liter = 125 cm^3
    b. Zie de linker figuur.
    c. Zie de rechter figuur.





21. Bij de keukenweegschaal is dat wel een groot bezwaar, omdat 50 gram relatief veel is ten opzichte van de gebruikelijke hoeveelheden. Bij een personenweegschaal is dat minder bezwaarlijk omdat iemand door voedselinname en uitscheiding een steeds wisselende massa heeft.
22. a 120 cm^2= 1,20 dm^2; b 4500 mm^2=0,45 dm^2; c 0,100 m^2=10,0 dm^2; d 0,250 km^2=2500 dam^2
    e 87,5 mm^2=0,875 cm^2; f 0,745 m^2=7450 cm^2; g 12,5 dm^2=125000 mm^2; h 12,5 dm^2=0,125 m^2
23. a 8640 mm^3=0,008640 dm^3; b 12,555 m^3=12555 dm^3; c 2,134 km^3=2134 hm^3; d 1,5 cm^3=0,0000015 m^3
    e 9,000345 m^3=9000345 cm^3; f 8,172 cm^3=8172 mm^3; g 7,7 l=77 dl; h 650 cl=6,50 l
    i 599 ml=599 cm^3; j 0,888 m^3=888 l; k 1,5 l=1500 cm^3; l 250 ml=250000 mm^3
24. $V = l \times b \times h = 12{,}0 \times 8{,}00 \times 1{,}50 = 144\ \text{dm}^3 = 144000\ \text{cm}^3 = 144\ \text{l} = 144000\ \text{ml}$
25. $V = l \times b \times h$, 1200 = 200 × 3 × dikte, 1200 = 600 × dikte, dikte = 1200 : 600 = 2 cm
26. $V = l \times b \times h$, 1,5 l = 1,5 dm^3 = 1500 cm^3, 1500 = lengte × 7,7 × 20, 1500 = lengte × 154
    lengte = 1500 : 154 = 9,74 cm
27. $A = \pi \text{ x } r^2 = 3{,}14 \times 8{,}0^2 = 201\ \text{cm}^2 = 2{,}01\ \text{dm}^2$
28. $A = \pi \text{ x } r^2 = 3{,}14 \times 1{,}25^2 = 4{,}91\ \text{cm}^2$
29. $V = \pi \times r^2 \times h = 3{,}14 \times 5^2 \times 15 = 1178\ \text{cm}^3$
30. $V = \pi \times r^2 \times h$; 1,0 l = 1,0 dm^3 = 1000 cm^3; 1000= 3,14 × $4{,}5^2$ × hoogte; 1000 = 63,6 × hoogte;
    hoogte = 1000 : 3,6 = 278 cm.
31. $V = l \times b \times h = 10 \times 8 \times 5 = 400\ \text{m}^3$; $m = \rho \times V = 1{,}3 \times 400 = 520$ kg
32. $V = 50 \times 10 \times 2{,}0 = 1000\ \text{m}^3$; $m = \rho \times V = 1000 \times 1000 = 1.000.000$ kg
33. *a.* $m = \rho \times V$; $39{,}35 = \rho \times 5{,}0$; $\rho = 39{,}35 : 5{,}0 = 7{,}87\ \text{g/cm}^3$; b. het is ijzer.
34. *a.* $m = \rho \times V$; $57 = \rho \times 30$; $\rho = 57 : 30 = 1{,}9\ \text{g/cm}^3$; b. het is van ivoor.
35. a. marmer is 2,7 g/cm^3
    b. $V = l \times b \times h = 4 \times 1 \times 1 = 4\ \text{m}^3 = 4000000\ \text{cm}^3$
    c. $m = \rho \times V = 2{,}7 \times 4000000 = 10800000\ \text{g} = 10800$ kg
36. $m = \rho \times V$; $289{,}5 = 19{,}3 \times V$; $V = 289{,}5 : 19{,}3 = 15\ \text{cm}^3$
37. a. $m = \rho \times V$; $0{,}54 = 2{,}7 \times V$; $V = 0{,}54 : 2{,}7 = 0{,}2\ \text{cm}^3$
    b. $V = l \times b \times h$; $0{,}2 = 20 \times 5 \times h$; $0{,}2 = 100 \times h$; $h = 0{,}2 : 100 = 0{,}002\ \text{cm} = 0{,}02$ mm
38. a. $V = \pi \times r^2 \times h = 3{,}14 \times 1{,}2^2 \times 160 = 720\ \text{cm}^3$
    b. $m = \rho \times V = 0{,}70 \times 720 = 504$ g
39. a. Meer aluminium dan koper omdat de dichtheid vlak bij die van aluminium ligt. Als er veel aluminium in een legering zit, dan moet de dichtheid van de legering niet ver van die van aluminium liggen.
    b. Eerst het volume van aluminium uitrekenen:
    $m = \rho \times V$; $500 = 2{,}7 \times V_{\text{aluminium}}$; $V_{\text{aluminium}} = 500 : 2{,}7 = 185{,}2\ \text{cm}^3$
    Nu het volume van het koper uitrekenen:
    $m = \rho \times V$; $500 = 8{,}96 \times V_{\text{koper}}$; $V_{\text{koper}} = 500 : 8{,}96 = 55{,}8\ \text{cm}^3$
    Samen is het volume: $V = 185{,}2 + 55{,}8 = 241\ \text{cm}^3$

Tot slot de dichtheid uitrekenen:
$m = \rho \times V$; $(500 + 500) = \rho \times 241$; $\rho = 1000:241 = 4{,}15$ g/cm^3

c. Eerst de massa van aluminium uitrekenen:
$m = \rho \times V$; $m = 2{,}7 \times 500 = 1350$ g
Nu de massa van het koper uitrekenen:
$m = \rho \times V$; $m = 8{,}96 \times 500 = 4480$ g
Samen is de massa: $m = 1350 + 4480 = 5830$ g
Tot slot de dichtheid uitrekenen:
$m = \rho \times V$; $5830 = \rho \times (500 + 500)$; $\rho = 5830:1000 = 5{,}83$ g/cm^3

d. $m_{aluminium} = \rho \times V = 2{,}7 \times 350 = 945$ g
$m_{koper} = 1000 - 945 = 55$ g
$m = \rho \times V$; $55 = 8{,}9 \times V_{koper}$; $V_{koper} = 55:8{,}9 = 6{,}18$ cm^3
$m = \rho \times V$; $1000 = \rho \times (350 + 6{,}18)$; $\rho = 1000:356{,}18 = 2{,}8$ g/cm^3

40. a. $m_{vloeistof} = \rho \times V = 0{,}8 \times 275 = 220$ g
b. $m_{maatcilinder} = 350 - 220 = 130$ g
c. Alles bij elkaar weegt 740 g. We weten dat de maatcilinder plus de vloeistof 350 g wegen. Dan blijft er voor het donkere voorwerp nog maar $740 - 350 = 390$ g over.
Het volume van het donkere voorwerp kan je uit de figuur aflezen. De eindstand is 425 cm^3. De beginstand is 275 cm^3. Het volume is $425 - 275 = 150$ cm^3.
d. $m = \rho \times V$; $(740 - 350) = \rho \times (425 - 275)$; $\rho = 390:150 = 2{,}6$ g/cm^3

41. Reken de maten om in centimeters: 2 m = 200 cm, 1,5 m = 150 cm, 5 mm = 0,5 cm
$V = l \times b \times h = 200 \times 150 \times 0{,}5 = 15000$ cm^3
$m = \rho \times V = 2{,}7 \times 15000 = 40500$ g

42. $V = l \times b \times h = 28 \times 21 \times 9 = 5292$ cm^3; reken de massa om in gram: 4,2 kg = 4200 g
$m = \rho \times V$; $4200 = \rho \times 5292$; $\rho = 4200 : 5292 = 0{,}79$ g/cm^3

43. De dichtheid van suiker is 1,58 g/cm^3. Een kilo suiker wordt een kilgram bedoeld, 1000 g.
$m = \rho \times V$; $1000 = 0{,}79 \times V$; $V = 1000 : 0{,}79 = 1265{,}8$ cm^3 = 1,3 dm^3

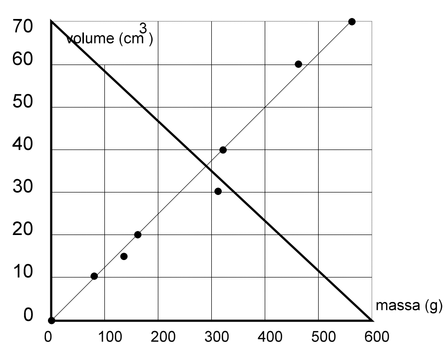
44. Reken de massa om in gram: 75 kg = 75000 g.
$m = \rho \times V$; $75000 = 1 \times V$; $V = 75000 : 1 = 75000$ cm^3 = 75 dm^3

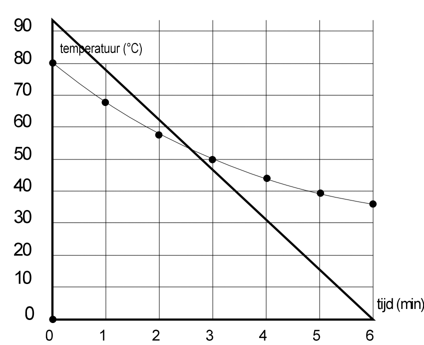
45. a. Die getallen zijn allemaal heel klein vergeleken met de getallen van de vloeistoffen en vaste stoffen. Er zit blijkbaar weinig materiaal in een gas van 1 cm^3
b. Een gas is makkelijk samen te persen, “er kan nog meer bij”. Denk maar aan een fietsband. Als je de band oppompt, komt er meer en meer gas in, terwijl de band nauwelijk groter wordt.

46. Benodigdheden: maatcilinder, water, weegschaal.
Methode: ① weeg de massa van het voorwerp met de weegschaal; ② doe water in de maatcilinder en lees de beginstand af; ③ doe het voorwerp in de maatcilinder bij het water en lees de eindstand af;④ bereken het volume van het voorwerp, eindstand min beginstand;⑤ bereken de dichtheid met dichtheid is massa gedeeld door volume.

47. a. Zie hieronder links.
b. De waarneming van 30 cm^3 en 310 g ligt ver buiten de lijn. Er is misschien een fout gemaakt bij het aflezen, of de steen is van ander materiaal.

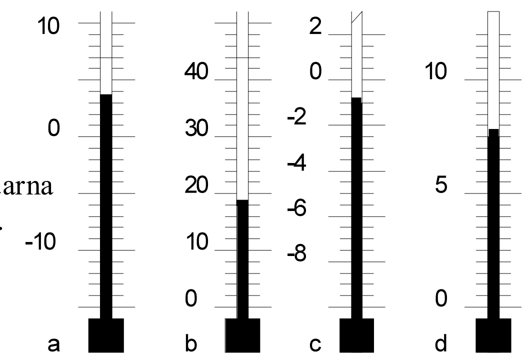
48. Zie hiernaast, rechts.





<u>Oefenproefwerk</u>

1. a. Wat is een grootheid en een eenheid? Noem de vijf bekende basisgrootheden met symbooen en eenheid.
   b. Maak een zin waarin een grootheid, zijn eenheid en een getal voorkomen. Geef aan wat de grootheid is en wat de eenheid.
   c. Licht gaat met 300.000 km/s. Hoeveel tijd heeft licht nodig voor 900 km?
2. Neem over en vul in:
   a 0,56 km=...m; b 19,5 m=...dm; c 9,9 m=...mm; d 880 mm=...dm; e 0,25 cm=...m;
   f 871 m=...dam; g 0,086 kg=...g; h 0,125 g=...mg; i 18 g=...dg; j 445 g=...kg;
   k 0,34 kV=...V; l 3,54 mW=...W; m 12 A=...dA; n 350 ms=...s; o 1 kier=...mier
   p 6,2 Gm=...Mm; q 87,8 Mm=...km; r 0,555 µm=...nm; s 13,5 µm=...mm; t 750 nm=...µm;
   u 35 µm=...mm; v 2200 kV=...MV; w 9,03 kW=...MW; x 350 µA=...mA; y 0,68 mV=...µV
3. Wat bedoelen we met het volume van een voorwerp en wat met de massa ervan? Vermeld ook hun eenheid.
4. Neem over en vul in:
   a 1,20 cm^2=... dm^2; b 890 mm^2=... dm^2; c 0,0100 m^2=... cm^2; d 0,850 km^2=... dam^2;
   e 6840 mm^3=... dm^3; f 125,66 m^3=... dm^3; g 1,5 cm^3=... m^3; h 9,0003456 m^3=... cm^3;
   i 7,7 l=... dl; j 650 cl=... l; k 599 ml=... cm^3; l 0,888 m^3=... l; k 1,5 l=... cm^3.
5. In de figuur zie je vier thermometers. Hun schaal is in ˚C.
   a.. Bepaal van elk het schaaldeel.
   b. Lees elke thermometer zo nauwkeurig mogelijk af.



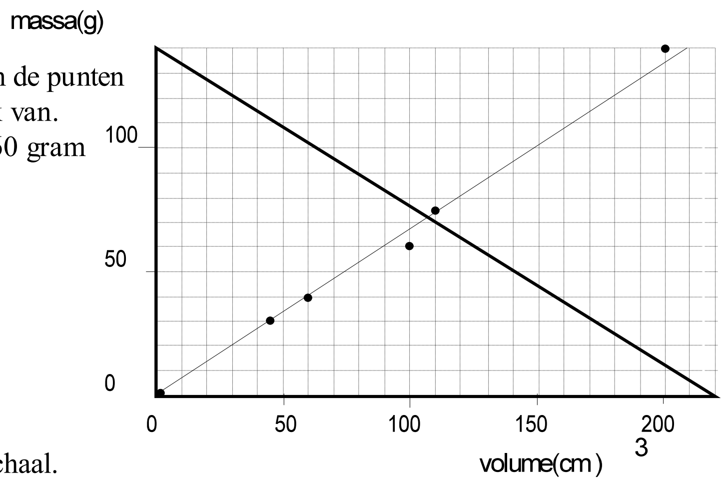
6. Een pakje boter is 12 cm lang, 8 cm breed en 3,6 cm hoog. Bereken het volume in ml.
7. Katrien wil het volume van één soepkom bepalen. Ze vult de wasbak met water: 6 dm lang, 3 dm breed en 1,8 dm hoog. Daarna doet ze 24 kommen in de wasbak. Het water stijgt nu 0,48 cm. Bereken het volume van een soepkom in ml.
8. Van een en hetzelfde metaal worden verschillende voorwerpen gemeten. Zie de tabel.
   a. Teken een grafiek van de massa en het volume.
   b. Bepaal zo nauwkeurig mogelijk de dichtheid van het metaal.

massa g	volume cm^3
140	400
60	200
75	220
30	90
40	120

9. De dichtheid van balsahout is 0,15 g/cm^3. Een balsahouten plaat van 0,80 m bij 2,5 dm bij 0,60 cm hangt aan een weegschaal. Bereken de massa.
10. Een zilveren ring heeft een volume van 1,2 cm^3. De dichtheid is 10,5 g/cm^3.
    a. Bereken de massa van de ring.
    b. Bereken hoeveel cm^3 zilver er nodig is om een ring van 25,2 g te maken.
11. Beschrijf wat je nodig hebt om de dichtheid van een vast voorwerp te bepalen. Schrijf ook op hoe je de dichtheid dan te weten komen kan.
12. Een flesje van 0,400 liter, geheel gevuld met olie heeft een massa van 500 g. De dichtheid van de olie is 0,900 g/cm^3. Als we de fles gedeeltelijk vullen met zwavelzuur, de olie is eerst verwijderd, dan is de totale massa gelijk aan 680 g; de dichtheid van zwavelzuur is 1,84 g/cm^3. Bereken hoeveel cm^3 zwavelzuur er in het flesje zit.

Antwoorden Oefenproefwerk

1. a. Een grootheid is een begrip dat we kunnen meten. De maat die we daarbij gebruiken heet de eenheid.
   b. De maximum snelheid in de bebouwde kom is 50 km/h. De grootheid is 'snelheid', de eenheid is km/h.
   c. In 1 seconde komt licht 300.000 km verder. In een duizendste seconde komt licht 300 km verder. In 0,003 s komt licht 900 km verder.
2. a 0,56 km=560 m; b 19,5 m=195 dm; c 9,9 m=9900 mm; d 880 mm=8,80 dm; e 0,25 cm=2,5m;
   f 871 m=87,1 dam; g 0,086 kg= 86 g; h 0,125 g=125 mg; i 18 g=180 dg; j 445 g=0,445 kg;
   k 0,34 kV= 340V; l 3,54 mW=0,0354 W; m 12 A=120 dA; n 350 ms=0,350 s; o 1 kier=1000000 mier
   p 6,2 Gm=6200 Mm; q 87,8 Mm=87800 km; r 0,555 μm=555 nm; s 13,5 μm=0,0135mm;
   t 750 nm=0,750 μm; u 2200 kV=2,200 MV; v 9,03 kW=0,00903 MW; w 350 μA=0,350 mA;
   y 0,68 mV=680 μV
3. Het volume is de hoeveelheid ruimte die het voorwerp inneemt, bijvoorbeeld uitgedrukt in kubieke meter;
   De massa is de hoeveelheid materie van het voorwerp, bijvoorbeeld uitgedrukt in kilogram.
4. a 1,20 cm²=0,0120 dm²; b 890 mm²=0,0890 dm²; c 0,0100 m²=100 cm²; d 0,850 km²=8500 dam²;
   e 6840 mm³=0,006840 dm³; f 125,66 m³=125660 dm³; g 1,5 cm³=0,0000015 m³;
   h 9,0003456 m³=9000345,6 cm³; i 7,7 l=77 dl;j 650 cl=6,50 l; k 599 ml=599 cm³;
   l 0,888 m³=888 l; k 1,5 l=1500 cm³.
5. a. schaaldeel a is 0,1 ˚C; schaaldeel b is 2 ˚C; schaaldeel c is 0,5 ˚C; schaaldeel d is 0,5 ˚C
   b. temperatuur a is 3,7 ˚C; temperatuur b is 19 ˚C; temperatuur c is -0,8 ˚C; temperatuur d is 7,9 ˚C
6. $V = l \times b \times h = 12 \times 8 \times 3{,}6 = 345{,}6\ \text{cm}^3 = 346\ \text{ml}$
7. $V = l \times b \times h = 6 \times 3 \times 0{,}048 = 0{,}864\ \text{dm}^3 = 864\ \text{cm}^3$. Dat is het volume van de 24 kommen. Het volume van één kom is 864 : 24 = 36 cm3
8. a. Zie hiernaast
   b. De lijn is zo nauwkeurig mogelijk tussen de punten door getrokken. Daar maken we gebruik van. Kies een punt van de lijn: bijvoorbeeld 60 gram en 90 cm³.
   $m = \rho \times V$; $60 = \rho \times 90$
   $\rho = 60 : 90 = 0{,}67\ \text{g/cm}^3$



9. $V = l \times b \times h = 80 \times 25 \times 0{,}6 = 1200\ \text{cm}^3$
   $m = \rho \times V = 0{,}15 \times 1200 = 180\ \text{g}$
10. *a.* $m = \rho \times V = 10{,}5 \times 1{,}2 = 12{,}6\ \text{g}$
   b. $m = \rho \times V$; $25{,}2 = 10{,}5 \times V$;
   $V = 25{,}2 : 10{,}5 = 2{,}4\ \text{cm}^3$
11. Benodigdheden: maatcilinder, water, weegschaal.
   Methode: ① weeg de massa van het voorwerp met de weegschaal; ② doe water in de maatcilinder en lees de beginstand af; ③ doe het voorwerp in de maatcilinder bij het water en lees de eindstand af;④ bereken het volume van het voorwerp, eindstand min beginstand;⑤ bereken de dichtheid met dichtheid is massa gedeeld door volume.
12. Bereken eerst de massa van de olie; 0,400 liter = 0,400 dm³ = 400 cm³
   $m = \rho \times V = 0{,}900 \times 400 = 360\ \text{g}$
   Nu kan je uitrekenen hoeveel het flesje zonder olie weegt: 500 − 360 = 140 g.
   Nu weet je hoeveel zwavelzuur er in zit: 680 − 140 = 540 g
   Tot slot volgt nu het volume van het zwavelzuur:
   $m = \rho \times V$; $540 = 1{,}84 \times V$; $V = 540 : 1{,}84 = 293\ \text{cm}^3$.