



Natuurkunde

voor de tweede klas

B. van Hengel

Inhoud

Voorwoord: natuurkunde bestudeert...

Tips bij het werken voor natuurkunde

1: Introductie

1. Grootheden en eenheden
2. Metingen doen
3. Lengte en afstand
4. Oppervlak en volume
5. Massa en gewicht
6. Dichtheid
7. Werken met formules
8. Rekenvraagstukken oplossen
9. Onderzoek doen: tabellen en grafieken
10. Onderzoek doen: een verslag maken

2: Warm en Koud

1. Fasen en faseovergangen
2. Kookpunt en smeltpunt
3. Temperatuur
4. Luchtdruk
5. Energie

3: Licht en kleur

1. Eigenschappen van licht
2. Schaduwen
3. Spiegeling
4. Kleuren
5. UV- en IR-straling

Hoofdstuk 4: Kracht en beweging

1. Soorten krachten
2. Zwaartekracht
3. Snelheid
4. Beweging vastleggen
5. De wetten van Newton

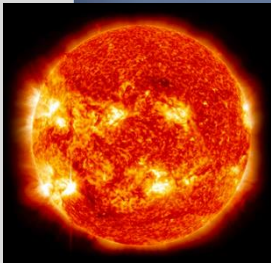
Hoofdstuk 5: Elektriciteit

1. Lading
2. Spanning
3. Stroom
4. Weerstand
5. Elektriciteit in huis

Hoofdstuk 6: Geluid

1. Bron, medium en ontvanger
2. Frequentie en toonhoogte
3. Geluidssterkte
4. De oscilloscoop
5. Oor en gehoor





Natuurkunde bestudeert...

Welkom bij je nieuwe vak: natuurkunde. Anders dan de naam van het vak doet vermoeden gaat natuurkunde niet over planten, dieren en het menselijk lichaam. Dat hoort bij het vak biologie. Met *natuur* wordt **natuurlijke verschijnselen** bedoeld. Dit zijn verschijnselen die spontaan kunnen plaatsvinden zonder dat mensen deze veroorzaken. Voorbeelden van zulke verschijnselen zijn: bliksem tijdens een onweersbui of dat water na een tijdje begint te borrelen als je het verwarmt. Ook kun je denken aan reflecties in een waterplas of dat dingen altijd naar beneden vallen. Nog meer voorbeelden: hoe regenbogen ontstaan, hoe vogels in de lucht blijven en waarom hout drijft en steen niet. Natuurkunde gaat zelfs over hele grote vragen zoals hoe het heelal is ontstaan en uit welke bouwstenen alles om ons heen is opgebouwd. Dit soort vragen stellen mensen zichzelf al millennia lang en dat heeft uiteindelijk geleid tot het vakgebied van de natuurkunde.

Hoewel de genoemde natuurlijke verschijnselen zonder ons ook zouden plaatsvinden kunnen mensen uiteraard wel ingrijpen in deze verschijnselen en deze gebruiken. **Elektriciteit** zoals bij bliksem bleek handig te zijn om allerlei apparaten op te laten werken zoals lampen, computers, koelkasten en tegenwoordige zelfs auto's. **Licht** dat reflecties en regenbogen veroorzaakt kunnen we op allerlei



manieren manipuleren zoals we doen met lenzen in brillen en fotocamera's. Het bestuderen van **krachten** zoals zwaartekracht heeft ertoe geleid dat we het universum steeds beter zijn gaan begrijpen en dat we snappen hoe sterren gevormd worden. Begrip van wat er gebeurt als water kookt en hoe we **warmte** kunnen manipuleren leidde tot het bouwen van stoommachines en later benzinemotoren die ons allerlei zwaar werk uit handen namen en voertuigen voor ons konden aandrijven. In al deze voorbeelden is nog steeds sprake van natuurlijke verschijnselen, alleen maken we er gebruik van in de vorm van **technologie**.

Natuurkunde is één van de **natuurwetenschappen**. Naast natuurkunde en biologie bestaat er ook nog scheikunde. Dit houdt zich bezig met reacties tussen stoffen waarbij ook weer andere stoffen ontstaan, zoals het verbranden van brandstof, het roesten van ijzer en het maken van allerlei nuttige stoffen zoals de pijnstiller aspirine. Daarnaast worden ook aardwetenschappen zoals meteorologie en geologie tot de natuurwetenschappen gerekend. Uiteindelijk maken biologie, scheikunde en de aardwetenschappen gebruik van inzichten uit de natuurkunde. De natuurkunde is dus de meest fundamentele natuurwetenschap.

Natuurkunde is een droomvak. Als je nieuwsgierig bent en je jezelf vragen stelt als: "hoe is het universum ooit begonnen?"; "Waarom klinkt je stem hoger als je helium hebt geïnhaleerd?"; "Wat betekent het als je sneller gaat dan het geluid?"; "Wat is elektrische stroom precies?" "Waarom is de lucht blauw?" "Hoe werken deze apparaten?" dan zul je veel plezier beleven aan dit vak. Van natuurkunde wordt ook wel eens gezegd dat het een lastig vak is. Dat "de onderwerpen wel interessant zijn" maar dat "de formules en de berekeningen moeilijk zijn". Het is waar dat je bij natuurkunde vaak lekker aan het rekenen gaat aan een verschijnsel omdat je het daardoor nog beter gaat begrijpen. Deze berekeningen lijken soms ingewikkeld, maar als je een setje basisvaardigheden voor dit rekenwerk nu meteen aan het begin van het vak goed leert is je kans op succes groot. Dit document en de eerste lessen in de tweede klas gaan je helpen om deze basisvaardigheden onder de knie te krijgen. Succes!





1 | **Introductie**

1 | Introductie | Leerdoelen

In het voorwoord heb je kunnen lezen waar natuurkunde over gaat. In dit eerste hoofdstuk leer je wat basisvaardigheden die je in de tweede en de derde klas telkens nodig blijft hebben. Ook leer je alvast wat over interessante natuurkundige onderwerpen als *massa versus gewicht* en *dichtheid*. Hieronder staande leerdoelen voor dit hoofdstuk.

§1 Grootheden en eenheden

Leerdoel A: Je weet wat **grootheden en eenheden** zijn je je kunt voorbeelden van beide noemen.

Leerdoel B: Je kunt **voorvoegsels** bij eenheden omrekenen.

§2 Metingen doen

Leerdoel C: Je weet waar je bij het doen van metingen op moet letten wat betreft de **betrouwbaarheid** en **nauwkeurigheid** van je metingen.

§3 Lengte en afstand

Leerdoel D: Je kunt rekenen aan grote en kleine afstanden met de **wetenschappelijke notatie**.

§4 Oppervlak en volume

Leerdoel E: Je kunt rekenen aan het **oppervlak** of het **volume** van deze figuren: rechthoek, cirkel, balk, cilinder en bol.

§5 Massa en gewicht

Leerdoel F: Je weet wat het verschil is tussen massa en gewicht en hoe je deze beide kunt meten.

§6 Dichtheid

Leerdoel G: Je kunt uitleggen **wat** dichtheid is, wat je **er aan hebt** en hoe je er aan kunt **rekenen**.

§7 Werken met formules

Leerdoel H: Je kunt formules **herleiden** en formules **invullen** om onbekende grootheden uit te rekenen.

§8 Rekenvraagstukken oplossen

Leerdoel I: Je kunt rekenopgaven **systematisch** aanpakken, bijvoorbeeld met het driestappenplan.

§9 Onderzoek doen: tabellen en grafieken

Leerdoel J: Je weet welke regels er **gelden** voor het bijhouden van een **tabel** tijdens metingen en het maken van een **grafiek** uit een tabel.

§10 Onderzoek doen: een verslag maken

Leerdoel K: Je kunt een verslag maken van een klein onderzoek volgens de wetenschappelijke methode.



In de cockpit van een verkeersvliegtuig zitten allerlei schermen waarop meetinstrumenten af te lezen zijn. De sensoren op het vliegtuig meten bijvoorbeeld de *snelheid* van het vliegtuig, de *luchtdruk* van de buitenlucht en de *temperatuur* van de motoren. Dit zijn allemaal voorbeelden van *grootheden*.

§1 Grootheden en eenheden

Bij onderzoek naar natuurlijke verschijnselen krijg je te maken met allerlei **grootheden**: dingen die je kunt meten. Om bijvoorbeeld iets te zeggen over het kookpunt van een stof als water moet je de *temperatuur* van het water meten terwijl je het verwarmt. Temperatuur is een voorbeeld van een natuurkundige grootheid. Om meer te weten te komen over bliksem wil je meten hoeveel *spanning* er is tussen een wolk en de aarde. Spanning is een ander voorbeeld van een grootheid. Zo zijn er vele grootheden in de natuurkunde. Denk aan afstand, snelheid, kracht, stroomsterkte, luchtdruk, toonhoogte, lichtsterkte of geluidssterkte.

Hoeveel je van een grootheid meet druk je uit in een **eenheid**. Bij de natuurkundige grootheid temperatuur hoort de eenheid *graad Celsius*. Elektrische spanning druk je uit in *volt* en kracht in *newton*.

Een **complete meetwaarde** noemt altijd deze grootheid en eenheid. Bijvoorbeeld: “de snelheid van het vliegtuig is 800 kilometer per uur” of “de temperatuur van het water in het zwembad is 30 graden Celsius”. Als de grootheid of de eenheid ontbreekt is een uitspraak betekenisloos. Dus roepen: “de maximumsnelheid is hier 130” of: “Ik ben 45 kilogram” zijn in het dagelijks taalgebruik heel gewoon, maar natuurkundig gezien ontbreekt er iets.

Grootheden en eenheden worden verkort opgeschreven met een **symbool**. Voor temperatuur wordt de hoofdletter *T* gebruikt en voor de lengte van een voorwerp de kleine letter *l*. Soms lijken de symbolen voor een grootheid onlogisch gekozen: voor kracht wordt een hoofdletter *F* gebruikt en voor snelheid de kleine letter *v*. Dit heeft er vaak mee te maken dat de grootheid in een andere taal wel met die letter begint. Soms worden zelf letters uit het Grieks gebruikt: een grootheid die we verderop in dit boekje tegenkomen, dichtheid, heeft als symbool de letter ρ , welke er uit ziet als een kleine letter *p*, maar dit niet is. Je spreekt deze letter namelijk uit als “rho”.

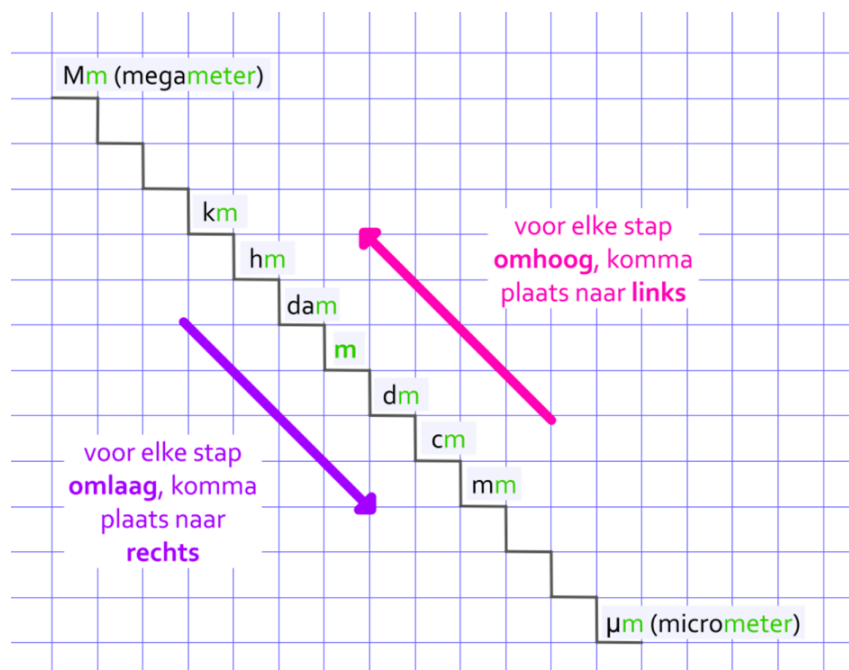
Ook eenheden hebben een afgekorte notatie. Voor meter wordt de kleine letter m gebruikt en voor graad Celsius een hoofdletter C met een kleine cirkel: °C.

Bekijk de tabel achter in dit boek in appendix A. In dit overzicht kun je gedurende het schooljaar bijhouden welke grootheden en eenheden je geleerd hebt en wat de bijbehorende symbolen zijn. In aanloop naar een toets is het sowieso handig om in je schrift een extra overzicht van de grootheden en eenheden te maken die je moet kennen voor die toets en deze tabel uit je hoofd te leren.

Om te zorgen dat onderzoekers wereldwijd kunnen overleggen met elkaar wat ze gemeten hebben is 200 jaar geleden een internationaal systeem van *eenheden* afgesproken. Dit wordt het **SI-stelsel** genoemd. Dit wordt bijna overal ter wereld gebruikt. Wij werken in de natuurkundeles ook alleen met SI-eenheden. Afstanden drukken we dus uit in meters en niet in inches, feet of yards. Temperatuur drukken we uit in graden Celsius en niet in graden Fahrenheit. In de lessen leer je welke SI-eenheden gebruikt worden voor de grootheden waarover je leert.

Voorvoegsels omrekenen

Soms zijn de afgesproken eenheden toch onhandig. Bijvoorbeeld, de afstand van Amsterdam naar Parijs is 490.000 meter en de gemiddelde dikte van een mensenhaar is 0,00007 meter. Dit zijn onhandige getallen. Daarom zijn **voorvoegsels** bedacht zoals kilo en milli. Zo wordt 490.000 meter opgeschreven als 490 kilometer en van 0,00007 meter maken we 0,07 millimeter of zelfs 70 *micrometer*. Heen-en-weer kunnen omrekenen tussen zulke voorvoegsels moet je vlot kunnen. Je hebt op de basisschool waarschijnlijk al een manier geleerd om dit te doen. Deze manier kun je blijven gebruiken als je dat wilt. Je kunt ook onderstaand **trapschema** gebruiken. Het is al ingevuld voor meters maar je kunt het ook gebruiken voor bijvoorbeeld grammen en vele andere grootheden.



Voorbeelden: reken om: a) 5,28 m = ... dm | b) 3,54 mm = ... m | c) 19 cm = ... m

Uitwerking a: Van meter naar decimeter is 1 trede omlaag, dus de komma moet 1 plaats naar rechts: 5,28 m = 52,8 dm

Uitwerking b: Van millimeter naar meter is 3 treden omhoog, dus de komma moet 3 plaatsen naar links: 3,54 mm = 0,00354 m.

Uitwerking c: Van decimeter naar meter is 2 treden omhoog, dus de komma moet twee plaatsen naar links: 19 cm = ... 0,19 m.

Let op: Er zijn **drie situaties** waarin je goed moet opletten omdat je het schema dan iets anders moet gebruiken:

1. Vierkante meter (m²)

Bij het omrekenen van vierkante meters gaat de komma per trede twee plaatsen vooruit of achteruit.

Voorbeeld: reken om 23000 m² = ... hm²

Uitwerking: Van meter naar hectometer is 2 treden omhoog, maar bij oppervlakte gaat de komma dan 2 x 2 = 4 plaatsen naar links, dus 23000 m² = 2,3 hm²

2. Kubieke meter (m³)

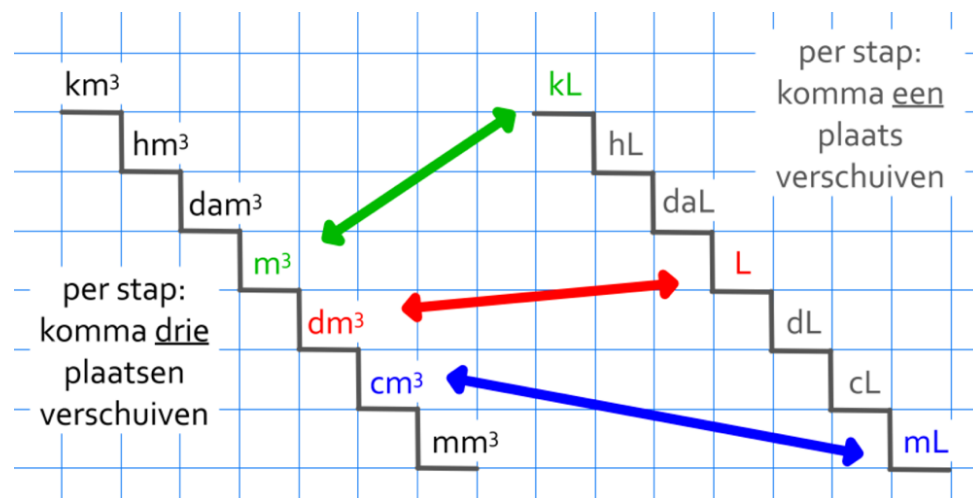
Bij het omrekenen van kubieke meters gaat de komma zelfs drie plaatsen vooruit of achteruit per trede.

Voorbeeld: reken om 0,86 m³ = ... dm³

Uitwerking: Van meter naar decimeter is 1 trede omlaag, maar bij volume gaat de komma dan 1 x 3 = 3 plaatsen naar rechts, dus 0,86 m³ = 860 dm³

3. Omrekenen tussen liters en kubieke meter

Naast de kubieke meter (m³) wordt ook de **liter (L)** gebruikt als volume-eenheid. Omrekenen tussen deze twee eenheden is extra lastig omdat je bij kubieke meters de komma drie plaatsen moet verschuiven per voorvoegsel *maar op de literschaal maar één plaats per voorvoegsel*. Hieronder zie je het trapschema ingevuld voor liters.



Voorbeeld: reken om 2,3 cL = ... dL

Uitwerking: Van centiliters naar deciliters is één trede omhoog dus de komma gaat één stap naar links, dus 2,3 cL = 0,23 dL

Op drie plaatsen kun je **overstappen van de literschaal naar de kubieke meterschaal**. De litereenheden zijn daar *gelijk* aan bepaalde kubieke eenheden. De pijlen geven aan waar dit is. Je ziet dus dat er geen eenheid in de kubieke meterschaal is die even groot is als bijvoorbeeld een hectoliter of deciliter.

Voorbeeld: reken om 8,1 L = ... dm³

Uitwerking: Liters zijn gelijk aan dm³ dus deze is makkelijk: 8,1 L = 8,1 dm³

Soms moet je een eindje klimmen of dalen op een schaal voordat je bij een overstappunt uitkomt.

Voorbeeld: reken om 56 cL = ... dm³

Uitwerking: Bij cL zit geen overstap dus we rekenen eerst om naar L, dus 2 stappen omhoog: 56 mL = 0,56 L. Dan kunnen we overstappen: 0,56 L = 0,56 dm³

Oefenopgaven bij §1

A. Basisopgaven om te kijken of je het snapt:

1. Geef bij elk van onderstaande grootheden aan wat de bijbehorende SI-eenheid is. Als je een antwoord niet weet zoek je dit op op internet.

a. lengte | b. tijdsduur | c. luchtdruk | d. elektrische spanning | e. snelheid
f. lichtsterkte | g. geluidsniveau | h. energie | i. kracht

2. Reken onderstaande waarden om.

a. 5,0 m = ... cm | b. 230 mm² = ... cm² | c. 902 dm³ = ... cm³
d. 17 L = cm³ | e. 83 cL = ... mm³ | f. 0,04 m³ = ... L

3. Reken uit:

a. 6,2 hm + 4,9 km + 7 m + 5,3 dam = ... m
b. 0,0211 dam³ + 30,5 m³ + 42 000 dm³ = ... (kies zelf een eenheid)
c. 23 cm x 4,5 dm x 150 mm = ... cm³

4. Reken onderstaande waarden om. Sommige eenheden ken je waarschijnlijk nog niet, maar dat betekent niet dat je deze niet kunt omrekenen. Veel eenheden die bestaan kun je omrekenen met het trapschema waarbij de komma één plaats verschuift voor elke stap in het schema. Let op: soms worden als symbool voor een eenheid een combinatie van twee letters gebruikt, zoals Hz en Sv.

a. 250 kΩ = ... Ω | b. 7,0 F = ... mF | c. 30 mol = ... mmol | d. 8,4 MHz = ... kHz
e. 364 kSv = ... Sv | f. 300 μV = ... mV

B. Extra oefening voor een ruime voldoende:

5. Geef aan welke grootheden bij deze eenheden horen:

a. kubieke centimeter | b. kilogram | c. graad Celsius | d. liter | e. dag | f. hertz
g. ampère | h. becquerel | i. newton | j. kelvin

6. Reken deze waarden om:

- | | |
|--|---|
| a. 34 800 cm = ... hm | b. 0,000 45 km = ... dm |
| c. 4 300 cm ² = ... m ² | d. 0,002 13 km ² = ... dm ² |
| e. 3 500 000 mm ² = ... m ² | f. 6,5 m ² = ... cm ² |
| g. 18 700 000 cm ³ = ... m ³ | h. 548,6 cm ³ = ... cL |
| i. 0,002 8 mL = ... mm ³ | j. 0,000 456 cm ³ = ... dL |
| k. 18 L = ... cm ³ | l. 12 dm ³ = ... dL |
| m. 0,078 dm ³ = ... mL | n. 0,506 dL = ... cm ³ |
| o. 2 4,09 cL = ... mm ³ | p. 5 000 000 mm ³ = ... dL |

7. Voer onderstaande optellingen uit:

- a. 40 mL + 0,08 L + 24 cm³ + 0,000 021 m³ = ... cL
b. 400 mL + 1,08 dm³ + 0,0024 L + 0,000456 m³ = ... cm³

C. Uitdagende of verdiepende opgaven:

8. Eenheden van **tijdsduur** maken geen gebruik van het decimale stelsel en daardoor kun je het trapschema niet gebruiken. Met nadenken kom je echter een heel eind. Zo weet je wel dat er in een minuut 60 seconden zitten en in een uur weer 60 minuten.

Let op: het symbool voor seconde is "s" en niet "sec". Voor dagen wordt simpelweg "d" gebruikt, voor weken "w", voor maanden "m" en voor jaren "j".

In een jaar zitten 365 dagen. Schrikkeljaren worden doorgaans buiten beschouwing gelaten. Let erop dat als je van dagen naar jaren omrekent dat je dit rechtstreeks doet en niet eerst omrekent naar weken en/of maanden.

Let ook op dat er wel milliseconden, microseconden enzovoort bestaan. Voorvoegsels voor seconde kun je daarom wel weer met het trapschema omreken.

Reken deze waarden om:

- | | |
|--------------------|---------------------|
| a. 2 min = ... s | b. 2,5 u = ... min |
| c. 90 s = ... min | d. 4 d = ... u |
| e. 1 u = ... s | f. 3,75 min = ... s |
| g. 885 s = ... min | h. 40 j = ... d |
| i. 43 ms = ... s | j. 600 μs = ... s |

9. In niet-decimale stelsels, zoals eenheden van lengte in het **U.S. Customary-stelsel** dat in de VS wordt gebruikt kun je niet omrekenen tussen eenheden door de komma te verschuiven. Dit is omdat er niet telkens tien kleine voorvoegseleenheden in een grotere voorvoegseleenheid zitten. In het decimale stelsel zitten bijvoorbeeld 10 cm in een decimeter en daar zitten er weer tien van in een meter, maar in het U.S. Customary-stelsel zit dat als volgt:

1 mile = 1760 yards | 1 yard = 3 feet | 1 foot = 12 inch

met: 1 yard = 0,944 m | 1 foot = 0,3048 m | 1 inch = 2,54 cm

Reken deze waarden om:

a. 200 yards = ... m

c. 15 inch = ... cm

e. 8,0 cm = ... inch

g. 1,54 m = ... feet and ... inches

b. 30.000 feet = ... km

d. 76 m = ... feet

f. 6 feet and 6 inches = ... m

h. 0,5 miles = ... m



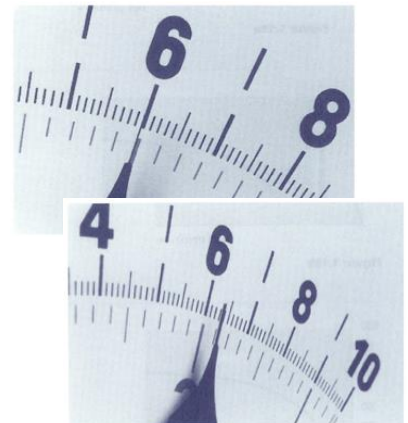
Bij het doen van metingen gebruik je meetinstrumenten. De knaapjes in de foto gebruiken linialen om de lengte van schrijfgerei te bepalen. Voor een goede meting moet je een *betrouwbaar* instrument gebruiken en moet je dit *goed aflezen*.

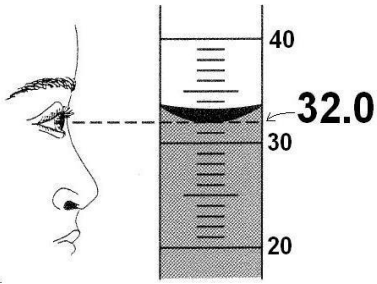
§2 Metingen doen

De **betrouwbaarheid** van een meting hangt af van je meetinstrument: als een meetlint een beetje uitgerekt is geraakt meet je de hele tijd te kleine waarden. Als de schaalverdeling van je thermometer verschoven is kloppen je metingen ook niet meer. Zo kan er van alles mis zijn met een meetinstrument dat de betrouwbaarheid verslechterd en als je metingen doet moet je je hier op zijn minst bewust van zijn. Soms is het slim om meerdere metingen te doen van dezelfde grootte met verschillende meetinstrumenten om de betrouwbaarheid te vergroten.

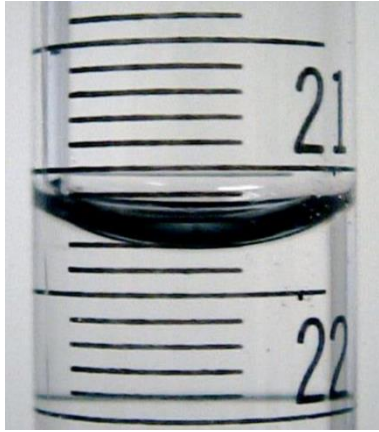
Naast dat je meetinstrument betrouwbaar moet zijn moet je dit ook **goed aflezen**. Dat betekent dat je de schaalverdeling van het instrument recht voor je moet houden en van dichtbij moet kijken wat het instrument precies aangeeft. Je kunt letten op:

- √ *Recht op de schaalverdeling van het instrument kijken:* Als een instrument een wijzer heeft met daarachter een schaalverdeling is het belangrijk dat je loodrecht op deze schaalverdeling kijkt. Als je onder een hoek kijkt zie je de wijzer tegen een ander deel van de schaalverdeling en lees je een te grote of te kleine waarde af. Kijk naar de twee middelste afbeeldingen van een instrument met wijzer hiernaast. In welke foto kun je de juiste meetwaarde aflezen?
- √ *Schaalverdeling op instrument:* Bekijk wat de schaaldelen op het instrument voorstellen. Soms is de afstand tussen twee grote streepjes op de schaal niet onderverdeeld in tien kleinere streepjes, maar in vijf of vier of twintig.
- √ *Instelling van het instrument:* Op de voltmeter hiernaast zijn twee schaalverdelingen te zien: afhankelijk van welk aansluitgatje (3V of 15V) je gebruik moet je de onderste of de bovenste schaal aflezen.

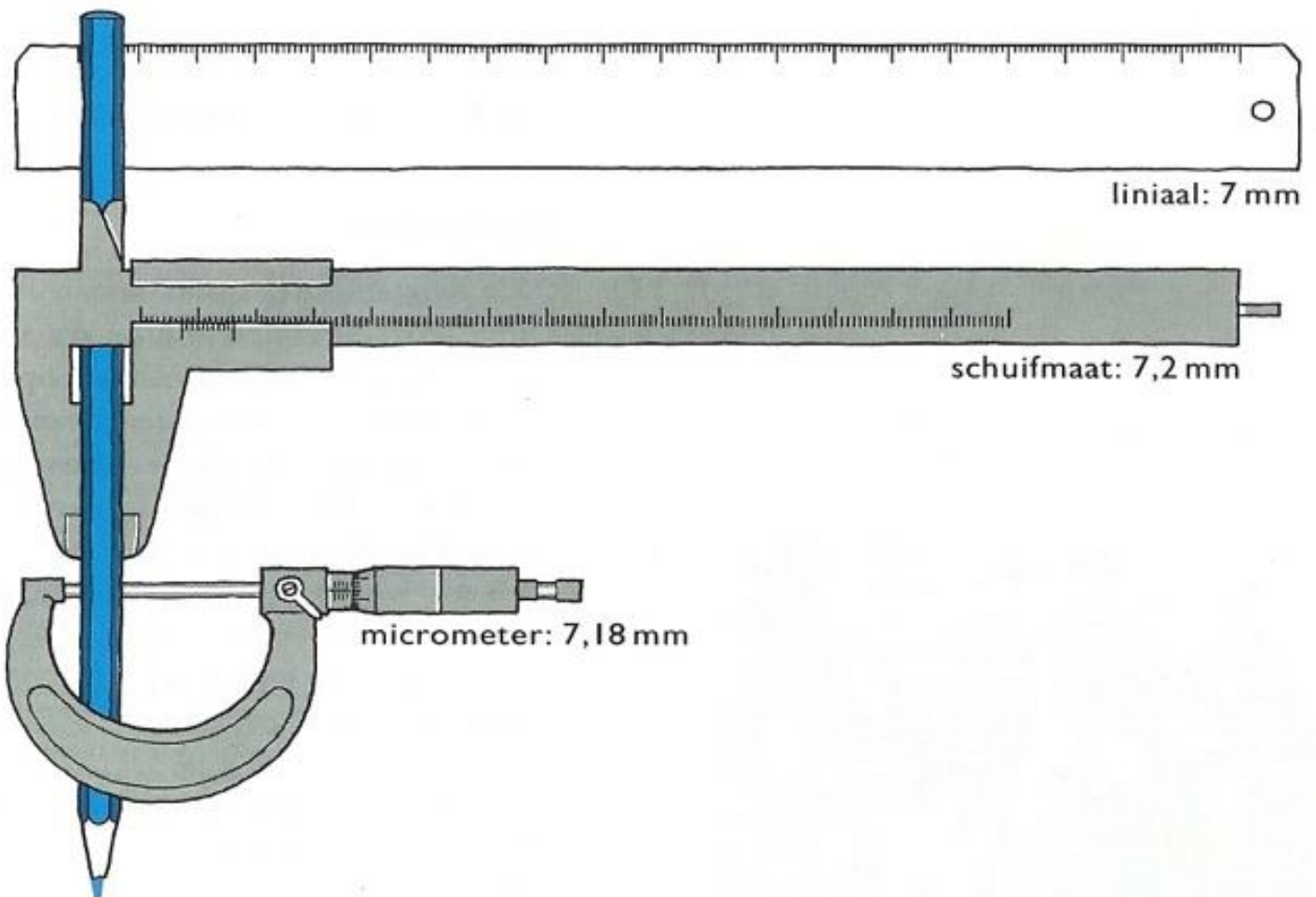




Als je goed kijkt bij het aflezen van **glaswerk** zul je zien dat de vloeistof in de maatcilinder ter hoogte van het vloeistofoppervlak gedeeltelijk tegen de wand omhoog staat. Deze opstaande rand wordt de *meniscus* genoemd. Als je de maatcilinder afleest doe je dit altijd *ter hoogte van de onderkant van het laagste punt van het vloeistofoppervlak*. De schaalverdeling op de maatcilinder is speciaal zo ingesteld dat je dan precies meet hoeveel vloeistof er in de maatcilinder zit. Zo zie je in de bovenste afbeelding hiernaast dat het volume van de vloeistof 32,0 mL is (en niet 34,0 mL) en in de onderste afbeelding 22,7 mL (en niet 22,9 mL).

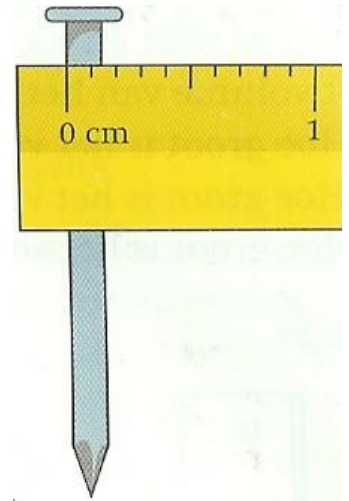
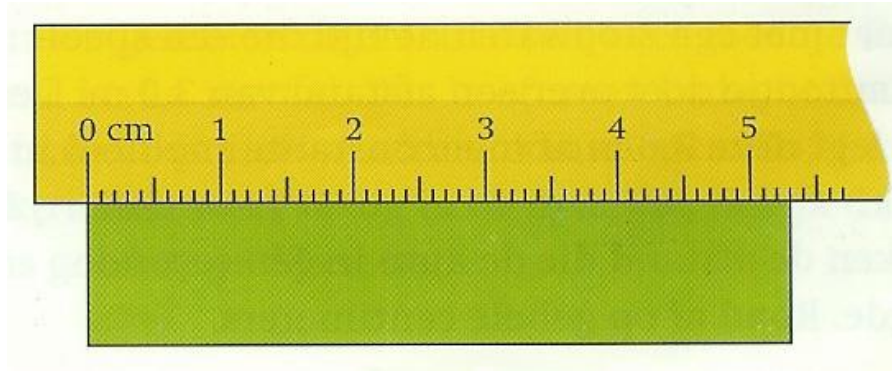


Naast de betrouwbaarheid van het meetinstrument kun je ook nog iets zeggen over de **precisie**. Sommige meetinstrumenten geven een preciezer waarde dan andere. Kijk naar het voorbeeld hieronder. Je ziet hoe de dikte van een potlood gemeten wordt met een liniaal, een schuifmaat en een micrometer. De meting met de micrometer levert meer *significante cijfers* op en is daarom preciezer. Let op: bij sommige meetinstrumenten staan de schaaldelen ver genoeg uit elkaar dat je een extra decimaal kun schatten t.o.v. de decimalen die je al kon aflezen.

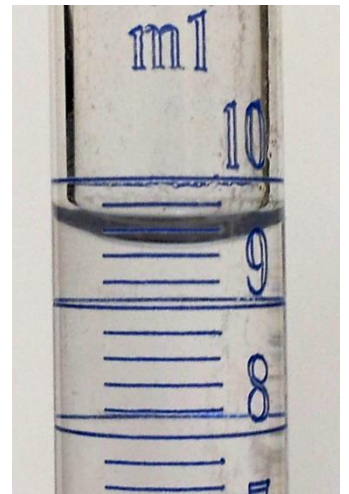
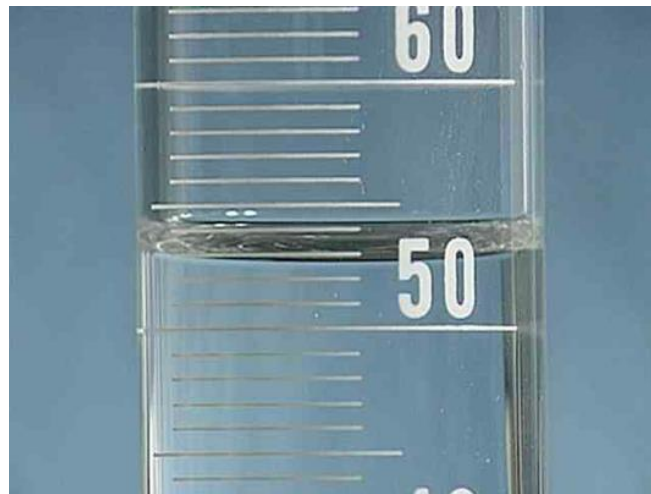


Oefenopgaven bij §2

1. Bekijk de afbeeldingen hieronder en hiernaast. Lees in beide gevallen de meetlat af. Denk erom dat je bij de meeste meetinstrumenten een extra decimaal kunt schatten ten opzichte van wat het kleinste schaaldeel aangeeft. Doe dat hier ook.

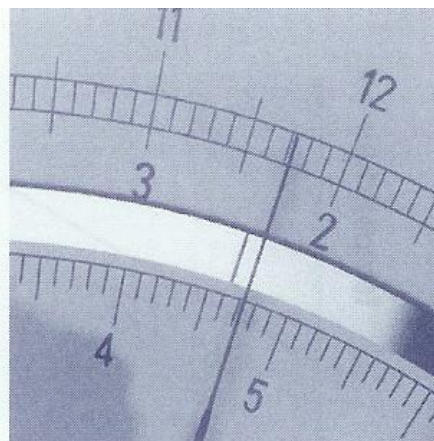
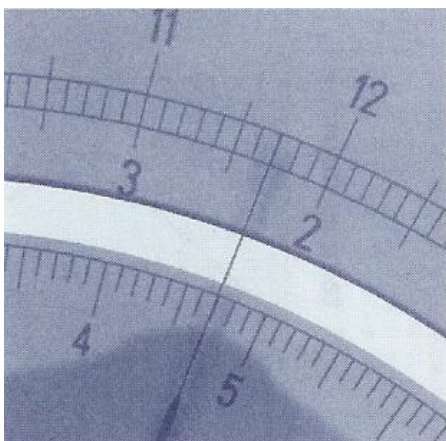


2. Lees deze drie maatcilinders af. De schaalverdeling op elke cilinder is in mL. Denk erom dan je een meniscus op het *diepste* punt en aan de *onderkant* afleest. Probeer een extra decimaal te schatten.

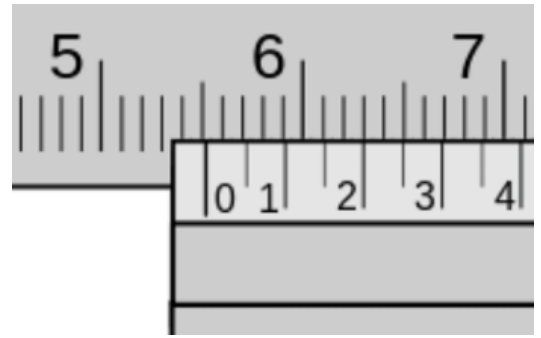
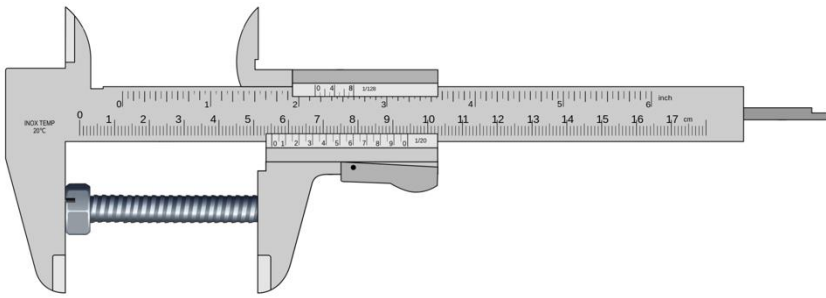


3. Bekijk onderstaande afbeeldingen. Je ziet hier een meetapparaat waar een spiegel achter de schaalverdeling is aangebracht. Denk om het schatten van een extra decimaal als dat kan. Gebruik de bovenste schaalverdeling, dus die met 11 en 12.

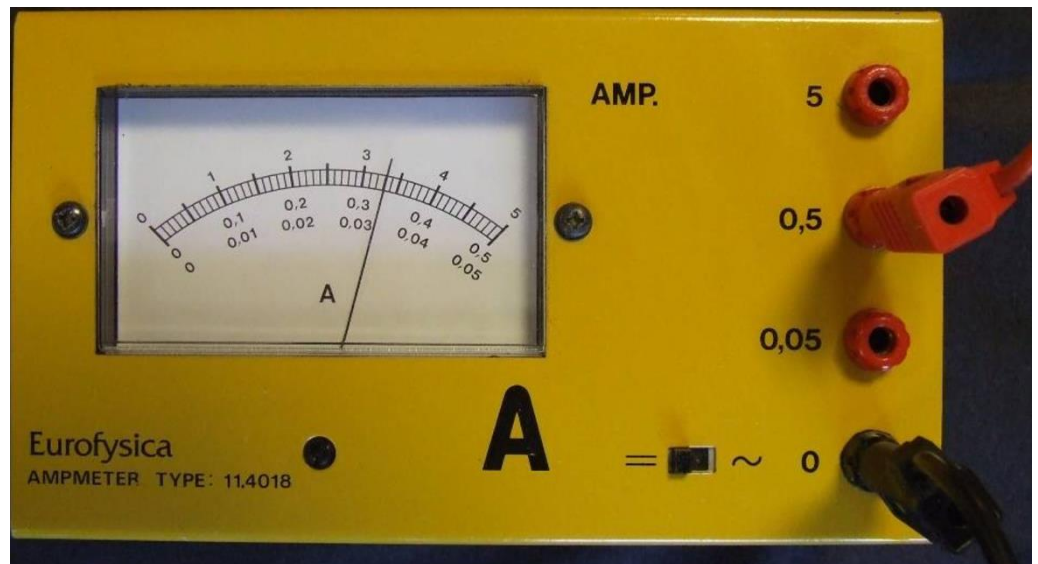
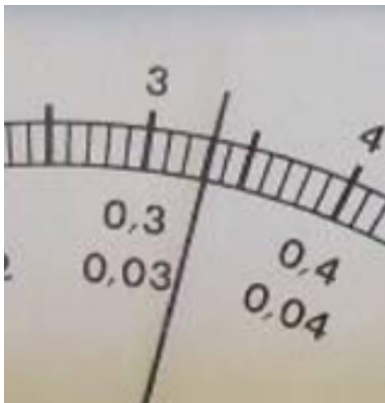
- Lees op beide foto's het meetinstrument af.
- Welke van de twee waarden die je bij a hebt opgegeven klopt waarschijnlijk?



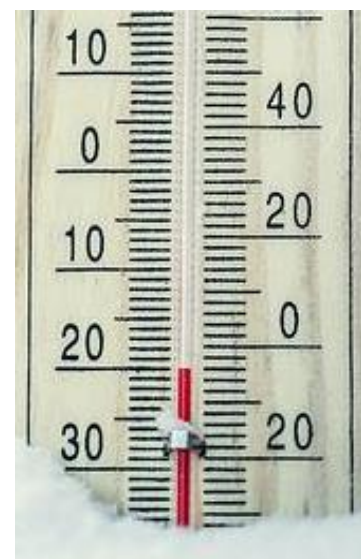
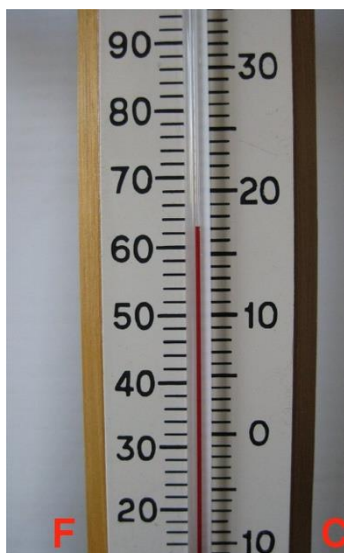
4. Bekijk de afbeelding van een schuifmaat, hieronder. Je kunt de schuifmaat eenvoudig aflezen bij het nulstreepje op het verschuifbare deel. Gebruik de vergroting, rechts, en bepaal de lengte van de metalen bout in de bek van de schuifmaat. Denk om de extra decimaal.



5. Bekijk de foto van een stroommeter hieronder. Elektrische stroom wordt gemeten in de eenheid ampère (symbool: "A"). Sommige meters zoals deze hebben meerdere meetbereiken. Leidt uit de plaatsing van de stekkers aan de rechterkant van de meter af welk bereik in dit geval gebruikt wordt en kies de juiste schaalverdeling. Lees vervolgens af welke waarde de meter aangeeft.



6. Lees onderstaande thermometers af. Op de thermometers met twee schaalverdelingen is de rechter schaalverdeling in graden Celsius.



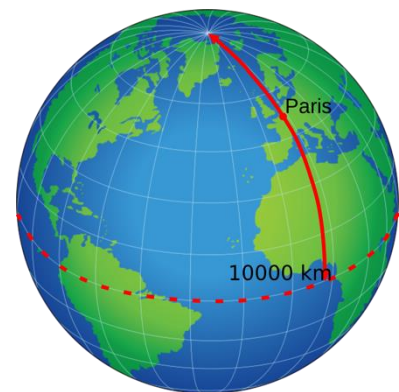


De afstand tussen de aarde en de zon is 150.000.000 km. Het licht dat de zon uitstraalt beweegt net zo snel als al het andere licht in de ruimte: met 300.000 km/s. Omdat de afstand tussen de zon en de aarde zo groot is, is het licht toch nog ruim acht minuten onderweg.

§3 Lengte en afstand

Een van meest fundamentele grootheden is **lengte**. Als het goed is weet je ongeveer wat jouw lichaamslengte in centimeters is. **Afstand** is de lengte tussen twee plaatsen. Je weet waarschijnlijk ook wel wat de afstand je dagelijks aflegt als je van huis naar school fietst. Lengte en afstand zijn bij veel natuurkundige bepalingen belangrijke grootheden die gemeten worden. Je kunt bijvoorbeeld denken aan het uitzetten van stoffen als ze verwarmd worden. Hier moeten architecten rekening mee houden en bij het ontwerpen van constructies. Ook bij sneheidsbepalingen is het meten van afstand nodig. Soms gaat het in de natuurkunde om hele kleine lengten zoals de grootte van een atoom of juist hele grote afstanden zoals die in het heelal.

Toen 200 jaar geleden het SI-stelsel werd ingevoerd is de afstand gemeten van de Noordpool tot de evenaar. Het tienmiljoenste deel van die afstand werd één meter genoemd. Er is toen een platina staaf van precies die lengte gemaakt. Deze staaf wordt nog steeds in Parijs bewaard en heet de **standaardmeter**. Kopieën van deze staaf zijn verspreid over de wereld. Nederland heeft er ook één. Deze wordt bewaard in een kluis in het Nederlands Meetinstituut in Delft.



$$2,408 \times 10^3 \text{ m}$$

Grote en kleine afstanden: wetenschappelijke notatie

In plaats van voorzetsels om hele grote en hele kleine getallen handiger op te schrijven, gebruiken wetenschappers ook de **wetenschappelijke notatie**, zoals hiernaast te zien is. In deze notatie staat telkens alleen het voorste cijfer vóór de komma, de rest staat erachter en dáár weer achter staat een **10^a - notatie**. Met het getal **a** wordt dan aangegeven **hoeveel plaatsen de komma eigenlijk nog naar rechts of naar links verplaatst moet worden** om de “echte” waarde te krijgen. Zo blijkt uit het getal 3 in het voorbeeld hiernaast dat de waarde $2,408 \times 10^3 \text{ m}$ eigenlijk gelezen moet worden als 2408 m.

Voorbeeld: de afstand tussen de aarde en de zon is: $1,50 \times 10^8 \text{ km}$. Noteer deze afstand in gewone notatie.

Uitwerking: Het getal 8 geeft aan dat de komma eigenlijk nog acht plaatsen naar rechts moet, dus de afstand tussen de aarde en de zon is 150 000 000 km.

Als er een minteken voor het getal **a** staat betekent dit dat de komma eigenlijk nog een aantal plaatsen naar links moet.

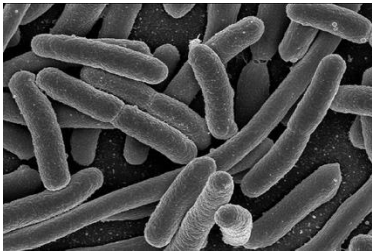
Voorbeeld: De lengte van een soort bacterie is $6,0 \times 10^{-5} \text{ m}$. Geef de gewone notatie.

Uitwerking: Het getal -5 geeft aan dat de komma eigenlijk nog vijf plaatsen naar links moet. De lengte van de bacterie is dus 0,000060 m. In plaats van wetenschappelijke notatie had je de lengte natuurlijk ook compact kunnen opschrijven met een voorvoegsel: $60 \mu\text{m}$. Beide zijn goed.

Van wetenschappelijke notatie naar gewone notatie omrekenen is makkelijker dan andersom. Als je een waarde in gewone notatie naar wetenschappelijke notatie wilt omrekenen is het handig om eerst te bedenken hoeveel plaatsen de komma verschoven moet worden en daarna pas of er een minteken voor het getal **a** moet komen of niet.

Voorbeeld: De gemiddelde dikte van een vel A4-papier is 0,00073 m. Geef deze dikte in wetenschappelijke notatie.

Om deze waarde in wetenschappelijke notatie te schrijven moet de komma achter de zeven komen te staan: $7,3 \times 10^a$. De komma is daarvoor vier plaatsen naar rechts geschoven om wetenschappelijke notatie te krijgen. In het echt moet de komma dus eigenlijk weer vier plaatsen naar links om op de juiste waarde uit te komen. Daarom komt er een minteken voor de vier: De dikte van het papier is dus $7,3 \times 10^{-4} \text{ m}$.



Oefenopgaven bij §3

A. Basisopgaven om te kijken of je het begrepen hebt:

1. Reken deze waarden om van wetenschappelijke notatie naar gewone notatie. Verander de eenheid niet en gebruik geen ander voorvoegsel.

- a. $3,90 \times 10^2$ m | b. $8,814 \times 10^5$ mm | c. $1,45 \times 10^6$ μ g | d. $4,099 \times 10^{-3}$ m
e. $6,75 \times 10^{-9}$ m | f. $1,05 \times 10^1$ L | g. $2,98 \times 10^{-1}$ s | h. 3×10^8 m/s

2. Reken deze waarden om van gewone notatie naar wetenschappelijke notatie. Verander de eenheid niet en gebruik geen ander voorvoegsel.

- a. 2550 m | b. 520 000 g | c. 0,00032 s | d. 0,019 L | e. 150 000 000 km
f. 0,000 000 000 120 m | g. 26 m² | h. 0,43 m³

3. Bekijk de rekenmachine-schermafdrucken hiernaast. Reken deze waarden om naar gewone notatie.

B. Extra oefenen voor een ruime voldoende:

4. Reken deze waarden om van wetenschappelijke notatie naar gewone notatie of andersom.

- a. $23,9 \times 10^5$ m | b. 55560 m | c. $2,47 \times 10^{-3}$ g | d. 0,00000091 s
e. $3,2 \times 10^{-6}$ m | f. 98 m² | g. $7,20 \times 10^2$ L | h. 61 g

5. Reken deze waarden om naar de correcte wetenschappelijke notatie waarbij er maar één getal voor de komma staat.

- a. $48,19 \times 10^6$ km | b. $0,550 \times 10^4$ m | c. 247×10^6 mg | d. $10,09 \times 10^{-3}$ m
e. $52386,75 \times 10^{-10}$ m | f. 98×10^1 m² | g. 620×10^{-2} L | h. $0,0060 \times 10^3$ g

C. Uitdagende of verdiepende opgaven:

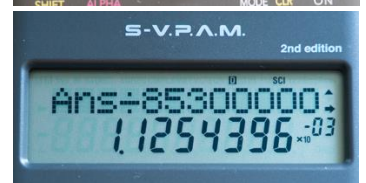
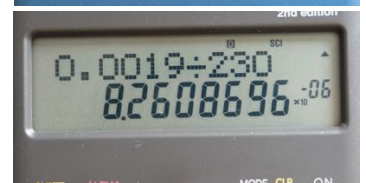
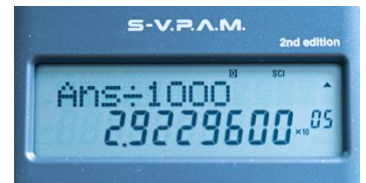
6. Reken deze waarden van wetenschappelijke notatie om naar gewone notatie of andersom.

Let op: je moet er nu ook rekening mee houden dat het voorvoegsel verandert.

- a. $8,6 \times 10^3$ m = ... cm | b. 0,00000021 g = ... mg | c. 5×10^{-5} mL = ... L
d. $0,0032$ mm³ = ... m³ | e. 1,20 V = ... mV | f. $4,47$ hm² = ... m²

7. De afstand van de zon naar de dichtstbijzijnde ster, Alpha Centauri, is 4,367 lichtjaar, oftewel $4,131 \times 10^{16}$ m. Stel dat je naar deze ster probeert te komen met een ruimtevaartuig dat een maximumsnelheid heeft van 50 000 m/s. Hoe lang zou je dan over de reis doen?

8. Een ijzeratoom heeft een lengte van ongeveer 126 pm. Reken uit hoeveel ijzeratomen er achter elkaar passen in een ijzeren liniaal van 50 cm lang. Zoek op internet uit wat een pm is.





Om te kunnen zweven moet een ballon een voldoende groot *volume* warme lucht bevatten. Daarnaast moet de ballon een zo klein mogelijk *buitenoppervlak* hebben omdat dat bepaalt hoeveel warmte de ballon per seconde verliest aan de omgeving. Oppervlakte en volume zijn belangrijke grootheden in de natuurkunde.

§4 Oppervlakte en volume

Van een aantal veelvoorkomende figuren moet je de **omtrek**, de **oppervlakte** of het **volume** kunnen uitrekenen. Daar heb je onderstaande formules bij nodig.

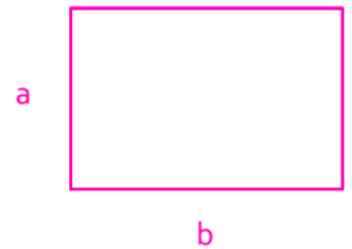
1. Oppervlakte van een rechthoek

Voor de oppervlakte wordt de letter A gebruikt (van het Engelse “Area”). De oppervlakte van een rechthoek bereken je met:

$$A = a \cdot b$$

Voorbeeld: Bereken het oppervlak van een rechthoek met $a = 5 \text{ cm}$ en $b = 12 \text{ cm}$.

Uitwerking: $A = a \cdot b = 5 \text{ cm} \cdot 12 \text{ cm} = 60 \text{ cm}^2$



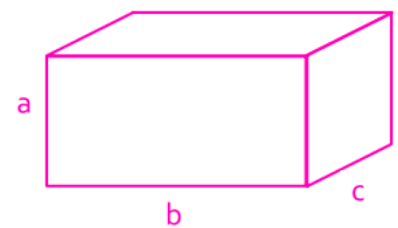
2. Het volume van een balk

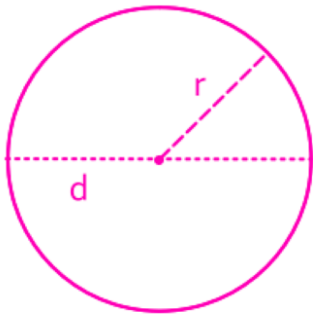
Bij de wiskunde wordt het volume meestal de *inhoud* genoemd. Die twee zijn niet precies hetzelfde. Met volume wordt in ieder geval bedoeld: de hoeveelheid ruimte die iets inneemt. In de natuurkunde wordt de letter V gebruikt om het volume van een ruimtefiguur aan te geven. Het volume van een balk bereken je met de formule:

$$V = a \cdot b \cdot c$$

Voorbeeld: Bereken het volume van een balk met $a = 2 \text{ dm}$, $b = 9 \text{ dm}$ en $c = 6 \text{ dm}$

Uitwerking: *balk*, $V = a \cdot b \cdot c = 2 \text{ dm} \cdot 9 \text{ dm} \cdot 6 \text{ dm} = 108 \text{ dm}^3$





3. Omtrek van een cirkel:

De afstand van de ene kant naar de andere kant van de cirkel via het middelpunt heet de **diameter** (symbool: d). De helft van de diameter noem je de **straal** (symbool: r). De straal is dus de afstand van het middelpunt tot de rand. De omtrek van een cirkel bereken je met een formule:

$$\text{Omtrek} = 2 \cdot \pi \cdot r \quad \text{TIP: voor het getal pi } (\pi) \text{ kun je gewoon "3,14" intikken.}$$

Voorbeeld: Bereken de omtrek van een cirkel met $r = 8,0$ cm

$$\text{Uitwerking: omtrek} = 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot 3,14 \cdot 8,0 \text{ cm} = 50,24 \text{ cm}$$

4. Oppervlakte van een cirkel.

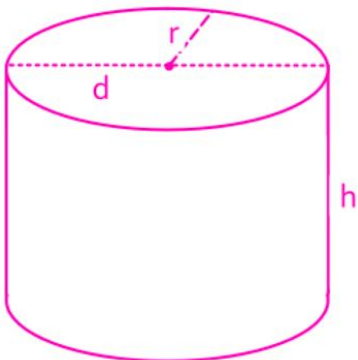
De oppervlakte van een cirkel bereken je met:

$$A = (r)^2 \cdot \pi$$

De haakjes zijn in deze formule niet verplicht maar kunnen de leesbaarheid van je berekeningen vergroten.

Voorbeeld: Bereken de oppervlakte van een cirkel met $r = 8,0$ cm

$$\text{Uitwerking: } A = (r)^2 \cdot \pi = (8,0 \text{ cm})^2 \cdot 3,14 = 64 \text{ cm}^2 \cdot 3,14 = 201 \text{ m}^2$$



5. Volume van een cilinder.

Een cilinder is een ruimtefiguur met een cirkel als **grondvlak**. Aan de bovenkant en aan de onderkant zit dus een cirkel. Het gedeelte daartussen heet de **mantel**. De hoogte van de cilinder is aangegeven met een h . Je berekent het volume van een cilinder met een formule:

$$V = (r)^2 \cdot \pi \cdot h$$

Voorbeeld: Bereken het volume van een cilinder met $r = 3$ cm en als hoogte 8 cm.

$$\text{Uitwerking: } V = (r)^2 \cdot \pi \cdot h = (3 \text{ cm})^2 \cdot 3,14 \cdot 8 \text{ cm} = 9 \cdot 3,14 \cdot 8 \text{ cm} = 226 \text{ cm}^3$$

6. Oppervlakte van een cilindermantel.

Als je de cilinder open zou knippen en je de mantel zou uitvouwen zou je zien dat dit dus een opgerolde rechthoek is. De oppervlakte van de mantel kun je berekenen met:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$$

Voorbeeld: Bereken de oppervlakte van de cilindermantel als $r = 3$ cm en $h = 8$ cm

$$\text{Uitwerking: } A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h = 2 \cdot 3,14 \cdot 3 \text{ cm} \cdot 8 \text{ cm} = 151 \text{ cm}^2$$

7. Oppervlakte van een bol.

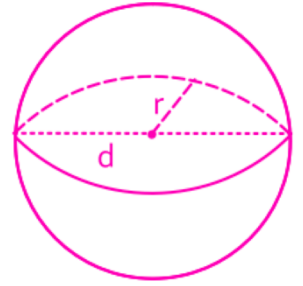
Het totale buitenoppervlak van een bol bereken je met een formule waar ook weer het getal π (pi) in voorkomt. Je weet dat dit getal altijd 3,14 is. Ook heeft een bol een straal, net zoals een cirkel.

De formule voor het oppervlak luidt als volgt:

$$A = 4 \cdot (r)^2 \cdot \pi$$

Voorbeeld: Bereken de oppervlakte van een bol met $r = 5,2$ cm

Uitwerking: $A = 4 \cdot (r)^2 \cdot \pi = 4 \cdot (5,2 \text{ cm})^2 \cdot 3,14 = 4 \cdot 27,04 \cdot 3,14 = 340 \text{ cm}^2$



8. Volume van een bol.

Om het totale volume van een bol te berekenen gebruik je onderstaande formule. Er zit het getal $4/3$ in, wat je ook kunt opschrijven als 1,33. Je mag zelf kiezen welke je invoert in je rekenmachine. Je kunt deze 1,33 zelfs al vooraf verrekenen met pi.

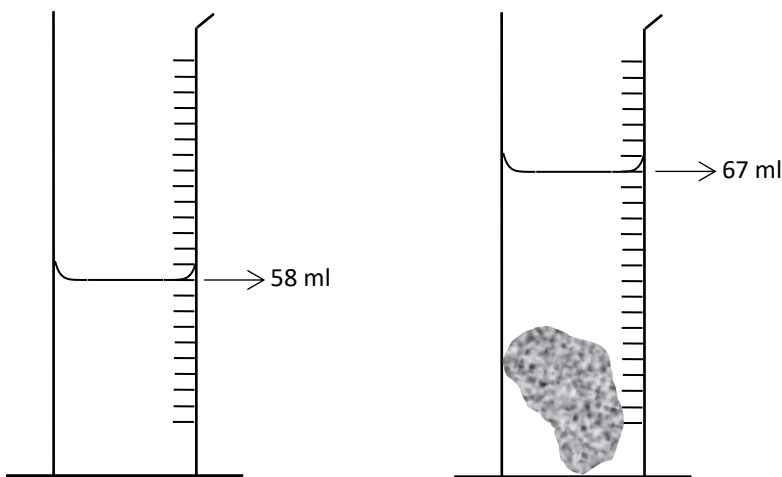
$$V = 4/3 \cdot (r)^3 \cdot \pi \quad \text{of: } V = 1,33 \cdot (r)^3 \cdot \pi \quad \text{of: } V = 4,18 \cdot (r)^3$$

Voorbeeld: Bereken het volume van een bol met $r = 5,2$ cm

Uitwerking: $V = 1,33 \cdot (r)^3 \cdot \pi = 1,33 \cdot (5,2 \text{ cm})^3 \cdot 3,14 = 588 \text{ cm}^3$

Volume van onregelmatige voorwerpen

Van onregelmatige voorwerpen kun je het volume niet eenvoudig berekenen uit de afmetingen. Je kunt dan de **onderdompelingsmethode** gebruiken. In onderstaande figuur staat een maatcilinder twee keer afgebeeld. In de linker afbeelding in de maatcilinder bevindt zich alleen water. We lezen het volume van het water af op 58 mL. In de rechter maatcilinder is een steen in het water gedaan waarvan het volume willen weten. Nu lezen we de maatcilinder opnieuw af: 67 mL. Het verschil tussen de twee afgelezen waarden is het volume van het steentje: 9 mL, oftewel 9 cm^3 .



Oefenopgaven bij §4

Tip: als je voor je gevoel nog niet goed begrijpt hoe je oppervlakte en volume kunt uitrekenen dan kun je de voorbeelden in deze paragraaf zelf doorrekenen. Bedenk dan de uitwerking en probeer de voorbeelden te maken alsof het opgaven zijn.



A. Basisopgaven om te kijken of je alles snapt:

1. Het basin in de afbeelding is 56 m lang en 49 m breed. De diepte van het basin is bijna overal 3,2 m.

- Reken uit wat de oppervlakte van het basin is.
- Reken uit hoeveel water er in het basin zit. Geef je antwoord in m^3 en in L.



2. In de watertoren in de afbeelding is een cilinder te herkennen. Het reservoir van de toren is 5,2 m hoog en heeft een straal van 4,9 m. Het dak en de bodem zijn plat en rond. Het water staat op dat moment tot 2,0 m onder het dak van het reservoir.

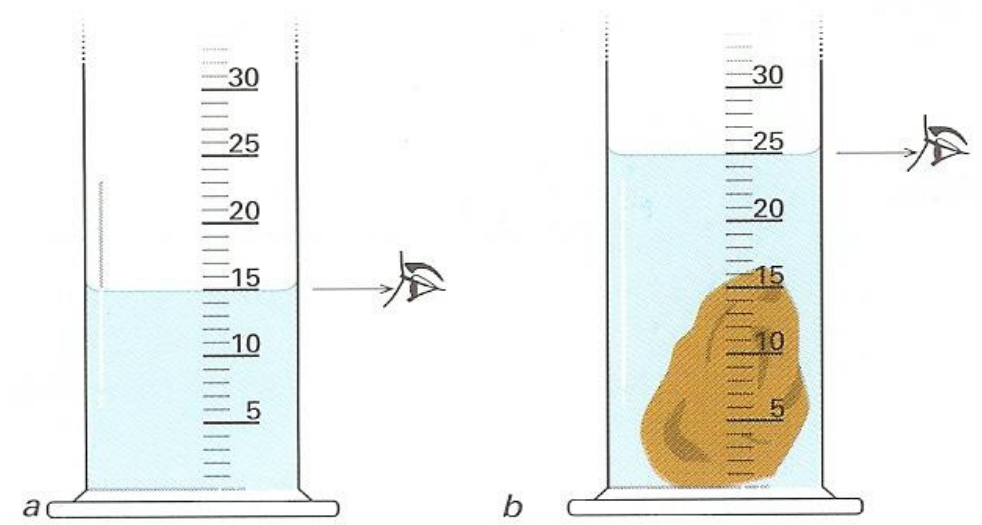
- Reken uit wat de oppervlakte van het dak van het reservoir is.
- Reken uit hoeveel water er maximaal in het reservoir past.
- Reken uit hoeveel water er op dit moment in het reservoir zit.
- Bereken de totale buitenoppervlakte van het reservoir, dus van de wand, het dak en de bodem samen.



3. De bolwoningen bij Den Bosch zoals in de afbeelding hebben een straal van 8,0 meter. Een bol is een energiezuinige vorm voor een woning omdat deze het kleinste buitenoppervlak heeft ten opzichte van het totale volume van de bol. In de winter verlies je alleen warmte aan het oppervlak, namelijk.

- Bereken wat de totale oppervlakte van het bolgedeelte van een woning is.
- Reken uit wat het totale volume van het bolgedeelte is.

4. Bepaal het volume van de steen in onderstaande afbeelding. De schaalverdeling op de maatcilinders in is milliliter. Geef je antwoord in mL, cm^3 en mm^3 .



B. Extra oefenen voor een ruime voldoende:

5. Op een meer drijft een ronde olieplas (ongeveer zoals op de foto, maar niet helemaal) met een diameter van 26 m en overal een dikte van 0,80 mm.

- Welke ruimtefiguur herken je in de olieplas?
- Reken uit wat de straal van de olieplas is. Geef het antwoord in dm.
- Reken de dikte van de olieplas om naar dm.
- Bereken het volume van de olie in dm^3 . (oftewel liter).



6. Standaard A4-papier heeft als afmetingen 29 cm x 21 cm. De dikte van het papier is 80 μm . In een pak papier zitten 500 blaadjes.

- Welke ruimtefiguur herken je in een blaadje A4?
- Reken uit wat de oppervlakte van een blaadje A4 is.
- Reken de dikte van een blaadje A4 om naar cm.
- Bereken hoe dik het pak papier is.
- Reken uit hoeveel cm^3 papier er in het pak zit.

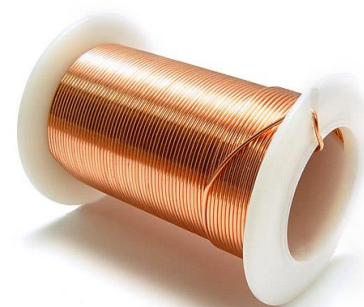


7. Van een blokje aluminium is bekend: het volume ($V = 28,9 \text{ cm}^3$) en twee van de zijden ($a = 3,1 \text{ cm}$ en $b = 2,8 \text{ cm}$). Reken uit wat de lengte van zijde c is.

8. Van een cirkel is de omtrek 20,0 cm. Reken uit wat de straal van de cirkel is.

9. Bekijk de afbeelding van een lang stuk koperdraad op een klos. Het koperdraad heeft een diameter van 0,8 mm. De draad is 20,0 m lang.

- Welke ruimtefiguur herken je in de draad?
- Bereken de straal van de draad in cm.
- Reken uit wat het volume van de draad is. Geef het antwoord in cm^3 .



C. Uitdagende of verdiepende opgaven:

10. Op een balkon met een opstaande rand en een verstopte afvoer (afmetingen: 1,2 m x 2,0 m) is tijdens een regenbui 75 liter water gevallen.

- Reken uit hoe diep de waterlaag is die is ontstaan op het balkon. Geef je antwoord in millimeters.
- Reken uit hoeveel liter water er per vierkante meter is gevallen in de bui.

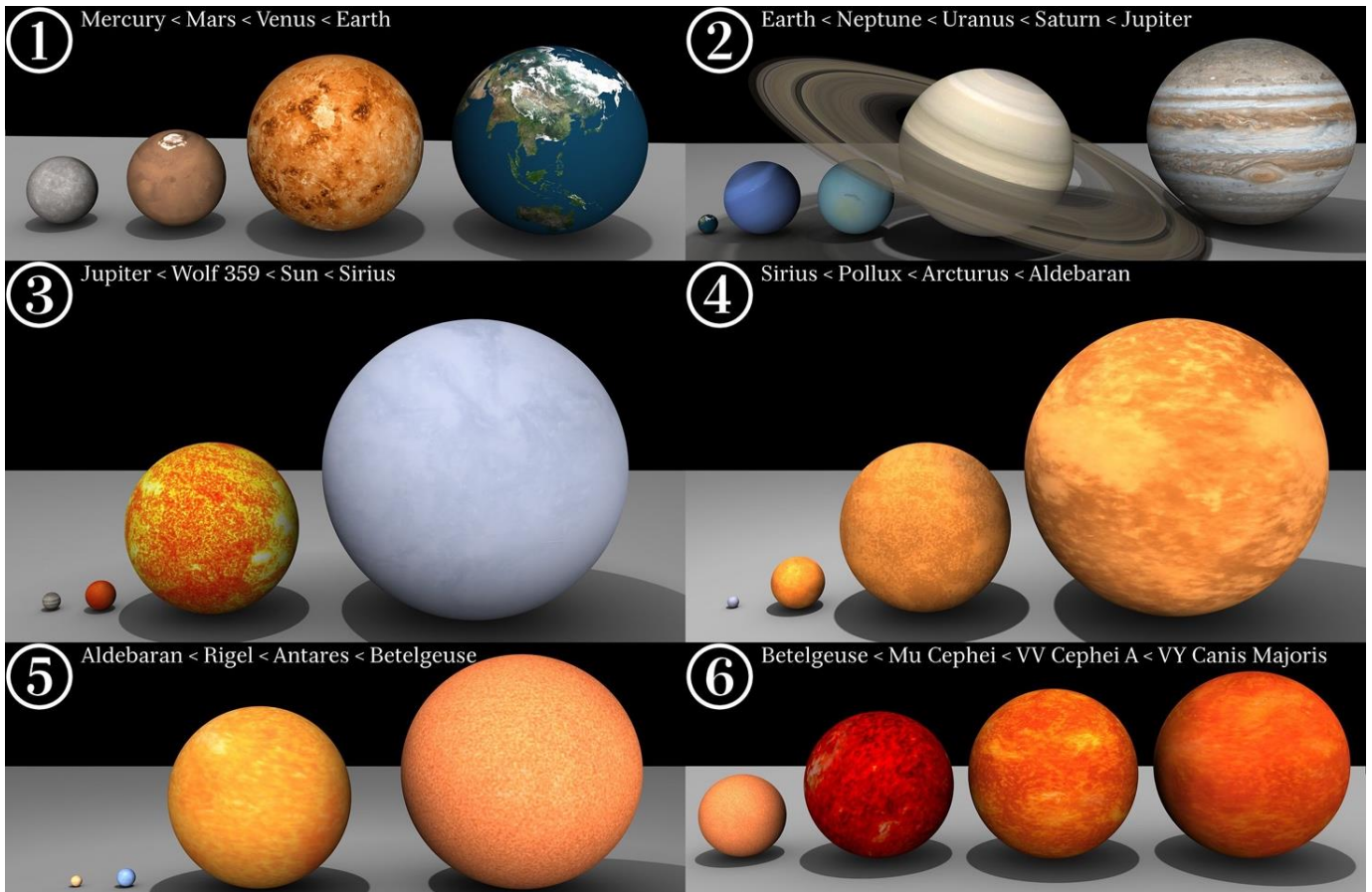
11. Van een cirkel is de omtrek 76 cm. Reken uit wat de oppervlakte van de cirkel is.

12. Bereken van deze ruimtefiguren hoeveel oppervlak ze hebben. Probeer van tevoren te bedenken welke van de twee waarschijnlijk het grootste oppervlak heeft.

- Bol met volume van 200 cm^3 | b. Kubus met volume van 200 cm^3

13. De zon heeft een diameter van $1,391 \times 10^6$ km. De diameter van de aarde is 12 742 km. Een van de grootste sterren die tot op heden ontdekt is, is Canis Majoris met een diameter die 1420 maal die van de zon is.

- Bereken het volume van de zon in km^3 .
- Reken uit hoe vaak de aarde in de zon past.
- Reken uit hoe vaak de zon in Canis Majoris past.
- Reken uit hoeveel tegels van 30 cm x 30 cm je nodig zou hebben om Canis Majoris te betegelen.





Hier zie je de gewichtsheffer Eddie Hall die op dit moment het wereldrecord op de *Deadlift* houdt. Bij een officiële meting tijdens een wedstrijd wist hij maar liefst 505 kg aan *massa* van de grond op te tillen tot de hoogte die je in de foto ziet. Let op dat we in de natuurkunde in dit geval spreken van *massa*. Het woord *gewicht* wordt voor iets anders gebruikt.

§5 Massa en gewicht

Bij een schepje suiker, een zak aardappelen en een bakje aardbeien gaat het steeds om een *hoeveelheid*. De hoeveelheid die we hebben van een bepaald soort materiaal of stof noemen we **massa**. Een schepje, een zak of een bakje is in de natuurwetenschap echter te onnauwkeurig. De massa is een grootte die volgens het *SI-stelsel* moet worden gemeten in kilogram (kg).

In het dagelijks leven worden ook vaak de volgende eenheden voor massa gebruikt. Hoewel dit geen SI-eenheden zijn kom je ze wel tegen in opgaven:

1 ons = 100 g	= 0,1 kg
1 pond = 500 g	= 0,5 kg
1 ton	= 1 000 kg

Massa versus gewicht

Er wordt vaak in het dagelijks taalgebruik gesproken over het **gewicht** van een persoon of voorwerp wanneer eigenlijk de massa wordt bedoeld. Massa is echter niet hetzelfde als gewicht. Met het *gewicht* van een voorwerp bedoelen we in de natuurkunde de *kracht waarmee dat voorwerp tegen de grond of een ander dragend oppervlak wordt aangedrukt, bijvoorbeeld door de zwaartekracht*. Aangezien de zwaartekracht op bijvoorbeeld de maan kleiner is dan op aarde zal het gewicht van een voorwerp op de maan kleiner zijn dan het gewicht van dat voorwerp op aarde. De hoeveelheid stof waaruit dit voorwerp bestaat blijft echter gelijk en daarmee de massa ook. Massa is dus een eigenschap van het voorwerp en die is onafhankelijk van op welke planeet dat voorwerp is.





Hiernaast zie afbeeldingen van een **weegschaal** (boven). De weegschaal werkt met een schaal die verbonden is met een veermechanisme. Hoe harder het voorwerp door de zwaartekracht tegen de schaal wordt gedruwd, hoe dieper de veer wordt ingedrukt. Het mechanisme geeft een waarde aan die hoort bij hoe ver de veer is ingedrukt. Hoe groter de zwaartekracht op een bepaalde planeet is, hoe groter dus het gewicht van het voorwerp op de schaal en hoe dieper de veer van de weegschaal wordt ingedrukt. Een weegschaal meet dus gewicht en niet massa. *Desalniettemin kun je op een weegschaal die je toch alleen op aarde gebruikt en die stil staat toch een schaalverdeling in kilogram aangeven omdat er in dat geval wel een relatie is tussen de massa en het gewicht.*



Bij de **balans** (afbeelding hiernaast) horen **massastukken** waarvan de massa's bekend zijn. De balans heeft twee schalen. Eén schaal om een voorwerp op te leggen waarvan je de massa wilt weten en één schaal voor de massastukken. Verder heeft de balans een wijzer en een schaalverdeling. Als de wijzer van een balans in het midden van de schaalverdeling staat geldt: *totale massa links = totale massa rechts*. Je kunt dan makkelijk de massa van het te wegen voorwerp bepalen door de totale massa van de massastukken op de andere schaal uit te rekenen. Bedenk je dat een balans dezelfde waarde voor de massa van een bepaald voorwerp geeft onafhankelijk van op welke planeet je bent. Dit klopt ook want massa is een eigenschap van een voorwerp en zou op andere planeten niet anders moeten zijn.



Oefenopgaven bij §5

1. Reken deze massa's om:

- a. 6,5 ons = ... g | b. 3 pond = ... kg | c. 50 ton = ... kg | d. 1,2 pond = ... ons
 e. 300 kton = ... kg | f. 4,0 ons = ... pond

2. Op de ene schaal van een balans liggen vijf massastukken, waarvan de massa bekend is: twee van 10 g, één van 2 g, één van 500 mg en één van 200 mg. Op de andere schaal ligt één voorwerp. De balans is in evenwicht. Hoe groot is de massa van het voorwerp in kg?

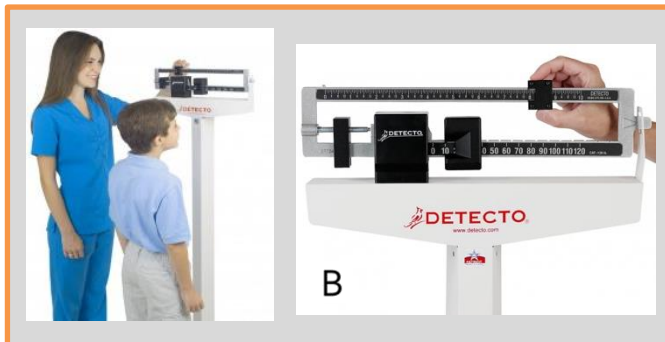
3. In de landen van het Engelse gemeenebest worden officieel SI-eenheden gebruikt, maar voor huishoudelijke toepassingen gebruikt men ook nog de oude eenheden uit het *British Imperial*-systeem. Deze massa-eenheden komen daarin voor:

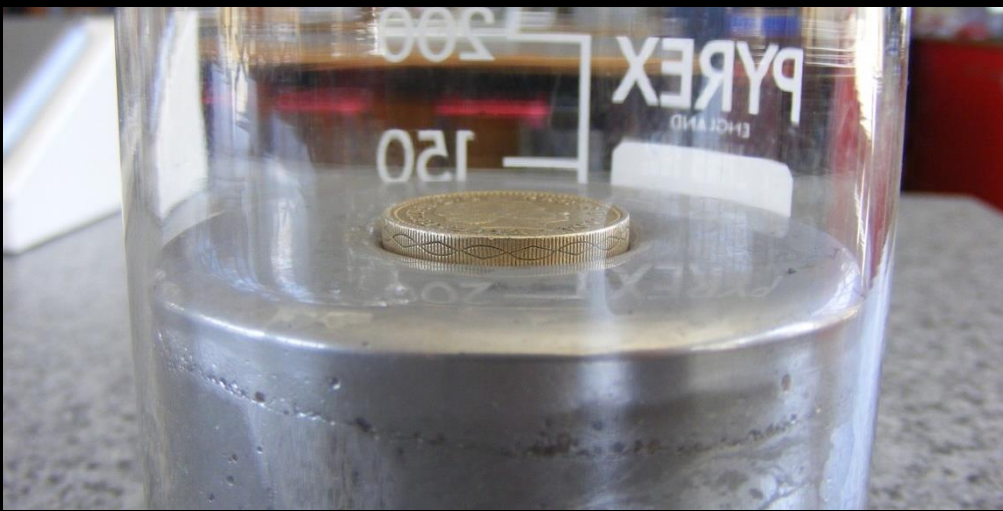
1 grain	= 0,065 g
1 pound = 7000 grain	= 0,45 kg
1 stone = 14 pound	= 6,35 kg

Voer nu onderstaande omrekeningen uit:

- a. 200 pounds = ... kg | b. 12 stone = ... kg | c. 39 grain = ... g | d. 60 kg = ... pounds
 e. 6 stone and 3 pounds = ... kg | f. 87 kg = ... stone and ... pounds

4. Bekijk onderstaande afbeeldingen. Welke van deze instrumenten meten *massa* en welke meten *gewicht*? Tip: vraag je bij elk apparaat af of het op de maan een andere waarde zal laten zien dan op aarde.





De stalen munt blijft liggen op de vloeistof (kwik) omdat de *dichtheid* van het staal ($8,0 \text{ g/cm}^3$) waar de munt van gemaakt is kleiner is dan die van kwik ($13,5 \text{ g/cm}^3$). Zelfs als je de munt met je vinger diep de vloeistof induwt komt deze meteen weer bovendrijven.

§6 Dichtheid

Als je van stoffen zoals ijzer, aluminium of lood wilt weten welke stof de ‘zwaarste’ is, dan mag je niet zomaar de massa van willekeurige stukken met elkaar vergelijken. Je moet ervoor zorgen dat die stukken even groot zijn. Of nauwkeuriger: je moet zorgen dat ze hetzelfde volume hebben. Om gemakkelijk de massa’s van stoffen te kunnen vergelijken met elkaar, is afgesproken om van elke stof het aantal gram van één kubieke centimeter (zie blokjes in de afbeelding, rechts) te nemen. Dit noemt men de dichtheid:



De **dichtheid** van een stof is de *massa* (in gram) van één cm^3 van die stof.

In de tabel hiernaast zie je van een paar stoffen de dichtheid. Je ziet dat elke stof een eigen dichtheid heeft. Dichtheid is dus een **stofeigenschap**: iets dat een waarde heeft die voor elke stof anders is en die niet verandert. Achterin dit document vind je in appendix B een grotere lijst van dichtheden.

Dichtheid is een grootte en heeft dus ook een eenheid: dit is de *gram per kubieke centimeter*, afgekort g/cm^3 . Het symbool voor dichtheid is de Griekse letter *rho* (spreek uit: “roo”) met als symbool de ρ . Dit symbool lijkt op een letter p maar is het niet.

Rekenen aan dichtheid

Hoewel de dichtheid een grootte is kun je deze niet rechtstreeks meten zoals je dat met lengte en massa wel kon. Om de dichtheid van een stof te bepalen moet je eerst van een hoeveelheid van die stof het volume en de massa bepalen. Pas dan kun je de dichtheid berekenen met de **dichtheidsformule**.

Stof	Dichtheid (g/cm^3)
aluminium	2,70
goud	19,30
messing	8,70
lood	11,30
ijzer	7,87
koper	8,96
water	1,00
olie	0,93
alcohol	0,79
lucht	0,00125
helium	0,00017
eikenhout	0,78
piepschuim	0,021
kurk	0,24

In woorden: $dichtheid = \frac{massa}{volume}$ in symbolen: $\rho = \frac{m}{V}$

Het is cruciaal dat je met zo'n formule werkt in de juiste eenheden. Voor de dichtheidsformule geldt dat het **volume in cm³** moet staan en de **massa in gram**. Als je meetgegevens in een andere eenheid staan moet je die dus eerst omrekenen voordat je ze invult in de formule. Bij goed invullen reken je dan de **dichtheid** uit in **gram per kubieke centimeter**.

Voorbeeld 1: We hebben een blokje van een onbekend metaal. De massa is 49 g en het volume is 18,2 cm³. Bepaal de dichtheid van het blokje en zoek die op in de dichtheden tabel. Bepaal welk metaal dit is.

Uitwerking: de meetgegevens staan al in de juiste eenheden, dus we kunnen ze rechtstreeks in de formule invullen.

$$\text{Formule invullen: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{49 \text{ g}}{18,2 \text{ cm}^3} = 2,69 \text{ g/cm}^3$$

Volgens de tabel met dichtheden is dit aluminium.

Voorbeeld 2: Bereken de dichtheid in g/cm³ van een blok hout met een volume van 5480 cm³ dat 3,180 kg weegt. Kijk vervolgens in de dichtheden tabel en bedenk wat voor soort hout zou dit kunnen zijn.

Uitwerking: de massa van het blok hout staat in kilogrammen. Die moet dus eerst omgerekend worden naar gram: 3,180 kg = 3180 g. Het volume staat al in cm³ dus dat hoeft niet omgerekend te worden.

$$\text{Formule invullen: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{3180 \text{ g}}{5480 \text{ cm}^3} = 0,58 \text{ g/cm}^3$$

Volgens de tabel met dichtheden is dit vurenhout.

Voorbeeld 3: Van een onbekende vloeistof weten we dat 8,5 cL een massa heeft van 68 g. Wat is dan dus de dichtheid van deze vloeistof? Welke stof zou dit kunnen zijn?

Uitwerking: Het volume staat in cL. Dat moeten we dus eerst omrekenen. We gebruiken het trapschema met de overstappunten tussen de literschaal en de kubieke-meterschaal: 8,5 cL = 85 mL = 85 cm³. De massa van de vloeistof staat al in gram, dus daar hoeven we niets aan te veranderen.

$$\text{Formule invullen: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{68 \text{ g}}{85 \text{ cm}^3} = 0,80 \text{ g/cm}^3$$

Volgens de tabel met dichtheden kan dit dus alcohol zijn.

Formules van drie grootheden zoals de dichtheidsformule zullen we de hele tijd tegenkomen bij natuurkunde. Elke drie-groothedenformule (je kunt ze ook drie-variabelen-formules noemen of drie-letterformules) heeft drie vormen waarnaar de formule te **herleiden**. Is. De vorm door dichtheid hebben we nu al drie keer gebruikt. Hier zijn de vormen van de formule voor massa en volume:

Vorm 2: **massa** uitrekenen uit volume en dichtheid: $m = \rho \cdot V$

Vorm 3: **volume** bepalen als de massa en de dichtheid bekend zijn: $V = \frac{m}{\rho}$

Voorbeeld 4: Je hebt een blok eikenhout met een volume van $1,6 \text{ dm}^3$. Van eikenhout weet je de dichtheid: $\rho = 0,78 \text{ g/cm}^3$. Reken uit wat de massa van dit blok eikenhout is.

Uitwerking: Hier wil je dus een massa uitrekenen bij een bekend volume en een bekende dichtheid. Je gebruikt dus de vorm van de dichtheidsformule voor massa. Ook moet je het volume nog omrekenen naar cm^3 . Dus $1,6 \text{ dm}^3 = 1\,600 \text{ cm}^3$. Dan kunnen we de formule gebruiken.

Formule invullen: $m = \rho \cdot V = 0,78 \text{ g/cm}^3 \cdot 1600 \text{ cm}^3 = 1248 \text{ g}$

De massa van het blok is dus 1248 gram, oftewel 1,248 kg.

Voorbeeld 5: Je hebt een hoeveelheid kwik ($\rho = 13,5 \text{ g/cm}^3$) met een massa van 2,0 kg. Bereken hoeveel volume deze hoeveelheid kwik inneemt.

Uitwerking: In deze opgave bereken je een volume terwijl de dichtheid en de massa bekend zijn. Hier kun je de dichtheidsformule in de geschikte vorm voor gebruiken. Je moet wel de massa van het kwik omrekenen naar gram. Dus $2,0 \text{ kg} = 2000 \text{ g}$.

Formule invullen:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2000 \text{ g}}{13,5 \text{ g/cm}^3} = 148 \text{ cm}^3$$

Toepassingen van dichtheid

Nu je weet wat dichtheid is en hoe je deze kunt bepalen staan hieronder drie handige toepassingen van dichtheid:

1. Herkennen van stoffen

Stel dat je van een voorwerp de dichtheid hebt bepaald. Je hebt een dichtheid van $8,0 \text{ g/cm}^3$ gevonden. Dan kun je in de tabel van dichtheden opzoeken van welke stof het voorwerp is gemaakt. Je zoekt dan in de tabel een waarde die gelijk is aan de gevonden dichtheid of die daar zo dicht mogelijk bij ligt. Een dichtheid van $8,0 \text{ g/cm}^3$ komt niet in de tabel voor. De dichtheid die het beste overeenkomt met deze waarde is die van ijzer met $7,9 \text{ g/cm}^3$. Het voorwerp is dus waarschijnlijk van ijzer gemaakt. Let op dat er soms meerdere stoffen zijn met dichtheden die dicht bij elkaar liggen. De dichtheden van die stoffen zijn nooit precies hetzelfde, maar de verschillen zijn dan alleen met precieze meetapparatuur na te gaan.

2. Nagaan of stoffen zuiver zijn

Volgens de tabel is de dichtheid van goud $19,3 \text{ g/cm}^3$. Als je nu een 'gouden' armband hebt, waarvan na meting blijkt dat de dichtheid maar $16,0 \text{ g/cm}^3$ is dan zijn er twee mogelijkheden: óf de armband is hol, waardoor het volume van het goud niet goed kon worden gemeten, óf de armband is niet alleen van goud, er zitten ook andere stoffen in, bijvoorbeeld koper. Hierdoor ontstaat een soort gemiddelde van de dichtheden van de stoffen die in de armband verwerkt zitten.

3. Zinken, zweven of drijven

Ijzer zinkt in water, eikenhout niet. Als men dit wil verklaren, zegt men vaak: "ijzer is zwaarder dan hout, daarom zinkt ijzer en hout niet". Toch is een spijker veel lichter dan een volledige boom. De spijker zal echter wel zinken en de boom niet! De juiste verklaring is dat ijzer een dichtheid heeft ($7,9 \text{ g/cm}^3$) die groter is dan die



van water ($1,0 \text{ g/cm}^3$) waardoor alles dat gemaakt is van ijzer zal zinken in water. Voor de boom geldt dat eikenhout een dichtheid heeft ($0,78 \text{ g/cm}^3$) die *kleiner* is dan die van water ($1,0 \text{ g/cm}^3$) waardoor alles dat van eikenhout is gemaakt zal drijven in water.



We bekijken nog een voorbeeld. Zie de foto hier links, boven. In deze foto zie je een glas water met daarin een gezonken messing massastuk en een drijvende kurk. Een voorwerp (messing, $\rho = 8,70 \text{ g/cm}^3$) **zinkt** in een vloeistof, als de dichtheid van dat voorwerp groter is dan de dichtheid van de vloeistof (water, $\rho = 1,00 \text{ g/cm}^3$). Als de dichtheid van het voorwerp (kurk, $\rho = 0,24 \text{ g/cm}^3$) kleiner is dan die van de vloeistof zal het voorwerp **drijven**. In het speciale geval dat de dichtheid van het voorwerp even groot is als die van de vloeistof zal het voorwerp in de vloeistof **zweven**: het voorwerp zinkt dan niet en drijft ook niet. Zolang er geen stroming is zal het voorwerp in de vloeistof blijven zitten waar het zit.

Bovenstaande geldt ook voor combinaties van verschillende vloeistoffen. De vloeistof met een kleinere dichtheid zal drijven op de vloeistof met een grotere dichtheid. In de foto hiernaast zie je een laag olie ($\rho = 0,93 \text{ g/cm}^3$) drijven op een laag water ($\rho = 1,00 \text{ g/cm}^3$). Dit komt omdat de dichtheid van de olie kleiner is dan die van het water.

Oefenopgaven bij §6

Oefenopgaven zijn verdeeld in basis, extra oefenen en uitdagend. Maak eerst alle opgaven onder basis en kies daarna wat je nog meer maakt: extra oefenen of uitdagend.

A. Basisopgaven om te kijken of je de stof begrijpt:

1. Een blokje aluminium heeft een volume van 23 cm^3 en een massa van 62 g . Bereken de dichtheid van het blokje.

2. Van een onbekende vloeistof is het volume gemeten: $V = 40 \text{ cL}$. De massa is ook bepaald: $m = 0,500 \text{ kg}$.

a. Reken het volume om naar cm^3 en de massa om naar gram.

b. Bepaal de dichtheid van de vloeistof en zoek op welke vloeistof dit zou kunnen zijn.

3. Een blokje met lengte = $3,0 \text{ cm}$, breedte = $4,0 \text{ cm}$ en hoogte = $2,0 \text{ cm}$ ligt op een massabalans in evenwicht. De massastukken op de andere schaal zijn: 100 g , 50 g , 20 g , 10 g , 5 g en 2 g .

a. Bereken het volume van het blokje

b. Bereken de massa van het blokje

c. Reken uit wat de dichtheid van het blokje is.

4. Een stapel hout weegt ongeveer 1500 kg en heeft een volume van $2,6 \text{ m}^3$. Bereken de dichtheid van het hout en zoek op welke houtsoort het is. Denk er om dat je eerst het volume omrekent naar cm^3 en de massa naar gram.

5. Van een grote kurk heb je het volume bepaald: 50 cm^3 . Reken uit wat de massa van deze kurk is.



6. Een glazen bol (flintglas) heeft een massa van 1,2 kg. Bepaal het volume van de bol in cm^3 . Denk er om dat je de massa eerst omrekent naar gram.

7. Bekijk de foto van een gelaagde cocktail, hiernaast. Dit drankje wordt een *Irish Flag* genoemd vanwege de kleuren van de dranken die gebruikt zijn. In de cocktail zitten *Grand Mariner* ($\rho = 0,82 \text{ g/cm}^3$), *Crème de Menthe* ($\rho = 1,09 \text{ g/cm}^3$) en *Bayley's Irish Cream* ($\rho = 0,94 \text{ g/cm}^3$). Geef van elk van deze dranken aan waar deze zit in de cocktail.



8. Bekijk nog eens de foto van een glas met water en olie op de vorige bladzijde. Geef van deze blokjes aan waar ze terecht zouden komen als we ze in het glas zouden laten (bijvoorbeeld: "op de bodem" of "tussen de olie en het water").

- a. Een blokje ijs | b. Een blokje aluminium | c. Een kurk | d. Een blokje kunststof (PS)

B. Extra oefenen voor een ruime voldoende:

9. Een cilinder ($r = 5,2 \text{ cm}$ en $h = 12 \text{ cm}$) blijkt een massa te hebben van 8660 g.

- a. Bereken het volume van de cilinder.
 b. Reken de dichtheid van de cilinder uit.
 c. Zoek op van welk materiaal deze cilinder waarschijnlijk gemaakt is.



10. Van een blokje (massa = 193 g) wordt het volume bepaald met de onderdompel-methode. Zonder blokje staat er 50 cm^3 water in de maatcilinder. Met blokje geeft de maatcilinder 60 cm^3 aan.

- a. Leidt uit de waarden op de maatcilinder af wat het volume van het blokje is.
 b. Bepaal de dichtheid van het blokje.

11. Je hebt een jerrycan van 4,0 L gevuld met een bepaalde vloeistof. De jerrycan woog leeg 0,18 kg en met de vloeistof er in woog deze 3,35 kg. Bepaal de dichtheid van de vloeistof in de jerrycan.



12. Een groot piepschuimen blok heeft als afmetingen: $h = 0,5 \text{ m}$; $b = 0,2 \text{ m}$ en $l = 0,8 \text{ m}$. Reken uit wat de massa van het blok is. Let op: je moet eerst het volume van het blok uitrekenen en de dichtheid van piepschuim opzoeken.

13. Van een vurenhouten bol weet je dat deze een massa heeft van 480 g.

- a. Reken uit wat het volume van de bol is.
 b. Bereken de straal van de bol(!).

14. Je hebt twee metalen blokjes. Blokje A heeft een massa van 200 g en een volume van 76 cm^3 . Blokje B is even groot als blokje A maar is ongeveer drie keer zo zwaar. Bepaal van beide blokjes van welk metaal ze gemaakt zijn.

15. Als je thuis zelf wijn maakt wil je tijdens het gistingsproces het alcoholpercentage kunnen meten. Dit neemt namelijk langzaam toe en mag niet te hoog worden. Bijk de afbeelding hiernaast. Deze alcoholmeters kun je laten drijven in de wijn en hebben een schaalverdeling. Bekijk de dichtheden van alcohol en water en beredeneer in welke wijn de meter het diepst wegzakt: wijn met veel alcohol of wijn met weinig alcohol.



C. Uitdagende of verdiepende opgaven:

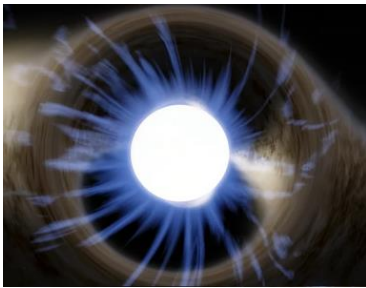
16. Je hebt een vurenhouten blokje gewogen: 820 g. Het blokje heeft een lengte en breedte van 5,0 cm. Bepaal hoe hoog het blokje is.

17. Je wilt een groot containerschip bouwen en hebt daarvoor 2000 m³ koolstofstaal nodig. Reken uit wat de massa van deze hoeveelheid staal is. Geef het antwoord in kg en gebruik wetenschappelijke notatie.

18. Je wilt een grote vurenhouten bol verven en je gaat uitzoeken wat de buitenoppervlakte van de bol is. Je hebt alleen een balans en daarmee ontdek je dat de massa van de bol 4,80 kg is. Reken uit wat het oppervlak van de bol is(!).

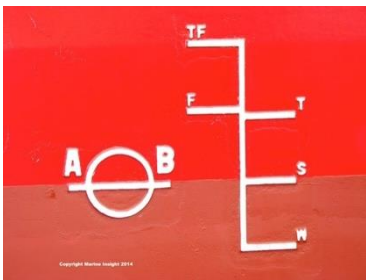
19. Een voorwerp dat gemaakt is van verschillende stoffen heeft een dichtheid welke een soort gemiddelde is van die stoffen, afhankelijk van hoeveel er van elke stof in zit. Stel, een blokje bestaat voor een deel uit aluminium en een deel uit koper. Wat is de dichtheid van het blokje als geheel als:

- Het totale volume van het blokje voor de helft uit koper en voor de helft uit aluminium bestaat? Dus om het blokje te maken zijn twee even grote stukken koper en aluminium samengesmolten. Tip: verzin voor het volume van beide hoeveelheden een waarde, bijvoorbeeld 10 cm³.
- De totale massa van het blokje voor de helft uit koper en voor de helft uit aluminium bestaat?

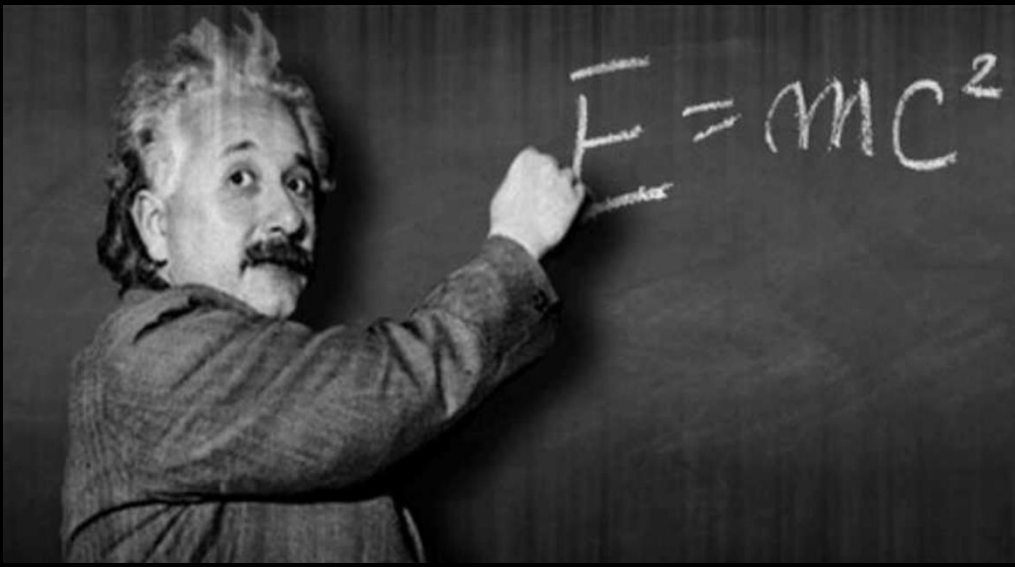


20. Een neutronenster heeft een van de grootste dichtheden die er bestaan in het universum. Dit komt doordat de deeltjes, neutronen, waar de ster uit bestaat heel dicht op elkaar gepakt zitten. Een neutronenster kan een dichtheid hebben van wel 5.9×10^{14} g/cm³. Stel, je neemt een stukje neutronenster zo groot als een knikker (diameter: 1,5 cm). Reken uit hoe zwaar dat stukje neutronenster dan zou zijn. Geef het antwoord in kg en gebruik wetenschappelijke notatie.

21. De dichtheid van water hangt af van de temperatuur en het zoutgehalte van het water. Daar moeten vrachtschepen die de hele wereld over varen rekening mee houden. Bekijk de foto van een zogenaamde Pimssol markering hiernaast. Deze tekens zitten op schepen om te zorgen dat ze niet te zwaar beladen worden. In de vertrekhaven liggen ze misschien nog wel goed in het water, maar in een andere haven lopen ze vast op de bodem. Zoek op wat de markeringen betekenen en leidt er uit af welk water de grootste dichtheid heeft:



- Warm of koud water | b. Zout of zoet water.



In deze foto zie *Albert Einstein* zijn beroemde formule $E = mc^2$ op een krijtbord schrijven. Zulke formules met drie letters kom je veel tegen in de natuurkunde. Ze geven een relatie tussen grootheden aan en stellen je in staat om allerlei nuttige berekeningen te maken.

§7 Werken met formules

In paragraaf 7 heb je een formule gebruikt om de dichtheid (ρ) te berekenen als je de massa (m) en het volume (V) van een voorwerp wist. Je hebt daarnaast gezien dat je met deze formule ook juist massa kunt uitrekenen als je het volume van een voorwerp weet en de dichtheid weet van de stof waar het voorwerp van gemaakt is. Je gebruikte daarvoor de formule in een andere vorm. Met de derde vorm van de formule kon je juist volume uitrekenen uit een bekende massa en dichtheid. Elke formule met drie letters kan in drie vormen voorkomen. Voorbeelden van andere drie-letterformules die je nog gaat leren:

Snelheidsformule: $v = \frac{s}{t}$ Formule voor elektrische weerstand: $R = \frac{U}{I}$

Op toetsen staan de formules bovenaan het opgavenblad en je hoeft ze dus niet zelf te onthouden. Je krijgt ze echter maar in één vorm en je zult ze dus zelf moeten herleiden als je voor een opgave toevallig een andere vorm nodig hebt.

Drie-letterformules herleiden

Het omrekenen van formules met drie variabelen kun je doen met de **makkelijke-getallentechniek**: vul in de formule getallen in (bijvoorbeeld: 6, 3 en 2) zodat de *vergelijking klopt*. Elke letter krijgt zo dus een getal aan zich gekoppeld. We nemen als voorbeeld de dichtheidsformule:

Formule: $\rho = \frac{m}{V}$ Getallen invullen: $3 = \frac{6}{2}$

We hebben voor de p een 3 ingevuld, voor de m een 6 en voor de V een 2. Met deze getallen ingevuld klopt de vergelijking, want zes gedeeld door twee is inderdaad drie. Deze getallen blijven nu ingevuld voor hun letter als je de formule gaat omrekenen. Je ziet dan bijna meteen welke andere twee vormen van de formule ook mogelijk zijn.

De vorm voor **volume** is als volgt:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad \text{want: } 2 = \frac{6}{3}$$

En de vorm voor **massa** is:

$$m = \rho \cdot V \quad \text{want: } 6 = 3 \cdot 2$$

Je kunt voor deze techniek elke combinatie van drie unieke getallen gebruiken die je wilt (dus geen twee dezelfde, zoals 2, 2 en 4), zolang de formule ingevuld klopt. Zodra je de formule omgerekend hebt kun je deze gebruiken voor de rekenopgave die je aan het maken was.

Werken met formules van meer dan drie variabelen

Soms kom je formules tegen die meer dan drie letters hebben. Voorbeelden zijn de formule voor het volume van een balk: $V = l \times b \times h$ die eerder al voorbij kwam en deze formules uit de derde en vierde klas:

$$\text{Warmtestroom: } P = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d} \quad \text{Soortelijke weerstand: } R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Deze formules ken je nog niet en de symbolen die er in voorkomen waarschijnlijk ook niet. Zulke formules zijn nog steeds om te rekenen door in plaats van drie makkelijke unieke getallen net zoveel unieke getallen in te vullen als er variabelen zijn. Echter, bij formules met meer dan drie variabelen kan het net zo makkelijk zijn om alle gegevens die je weet gewoon in te vullen en de onbekende laatste variabele rechtstreeks uit te rekenen.

Voorbeeld: je wilt de hoogte, h van een balk uitrekenen als de lengte ($l = 4 \text{ cm}$), de breedte ($b = 8 \text{ cm}$) en het volume ($V = 96 \text{ cm}^3$) van de balk bekend zijn. Je kunt dan de formule voor het volume van een balk rechtstreeks invullen:

Uitwerking: Vul de formule rechtstreeks in en reken h uit.

$$\text{Formule: } V = l \cdot b \cdot h \quad \text{Ingevuld: } 96 \text{ cm}^3 = 4 \text{ cm} \cdot 8 \text{ cm} \cdot h$$

$$\text{Uitrekenen, eerste stap: } 96 \text{ cm}^3 = 32 \text{ cm}^2 \cdot h$$

$$\text{Tweede stap: } \frac{96 \text{ cm}^3}{32 \text{ cm}^2} = h$$

$$\text{Tenslotte: } h = 3 \text{ cm}$$

Je hebt dus rechtstreeks uitgerekend dat de hoogte van de balk 3 cm moet zijn. Je had de formule eerst kunnen omrekenen voor de vorm $h = \dots$ maar dat hoeft niet. Kies dus wat je het handigst vindt.



Oefenopgaven bij §7

A. Basisopgaven om te kijken of je de stof begrijpt:

1. Bekijk onderstaande formules die je in de tweede of de derde klas tegenkomt. Reken deze drie-letterformules om naar de twee andere vormen die de formules hebben. Let op: Je ziet onderstaand in een formule F_z staan. De kleine letter z is hier aan de F toegevoegd en heet een **index**. De combinatie F_z is het symbool voor zwaartekracht in formules. Hier leer je later meer over.

a. $s = v \cdot t$ b. $R = \frac{U}{I}$ c. $F_z = m \cdot g$

B. Extra oefenen voor een ruime voldoende:

2. Bekijk twee formules uit de tweede en derde klas, hiernaast. Geef aan welke omrekeningen van deze formules hieronder goed zijn en welke fout.

a. $F = \frac{A}{p}$ b. $F = A \cdot p$ c. $H = \frac{Q}{m}$ d. $A = \frac{p}{F}$
e. $m = \frac{Q}{H}$ f. $m = H \cdot Q$ g. $F = p \cdot A$ h. $m = \frac{H}{Q}$

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

$$Q = m \cdot H$$

C. Uitdagende of verdiepende opgaven:

3. In de derde klas en later kom je ook formules met vier letters tegen. Je kunt hiervoor ook dezelfde makkelijke-getallentechniek gebruiken als voor formules met drie letters. Bekijk onderstaande formule rechts. In deze formule komt toevallig ook de letter ρ voor maar in een andere betekenis. Dat maakt voor deze opgave niet uit.

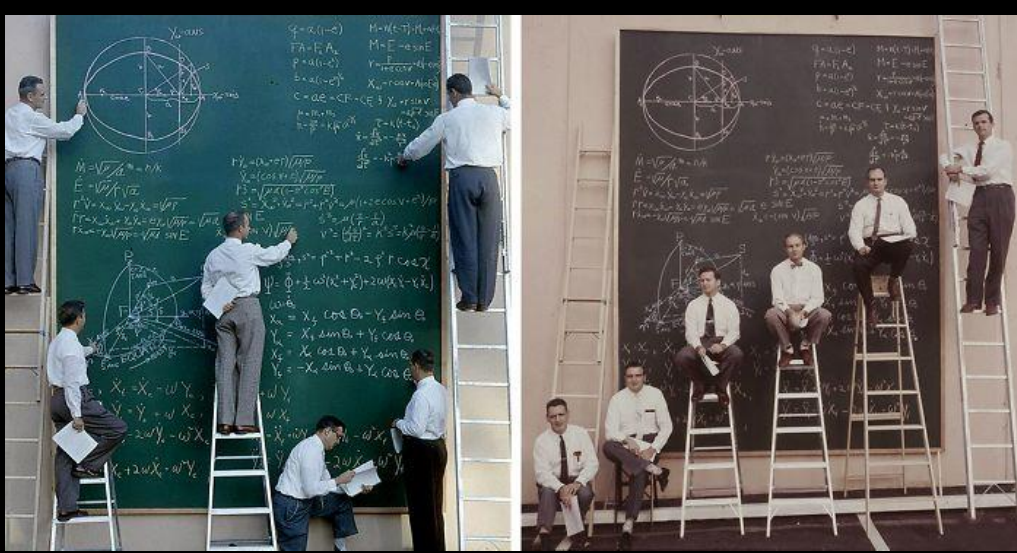
$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Probeer vier unieke, makkelijke getallen in te vullen zodat de vergelijking klopt en vindt de drie andere vormen die deze formule heeft.

4. Er bestaan zelfs formules met nóg meer variabelen dan vier. Een voorbeeld is de formule voor warmtestroom door een muur uit de vierde klas, hiernaast. Hoewel het bij zulke formules makkelijker is om ze rechtstreeks in te vullen en dan de onbekende grootte direct uit te rekenen kunnen ze wel nog steeds met de makkelijke-getallentechniek omgerekend worden.

$$P = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d}$$

Zoek vijf geschikte getallen en reken de formule om naar de vier andere vormen die de formule heeft.



Deze NASA-wetenschappers hebben principes van zwaartekracht en de juiste formules toegepast om uit te rekenen hoe satellieten met behulp van raketten in precies de juiste baan gebracht kunnen worden. Zulke rekenvraagstukken oplossen met gegevens en formules is een essentiële vaardigheid als je succesvol wilt zijn in de natuurkunde. De foto is uit 1957.

§8 Rekenopgaven oplossen

De komende twee jaar zul je bij natuurkunde aardig wat **rekenvraagstukken** voor je kiezen krijgen. Je bent er daarvan in dit document al een paar tegengekomen, zoals (voorbeeld 1):

“Bereken de dichtheid van een blokje dat een massa heeft van 62 gram en een volume van 23 cm³.”

Dit is een typisch voorbeeld van zo’n rekenopgave waarin je wat gegevens krijgt en dan een formule moet gebruiken om een gezochte waarde te vinden. Je kunt zulke opgaven overzichtelijk oplossen met een **stappenplan**:

REKENVRAAGSTUKKEN OPlossen IN DRIE STAPPEN:

STAP 1: Schrijf op wat gevraagd wordt.

STAP 2: Verzamel gegevens en formules.

STAP 3: Reken om, doe tussenstappen, en reken uit.

GOUDENTIP:
 "Als je niet weet waar te beginnen aan een rekenvraagstuk, reken dan uit wat je kunt en kijk of je daar iets aan hebt."

Stap 1: Schrijf op wat gevraagd wordt. Soms is in de opgave letterlijk vermeld welke grootte je moet uitrekenen. Er staat dan bijvoorbeeld “bereken de dichtheid” of “reken het volume uit”. In andere opgaven staat niet expliciet welke grootte je wilt weten maar kun je dit welk afleiden uit de tekst. Als er staat: “reken uit hoe groot het blok is”, is de gevraagde grootte dus het volume, V . Als er staat: “reken uit hoe zwaar de steen is” wordt in principe de massa, m , bedoeld. Advies: schrijf bij stap 1 duidelijk op welke grootte gezocht is.

In het geval van voorbeeld 1, hierboven is de dichtheid gevraagd, dus schrijf je op:

$$\rho = ?$$

Stap 2: Verzamel gegevens en formules. In deze stap zoek je in het vraagstuk goed naar alle informatie die je krijgt en je schrijft deze onder elkaar op.

In de opgave van voorbeeld 1 zijn de massa en het volume van het blokje al gegeven:

$$m = 62 \text{ g}$$

$$V = 23 \text{ cm}^3$$

Meer weet je nog niet. In deze stap verzamel je ook formules die een rol kunnen spelen. Welke formules je verzamelt hangt af van welke gegevens je hebt en welke grootheid gevraagd is.

Dit is een vraagstuk over dichtheid dus het is in ieder geval slim om de dichtheidsformule erbij te pakken:

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

Hiermee is stap 2 voltooid en gaan we verder met stap 3.

Stap 3: Reken om, doe tussenstappen en reken uit. Deze stap, reken uit, heeft twee potentiële extra stappen, namelijk: reken om en doe tussenstappen, die niet altijd nodig zijn. Omrekenen is nodig als één of meer gegevens niet in de juiste eenheid staat om ingevuld te worden in de formule die je gaat gebruiken. Omrekenen kan ook betrekking hebben op de formule die je wilt gebruiken.

In het geval van voorbeeld 1 staat de massa al in gram en het volume staat al in kubieke centimeter, dus daar hoeft je niets aan om te rekenen. Ook hoeft de dichtheidsformule niet omgerekend te worden: deze staat standaard al in de vorm voor dichtheid. Tussenstappen zijn in dit voorbeeld ook niet nodig: voor elke drie-letterformule geldt: "als je twee waarden weet kun je de derde uitrekenen". We weten in dit geval de massa en het volume, dus we kunnen zonder extra rekenen vooraf meteen de dichtheidsformule invullen. We gaan dus meteen na stap 2 door met het hoofddeel van stap 3: reken uit. De beste manier om dit te doen is door de formule die je gebruikt eerst los op te schrijven, daarachter de ingevulde formule en tenslotte daarachter het uitgerekende antwoord:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{62 \text{ g}}{23 \text{ cm}^3} = 2,7 \text{ g/cm}^3$$

Als het goed is ziet je berekening er ongeveer uit zoals in de afbeelding hiernaast.

Voorbeeld 1
 $\rho = ?$
 $m = 62 \text{ g}$
 $V = 23 \text{ cm}^3$
 $\rho = \frac{m}{V}$
 $\rho = \frac{m}{V} = \frac{62 \text{ g}}{23 \text{ cm}^3} = 2,7 \text{ g/cm}^3$

Het lijkt misschien een omslachtige manier om een opgave zo op te lossen en voor dit eerste voorbeeld is het dat ook, maar in de loop van dit jaar zullen de vraagstukken steeds ingewikkelder worden. Het 3-stappenplan is dan een goede manier om overzichtelijk en systematisch te werken. Bekijk maar eens het volgende vraagstuk (voorbeeld 2):

“Bereken hoe zwaar een vurenhouten blok is dat een lengte heeft van 5,0 dm, een breedte van 40 cm en een hoogte van 180 mm.”

Dit voorbeeld is ingewikkelder dan voorbeeld 1, met name omdat er nu in stap 3 ook omrekeningen en tussenstappen nodig zijn. We volgen het stappenplan:

Stap 1: Schrijf op wat gevraagd wordt. Er staat niet expliciet een grootte genoemd, maar er staat wel “hoe zwaar” waarmee we zien dat naar de massa gevraagd wordt. Dit schrijven we op:

$$m = ?$$

Stap 2: Verzamel gegevens en formules. In de opgave staan afmetingen vermeld die we over kunnen nemen. We doen dit nog zonder de gegevens alvast te bewerken:

$$l = 5,0 \text{ dm}$$

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$h = 180 \text{ mm}$$

Het lijkt in de eerste instantie dat we hiermee alle gegevens hebben overgenomen, maar er staat in de opgave ook nog dat het om een vurenhouten blok gaat. We kunnen daarvan de dichtheid opzoeken in de tabel die je ook tijdens je proefwerk tot je beschikking hebt. Deze dichtheid zou je een impliciet gegeven kunnen noemen: niet letterlijk genoemd, maar toch uit de opgave af te leiden. We noteren:

$$\text{Vurenhout, } \rho = 0,58 \text{ g/cm}^3$$

Het volgende onderdeel van stap 2 is het verzamelen van formules. We zien dat dit een dichtheidsvraagstuk is dus we noteren alvast de dichtheidsformule:

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

Daarnaast voel je misschien al aan dat we in dit vraagstuk als tussenstap eerst het volume van het blokje moeten gaan uitrekenen. Het blok is een balk, dus de formule die we kunnen gebruiken is:

$$V = l \times b \times h$$

Hiermee is stap 2 klaar en hebben we een lijst van gegevens en formules die we gaan gebruiken.

Stap 3: Reken om, doe tussenstappen en reken uit. In deze opgave moeten er gegevens omgerekend worden en moeten er tussenstappen gezet worden. Allereerst rekenen we de afmetingen van het blokje om naar cm:

$$l = 5,0 \text{ dm} = 50 \text{ cm}$$

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$h = 180 \text{ mm} = 18 \text{ cm}$$

Ook rekenen we de dichtheidsformule vast om naar de vorm voor massa, want die willen we uiteindelijk uitrekenen:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \rightarrow \quad m = \rho \times V$$

Daarmee zijn we klaar met omrekenen. De volgende deelstap van stap 3 is het doen van tussenstappen. Om uiteindelijk met de omgerekende dichtheidsformule de massa te kunnen uitrekenen hebben we het volume van het blok nodig. Dit rekenen we uit met de al in stap 2 verzamelde formule:

$$V = l \times b \times h = 50 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 18 \text{ cm} = 36\,000 \text{ cm}^3$$

Nu we het volume gevonden hebben kunnen we het eindantwoord uitrekenen:

$$m = \rho \times V = 0,58 \text{ g/cm}^3 \times 36\,000 \text{ cm}^3 = 20880 \text{ g}$$

Hiermee is de opgave uitgewerkt. Als je dat leuk vindt kun je het antwoord nog omrekenen naar kilogrammen, maar als dat inde opgave niet gevraagd wordt hoeft dat niet per sé. Als het goed is heb je nu dit op papier staan:

Je ziet dat het stappenplan een handige, systematische manier van werken kan zijn als de opgaven wat groter worden en er meer haken en ogen aan komen te zitten zoals omrekeningen en tussenstappen. Je hoeft op proefwerken niet per sé dit of een ander stappenplan aan te houden, maar denk er wel om dat je een berekening opschrijft ook al kun je iets helemaal op je rekenmachine uitwerken zonder pen en papier. Als je van voorbeeld 2 alleen de tussenstap (in het geel) en de eindberekening (in het paars) helemaal zo opschrijft ben je zeker dat je alle punten krijgt die voor deze opgave te verdienen zijn.

Voorbeeld 2
 $m = ?$
 $l = 5,0 \text{ dm} = 50 \text{ cm}$
 $b = 40 \text{ cm}$
 $h = 180 \text{ mm} = 18 \text{ cm}$
vurenhout, $\rho = 0,58 \text{ g/cm}^3$
 $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V$
 $V = l \cdot b \cdot h$
 $m = \rho \cdot V = 0,58 \text{ g/cm}^3 \cdot 36\,000 \text{ cm}^3 = 20880 \text{ g}$

Oefenopgaven bij §8

Maak onderstaande opgaven *volgens het 3-stappenplan* (ook als je vindt dat je dit niet nodig hebt). Geef duidelijk de drie afzonderlijke stappen aan. Gebruik kleuren als je die hebt.

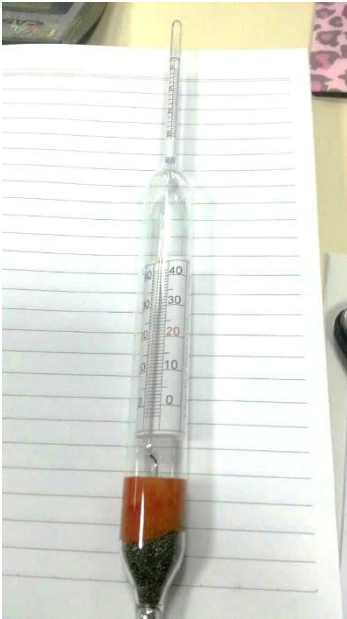
1. Bereken de **massa** van een blokje koper met een volume van 24 cm^3
2. Bereken de **dichtheid** van een blokje met een lengte van 2,3 cm, een hoogte van 0,053 m en een breedte van 1,2 dm. De massa is 0,62 kg.
3. Bereken het **volume** (in cm^3 en m^3) van een vurenhouten bol met een massa van 190 kg.

Extra oefenopgaven bij §6, 7 en 8

Als je echt succesvol wilt zijn bij natuurkunde moet je veel oefenen met de rekenopgaven. Je ontwikkelt dan een routine in het aanpakken van zulke opgaven. Bijkomende vaardigheden zoals eenheden omrekenen, formules herleiden en tussenstappen doen gaan dan bijna als vanzelf. De onderstaande opgaven zijn van proefwerkniveau en soms zelfs moeilijker. Perfect oefenmateriaal dus.

1. Van een houten balk is bekend: lengte = 4,0 cm, breedte = 0,6 dm, hoogte = 1,2 m en massa = $1,67 \times 10^3 \text{ g}$.
 - a. Bereken het volume van de balk.
 - b. Bereken de dichtheid van het hout waar de balk van gemaakt is.
2. Je vindt op straat een massieve koperen bol met een straal van 6,8 dm:
 - a. Bereken het volume van de bol.
 - b. Reken het volume om naar cm^3 .
 - c. Bereken de massa van de bol in gram en gebruik wetenschappelijke notatie.
3. Een eikenhouten tafel heeft een massa van 39 kg. We willen weten hoeveel kubieke decimeter hout in de tafel verwerkt is.
 - a. Reken de massa om naar gram.
 - b. Zoek de dichtheid van eikenhout op en reken het volume uit.
 - c. Reken het volume om naar dm^3 .
4. Je weegt 6,0 cL van een vloeistof en dit blijkt een massa te hebben van 48 g. Bereken de dichtheid van de vloeistof in g/cm^3 .
5. Bereken de massa van een stukje aluminiumfolie met een lengte van 32 cm, een breedte van 17 cm en een dikte van 0,1 mm.
6. Bereken het volume van 1,75 kg pure alcohol.
7. Een lege maatcilinder heeft een massa van 520 g. Gevuld met 180 mL petroleum weegt hij 646 g. Bereken stap voor stap de dichtheid van petroleum in g/cm^3 .

8. Veertien spijkers doen we in een maatcilinder waar al 2,8 cL water in zit. Het water stijgt tot 4,9 cL. We halen de spijkers uit de maatcilinder, drogen ze af en wegen ze: de gezamenlijke massa is 164 g. Bereken de dichtheid van het materiaal waarvan de veertien spijkers zijn gemaakt.



9. Bekijk de afbeelding van een *lacto-densimeter* hiernaast. Hiermee kan een melkveehouder het vetgehalte van de melk meten die koeien geproduceerd hebben. De lactodensimeter wordt in de melk gelaten en drijft daar in. De meter zakt daar tot een diepte in weg die afhangt van het vetpercentage. Vet zoals het in melk zit heeft een lagere dichtheid dan water, het andere grote bestanddeel van melk. Beredeneer in welke soort melk de meter het diepst wegzakt: magere melk of volle melk.

10. Een vierkante bak heeft een bodem met zijden van 24,5 cm. Je giet 7,0 kg esdoornsiroop in de bak. Reken uit hoe hoog het siroop in de bak staat.

11. Je vult een *big bag* met zand zoals in de afbeelding hiernaast. In een big bag past precies een kubieke meter. Je vult de zak voor 80%. Reken uit hoe zwaar de zak met zand dan is. De massa van de zak mag je verwaarlozen.

12. De massa van een munt is 6,5 g. De diameter van de munt is 2,5 cm, de dikte is 2,2 mm. Bereken de dichtheid van het metaal waar de munt van is gemaakt.

13. Van een massieve armband is zeker dat deze gemaakt is van een mengsel is van zilver (dichtheid: $\rho_{\text{ZILVER}} = 10,5 \text{ g/cm}^3$) en goud (dichtheid: $\rho_{\text{GOLD}} = 19,3 \text{ g/cm}^3$) De armband blijkt 240 gram te wegen en uit de onderdompelmethode is het volume gevonden: 16 cm^3 . Reken uit hoeveel gram zilver en hoeveel gram goud er in de armband zitten.



Deze wetenschappers meten aan een verschijnsel dat zich in deze vacuümruimte afspeelt. De metingen die ze doen schrijven ze op in tabellen en verwerken ze tot grafieken om zo meer inzicht te krijgen in het verschijnsel.

§9. Onderzoek doen (1)

Als je metingen hebt verricht wil je die soms duidelijk maken aan anderen. Je houdt je metingen tijdens de uitvoering bij in een tabel. Van die tabel kun je later een grafiek maken. Dat wordt in de natuurwetenschap volgens bepaalde manier gedaan.

Maken van een tabel:

Je stelt de tabel op voordat je aan de metingen begint. Je tekent alvast de kolommen en houdt vervolgens de volgende aandachtspunten aan (zie afbeelding hiernaast):

- Zet in de **kolomkop** welke *grootheid* het is en in welke *eenheid* je die grootheid uitdrukt in de tabelvakken er onder.
- Let op: in de **staart** (onder de kolomkoppen) komen dus alleen maar getallen te staan, de bijbehorende eenheid staat immers al in de kolomkop.
- Je gebruikt in elke meetwaarde **evenveel decimalen** als in de rest van de kolom. Dus in plaats van 1 schrijf je 1,0 als je later ook 1,5 schijft. De waarde nul is een uitzondering.
- Je **meet in vaste, oplopende stappen**, dus bijvoorbeeld telkens om de halve minuut.

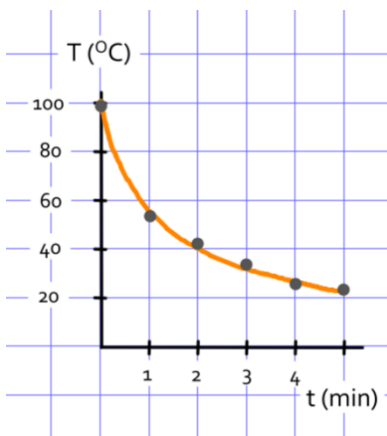
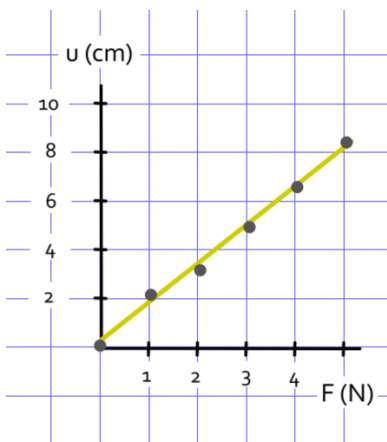
In het voorbeeld hiernaast zie je hoe de temperatuur van een bakje water is bijgehouden. Om de halve minuut is gemeten hoe warm het water nog was. Controleer zelf of de tabel volgens de bovengenoemde aandachtspunten is opgesteld.

Tijd (min)	Temperatuur (°C)
0	95
0,5	75
1,0	60
1,5	50
2,0	43
2,5	37
3,0	32
3,5	28
4,0	25
4,5	23
5,0	22
5,5	21
6,0	20

Maken van een grafiek

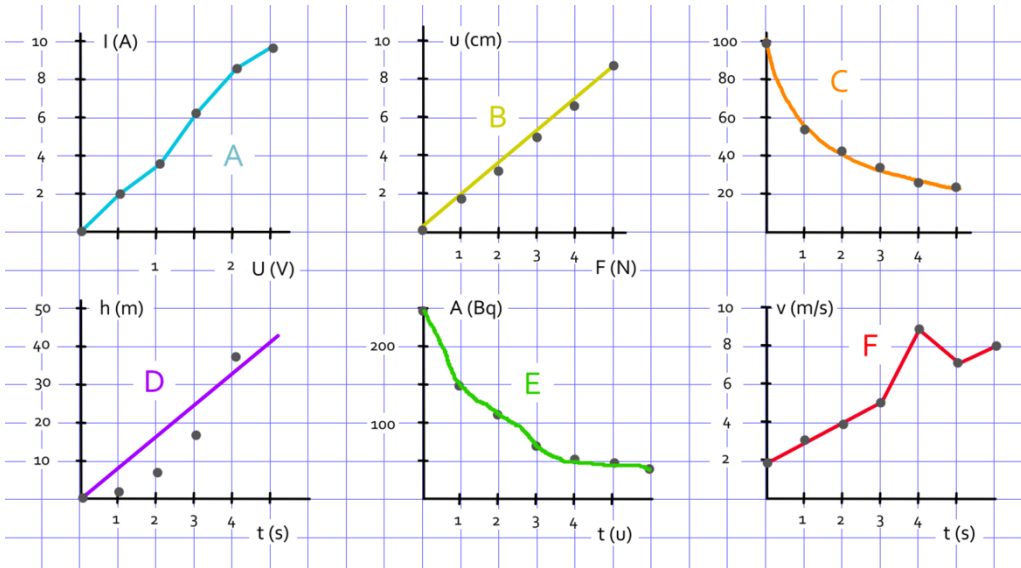
Je merkt dat de tabel al een aardig beeld geeft van de meting. Je kunt meteen zien dat de temperatuur afneemt als de tijd verstrijkt en je ziet ook dat het afnemen van de temperatuur steeds langzamer gaat. Dit wordt nog duidelijker als je een grafiek maakt van de tabel. Daarbij let je op de volgende aandachtspunten:

- Werk met potlood. Zorg dat je potlood geslepen is.
- Zet bij de assen welke **grootheid** er op die as staat en zet de **eenheid** erbij. Het is gebruikelijk om de grootheid die je tijdens de metingen zelf aanpast op de horizontale as te zetten. Deze grootheid noem je wel de **onafhankelijke variabele**. Als je een grootheid meet die in de tijd verandert staat de tijd normaliter op de horizontale as. De andere grootheid die je alleen maar meet heet de **afhankelijke variabele** en deze zet je op de verticale as.
- Geef de **schaalverdeling** op de assen (dus hoeveel eenheden telt één hokje voor?), let op: denk even na voordat je begint te schrijven en kies eerst de schaalverdeling zo dat je de ruimte die je voor de grafiek hebt maximaal benut. Vermijd scheurlijnen.
- Zet de **punten** uit in de grafiek aan de hand van de tabel.
- Bedenk of de punten het meest op een (bijna) rechte lijn liggen, of dat ze meer een vloeiende, kromme lijn voorstellen. Als je kiest voor een:
 - a. **Rechte lijn**, dan trek je een rechte lijn langs je geodriehoek die zo goed mogelijk door de punten gaat. Het geeft daarbij niet als er een paar punten (of zelfs de meeste punten) niet precies op de lijn liggen. In de grafiek hiernaast (de bovenste) liggen de punten ongeveer op een rechte lijn. Daarom is een rechte lijn getrokken die zo goed mogelijk door de punten gaat.
 - b. **Vloeiende kromme**, dan trek je in één beweging een vloeiende lijn (met maar één bocht!) door de punten. Ook hier geeft het niet als er punten naast de lijn komen te liggen. In de onderste grafiek hiernaast van een andere meting dan bij a bleken de punten niet op een rechte lijn te liggen, maar meer in een bocht (vooral als je het eerste punt op $t = 0$ min niet vergeet). Daarom is een vloeiende kromme lijn getekend die zo goed mogelijk door de punten gaat.
- Als de **oorsprong** geen echt gemeten punt is telt deze niet mee in je afwegingen hoe je de lijn gaat tekenen. Een grafiek hoeft niet per sé in de oorsprong te beginnen.
- Let op: wat je bij het tekenen van de lijn in de grafiek **nooit doet** is het simpelweg één-voor-één verbinden van de punten zodat een lijn met allerlei knakken of bochten erin ontstaat. Het geeft niet als de grafiek die je uiteindelijk wel tekent een paar punten mist. De punten die je getekend hebt zijn meetpunten en daar kunnen onnauwkeurigheden inzitten die veroorzaakt zijn door verkeerd aflezen of tekortkomingen in je meetapparatuur.

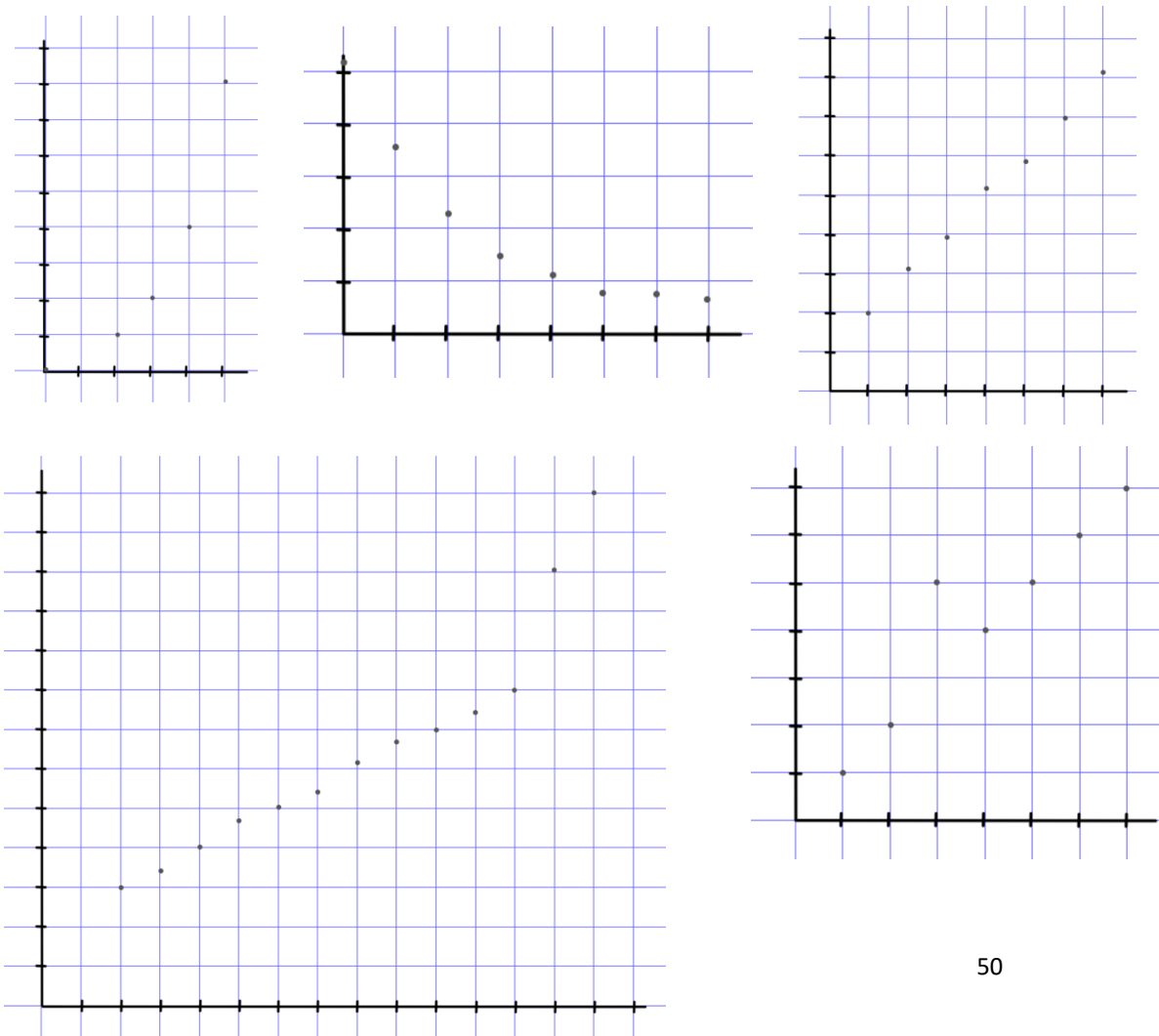


Oefenopgaven bij §9

1. Bekijk de zes grafieken in onderstaande afbeelding. In elke grafiek zit een fout m.b.t. de regels voor het maken van grafieken. Schrijf voor elke grafiek op wat deze fout is.



2. In onderstaande afbeeldingen zijn meetpunten uitgezet in assenstelsels. Bekijk elke afbeelding en bedenk welke soort lijn je door de punten zou tekenen: een rechte lijn of een vloeiende kromme. Teken deze in de figuren.



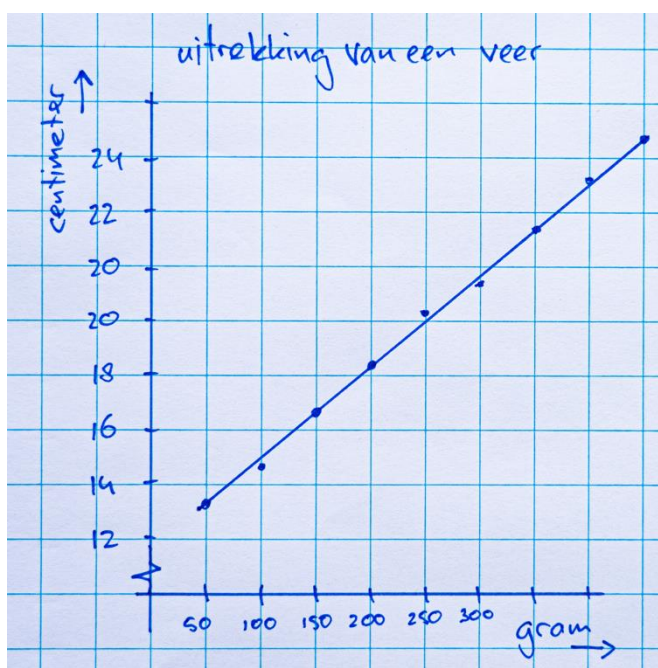
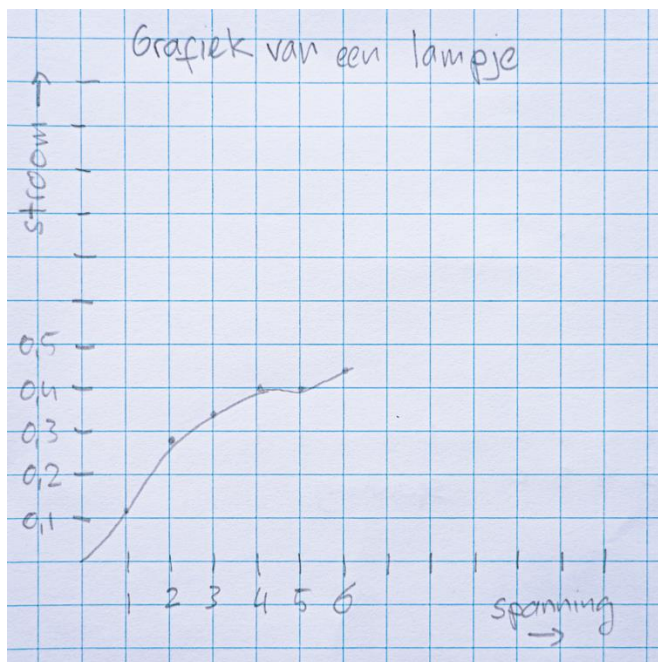
massa (gram)	lengte (cm)
0	12,0
50	13,5
100	15,0
150	16,5
200	18,0
250	19,5

3. In de tabel linksboven is bijgehouden hoe lang een stalen veer werd als er steeds meer gewichtjes van 50 gram per stuk aangehangen werden. Neem de afbeelding over in je schrift en maak een grafiek van de metingen volgens de aandachtspunten.

4. In een tabel (linksonder) is per seconde bijgehouden hoe ver een steen al naar beneden gevallen was nadat deze van een hoog gebouw losgelaten was. Neem de tabel over in je schrift en maak een grafiek van de metingen volgens de aandachtspunten.

5. Bekijk onderstaande foto's van grafieken. Aan elke grafiek zijn meerdere gebreken. Noem deze. Noem ook een aspect aan de grafiek dat goed is.

tijd (s)	afgelegde afstand (m)
0	0
1	5
2	20
3	35
4	79
5	122





Op deze foto zie je wetenschappers op een conferentie informatie uitwisselen. Naast presentaties voor een publiek zijn er op conferenties ook gelegenheden zoals hier te zien waar wetenschappers hun onderzoek informeel kunnen presenteren met behulp van een poster.

§10. Onderzoek doen (2)

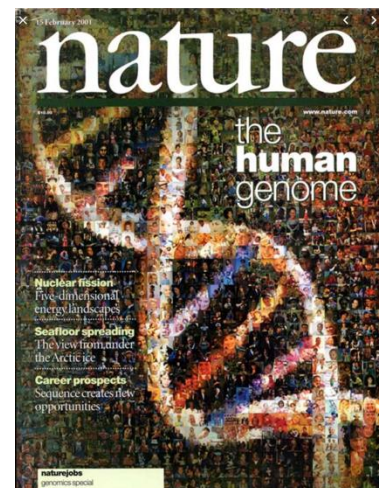
Als je wat interessants onderzocht hebt wil je je bevindingen bekend maken aan andere onderzoekers. Deze kunnen er dan weer verder mee aan de slag. Onderzoek aan in de natuurwetenschappen gaat altijd volgens een vaste aanpak die de **wetenschappelijke methode** wordt genoemd. Hieronder lees je wat die inhoudt.

Een onderzoek voorbereiden en uitvoeren

Voordat je een verschijnsel gaat onderzoeken lees je er eerst zoveel mogelijk over. Dit gedeelte van je aanpak heet het **literatuuronderzoek**. Andere onderzoekers voor jou hebben het verschijnsel al bestudeerd en er over geschreven. Voordat je aan enig praktisch werk begint lees je wat ze geschreven hebt en zet je dit voor jezelf op een rijtje. In je uiteindelijke verslag vat je je literatuuronderzoek samen onder een kopje *theorie*. Het kan zijn dat je een onderzoek doet in de natuurkundeles waarbij je geen literatuurstudie vooraf hoeft te doen. Je kunt dan in ieder geval je aantekeningen uit de les en de tekst in je boek nog eens lezen. Dat telt ook als literatuuronderzoek.

Zodra je het verschijnsel beter begrijpt en je zeker weet wat je er precies aan wilt onderzoeken is het tijd om een **onderzoeksvraag** op te stellen. Een onderzoeksvraag stuurt je onderzoek en zorgt zo dat je niet zomaar wat gaat zitten prutsen. Aan het einde van je onderzoek is de onderzoeksvraag als het goed is beantwoord. Voorbeelden van onderzoeksvragen kunnen zijn:

1. "Hoe daalt de temperatuur van heet water in de loop van de tijd?"
2. "Hoe neemt de snelheid toe van een karretje dat een helling afrijdt?"
3. "Hoe verhoudt de uitrekking van een stalen veer zich bij toenemende trekkracht?"



Bij deze onderzoeksvragen wordt gezocht naar een **relatie** tussen twee dingen. In onderzoeksvraag 1 ga je er al van uit dat warm water zal afkoelen, maar je wilt nu ook weten of het water in constant tempo afkoelt of dat het afkoelen juist steeds sneller of langzamer gaat. Bij onderzoeksvraag 2 geldt iets vergelijkbaars: je weet wel dat het karretje steeds sneller zal gaan als het de helling afrolt, maar neemt de snelheid met vaste stapjes toe per seconde of neemt de snelheidstoename langzaam een beetje af? Hetzelfde geldt voor onderzoeksvraag 3: je wilt hier weten of een stalen veer telkens een constant stukje langer wordt als je er een extra gewichtje aan hangt of wordt het extra uitrekken steeds minder? Goede onderzoeksvragen zoeken naar zulke relaties.

Omdat je het verschijnsel al een beetje begrijpt vanuit je literatuurstudie vooraf kun je al een verwacht antwoord op je onderzoeksvraag formuleren. Zo'n verwacht antwoord heet een **hypothese**. Dit is dus een inschatting van hoe het verschijnsel in elkaar zit die gebaseerd is op je voorlopig nog beperkte kennis van het verschijnsel. Aan het einde van het onderzoek kun je de hypothese bevestigen als blijkt dat deze klopt of verwerpen als het verschijnsel toch anders in elkaar zit dan je dacht. Een hypothese dient om je nog beter te concentreren op wat je wilt onderzoeken. Mogelijke hypothesen bij de voorbeelden van de onderzoeksvragen:

1. "De temperatuur van het water neemt in een rechte lijn af totdat deze dezelfde waarde heeft bereikt als de temperatuur in het lokaal."
2. "De snelheid van het karretje neemt met vaste sprongen toe per seconde en wordt steeds maar groter."
3. "De stalen veer wordt eerst met vaste stapjes langer per extra gewichtje dat je eraan hangt, maar vanaf een zekere lengte worden de stapjes wel kleiner."

Als je weet wat je onderzoeksvraag is kun je een **werkplan** maken met daarin een aanpak hoe je het onderzoek gaat uitvoeren en wat je daarvoor nodig hebt.

Zodra je plan duidelijk is en je de benodigde materialen verzameld hebt **voer je het onderzoek** uit zoals je in je plan had bedacht. Je noteert de meetgegevens in je schrift in een tabel.

Het verslag schrijven

In een goed verslag van een onderzoek zitten een aantal vaste onderdelen. Hieronder is beschreven welke onderdelen dat zijn. In appendix E is een voorbeeld van een verslag te zien.

Inleiding

Schrijf hier waarom je dit onderzoek hebt gedaan. Het kan zijn dat je het doet omdat het een verplicht (maar leerzaam!) onderdeel van een natuurkundeles is. Dat is een prima reden. Een andere reden kan zijn dat je iets onderzoekt omdat je er in geïnteresseerd bent en ergens meer over wilt weten. Ook kan een onderzoek een praktische reden hebben. Misschien wil je weten van welk materiaal je het beste de stootkussens aan de binnenkant van een valhelm kunt maken. Je onderzoekt dan de veerkrachtige eigenschappen van verschillende materialen om zo de beste te kunnen kiezen. Wat de reden voor je onderzoek ook is, je legt het uit in de inleiding. In de inleiding noem je ook je onderzoeksvraag en je hypothese.

Theorie

Als je voorafgaand aan je onderzoek een literatuurstudie hebt gedaan kun je hier in je verslag samenvatten wat je te weten bent gekomen aan theorie over het verschijnsel.

Materiaal en methode

In dit stuk van je verslag geef je een lijst met spullen die je gebruikt hebt en beschrijf je hoe je precies te werk bent gegaan. Je kunt een afbeelding van je meetopstelling toevoegen met pijlen naar de verschillende onderdelen met verklarende tekst erbij. Let er hier vooral bij op dat je taalgebruik **gedepersonaliseerd** is. Schrijf dus niet: *“ik meette de temperatuur van het water om de minuut”*, maar schrijf: *“de temperatuur van het water werd om de minuut gemeten”*. Nog een voorbeeld: schrijf niet: *“ik hing telkens een extra gewichtje aan de veer en meette de nieuwe lengte”*, maar schrijf: *“Er werd telkens een extra gewichtje aan de veer gehangen waarna de nieuwe lengte van de veer werd opgemeten”*.

Resultaten

Als je klaar bent met meten zet je in dit gedeelte van je verslag je tabel met meetgegevens en een grafiek die je van de tabel hebt gemaakt. Ook schrijf je er kort bij wat er te zien is. Je kunt bijvoorbeeld aangeven dat de grafiek een rechte lijn is of een kromme lijkt te zijn. Je gaat er niet veel dieper op in. Dat komt in het volgende onderdeel.

Conclusie

In dit stuk van je verslag leg je uit welk antwoord de resultaten geven op de onderzoeksvraag. Je kunt daarbij vermelden dat je hypothese dus bekrachtigd is of dat je deze hebt moeten verwerpen omdat deze toch niet juist bleek te zijn. Het is belangrijk om te weten dat een onderzoek met een verworpen hypothese helemaal geen slecht onderzoek hoeft te zijn. Ook een onderzoek dat helemaal geen relatie vindt tussen twee grootheden is niet per sé een slecht onderzoek.

Discussie

Na de conclusie schrijf je een stuk waarin je kritisch terugkijkt op je onderzoek. Je analyseert hoe betrouwbaar je conclusies zijn. Het zou bijvoorbeeld kunnen dat er tijdens het meten iets misgegaan is met één meting uit je reeks metingen. Ook zou het kunnen dat je een bepaald meetinstrument toch niet helemaal vertrouwt. Dat soort opvallendheden spreek je in dit gedeelte.

Appendix D: Dichtheden van stoffen

Metalen		Niet-metalen, vaste stoffen bij 20 °C	
Stof	Dichtheid (g/cm ³)	Stof	Dichtheid (g/cm ³)
aluminium	2,70	hout, balsa	0,16
uranium	19,10	hout, ebben	1,20
gallium (I)	6,10	hout, eiken	0,78
goud	19,30	hout, vuren	0,58
ijzer	7,87	kunststof: bakeliet	1,30
koper	8,96	kunststof: PVC	1,13
kwik (I)	13,50	kunststof: PS	0,96
lood	11,30	flintglas	4,25
messaging	8,70	kroonglas	3,57
platina	21,45	kwarts	2,65
staal, koolstof	7,85	kurk	0,24
staal, roestvrij	8,00	plexiglas	1,18
titanium	4,51	spierweefsel	1,06
zilver	10,49	vetweefsel	0,92
		zand	1,40
		piepschuim	0,021
Niet-metalen, gasen bij 20 °C		Niet-metalen, vloeistoffen bij 20 °C	
Stof	Dichtheid (g/cm ³)	Stof	Dichtheid (g/cm ³)
zuurstof	0,00143	alcohol, puur	0,79
stikstof	0,00125	benzine	0,72
koolmonoxide	0,00141	diesel	0,84
kooldioxide	0,00190	glycerol	1,26
zwavelhexafluoride	0,00617	olie	0,93
helium	0,00017	honing	1,44
lucht, zeeniveau	0,00125	esdoorsnsyrop	1,33
lucht, 3 km b. zee	0,00091	water	1,00
lucht, 5 km b. zee	0,00074	coca-cola, normaal	1,04
lucht, 10 km b. zee	0,00041	coca-cola, light	0,98
lucht, 20 km b. zee	0,00009		
Zoutoplossingen in water (20 °C)		Kraanwater en temperatuur	
Stof	Dichtheid (g/cm ³)	Stof	Dichtheid (g/cm ³)
water, zout, 5%	1,002	water, 0°C	0,999
water, zout, 10%	1,004	water, 4°C	1,000
water, zout, 15%	1,005	water, 20°C	0,998
water, zout, 20%	1,006	water, 80°C	0,975
water, zout, 25%	1,007	water, ijs 0 °C	0,917

Appendix E: Voorbeeld van een onderzoeksverslag

Practicumonderzoek van *Leerling 1* en *Leerling 2*

Verloop van de temperatuur in de tijd van afkoelend water

Inleiding

Tijdens de natuurkundeles hebben we onderzocht hoe de temperatuur van warm water afneemt in de loop van de tijd. Iedereen weet dat warm water afkoelt, maar de vraag is of het afkoelen in een vast tempo gaat, steeds langzamer of steeds sneller. Onze onderzoeksvraag is:

“Hoe verloopt de temperatuur in de tijd als warm water afkoelt in een omgeving op kamertemperatuur?”

Onze hypothese is dat de temperatuur in vaste stapjes in de tijd afneemt, dus bijvoorbeeld elke halve minuut 10 graden Celsius minder. De verwachting is bovendien dat de temperatuur niet verder zal dalen dan de omgevingstemperatuur in het lokaal.

Theorie

Omdat we nog net begonnen zijn met natuurkunde als vak weten we nog weinig van warmte en stoffen af. We doen in dit onderzoek dus alleen metingen en proberen daar conclusies uit te halen.

Materiaal

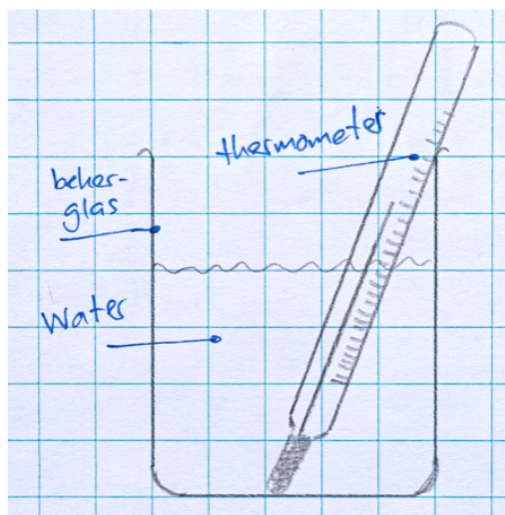
Voor deze bepaling zijn gebruikt:

- Bekerglas, 500 mL
- Thermometer, verdeling in graden Celsius, bereik: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ tot $110\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Stopwatchfunctie van telefoon

Methode

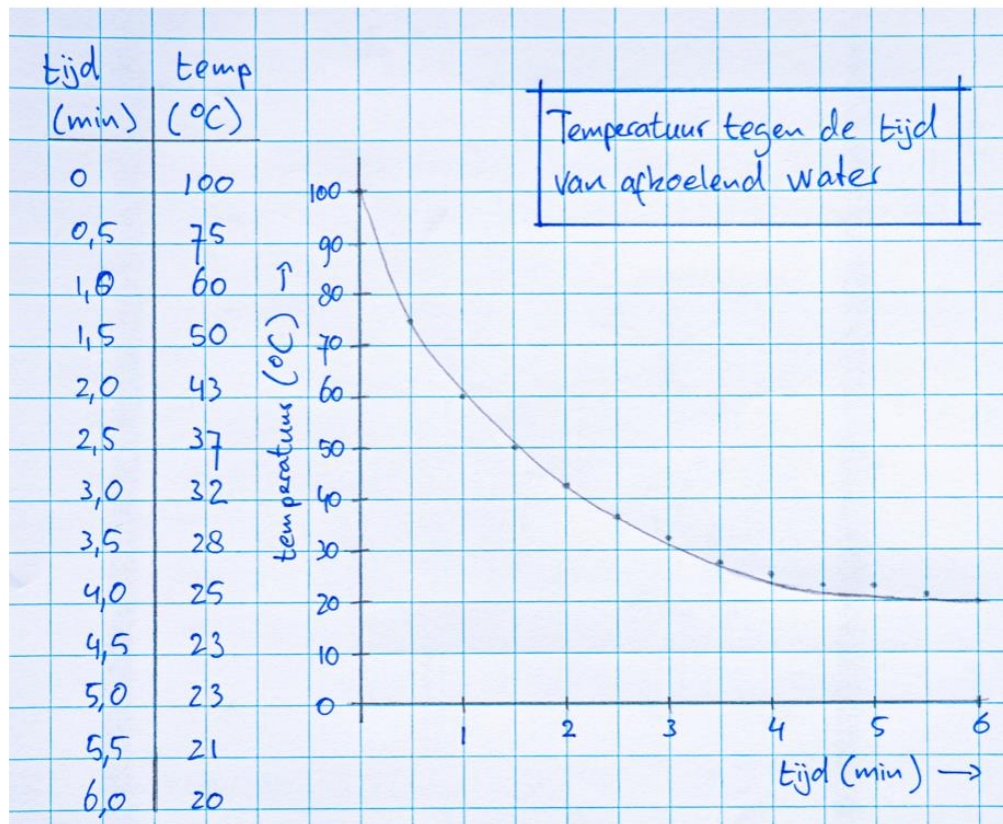
De thermometer is in het bekglas gedaan en dit is bekglas is op de tafel gezet. Het water is door de docent met een waterkoker aan de kook gebracht. Zodra het water kookte is het meteen daarna in het bekglas met daarin de thermometer gelaten en werd de stopwatch gestart. Om de 30 seconden is de temperatuur bijgehouden voor een totale tijdsduur van 6,0 minuten. Met de thermometer telkens 10 seconden vóór het meten voorzichtig geroerd in het bekglas. Na de dertiende meting (6,0 minuten na de eerste) is de bepaling gestaakt. De temperatuur van het lokaal is achteraf gemeten.

In de afbeelding hiernaast is een tekening van de opstelling te zien.



Resultaat

Tijdens het meten is een tabel bijgehouden die hieronder te zien is. Ook te zien is een grafiek van de temperatuur tegen de tijd. Het valt op dat de meetpunten op een kromme lijken te liggen. De temperatuur in het lokaal was 20 °C.



Conclusie

De temperatuur neemt steeds langzamer af en daalt inderdaad niet verder dan de omgevingstemperatuur van 20 °C in het lokaal. Hoewel het tweede deel van de hypothese door dit resultaat bevestigd wordt, wordt het eerste deel dat niet: de temperatuur neemt niet in vaste stapjes af, maar het afkoelen gaat steeds langzamer. Het zou kunnen dat dit komt door het steeds kleiner wordende temperatuurverschil tussen het water en de omgeving.

Discussie

Het experiment verliep zonder bijzonderheden. Er zijn wel enkele opmerkingen te bedenken. Allereerst is de eerste meetwaarde van 100 °C bij $t = 0$ een aanname van de temperatuur en geen echte meting. Er is vanuit gegaan dat het water deze temperatuur had omdat het kookte. Daarnaast is het water na de eerste meting overgegoten vanuit de waterkoker in het nog koude bekerglas. Door dit overgieten en het koude bekerglas kan het water tussen $t = 0$ en $t = 0,5$ min harder afgekoeld zijn dan zou gebeuren als het water in een bekerglas aan de kook was gebracht en dat de metingen in datzelfde bekerglas hadden plaatsgevonden. Tenslotte lijkt het afkoelen bij $t = 5,0$ min gestopt te zijn op 23 °C. Dit kwam waarschijnlijk omdat voorafgaand aan deze meting vergeten was te roeren en het water mogelijk niet uniform afkoelt.

