



Blok 3

INHOUD

BASISSTOF

- T1 **Massa, volume en dichtheid** 66
- W1 67
- T2 **Waarvoor heb je dichtheid nodig?** 68
- W2 69
- T3 **Zinken, zweven of drijven** 70
- W3 72
- T4 **Van tabellen naar diagrammen** 72
- W4 75

HERHAALSTOF

- H1 **Dichtheid** 76
- H2 **Tabellen en diagrammen** 77
- H3 **Dichtheid en zinken, zweven en drijven** 81

EXTRASTOF

- E1 **De antivriesmeter** 82
- E2 **Oefenvragen en opgaven** 83
- E3 **Archimedes, Simon Stevin en de opwaartse kracht** 84





Massa, volume en dichtheid

LEERDOELEN

- 1 Je moet weten wat er wordt bedoeld met de massa van een voorwerp. [P1, T1, W1]
- 2 Je moet weten wat er wordt bedoeld met het volume van een voorwerp. [P1, T1, W1]
- 3 Je moet de massa en het volume van een voorwerp kunnen meten. [P1]
- 4 Je moet weten wat we verstaan onder dichtheid. [T1, W1]
- 5 Je moet de eenheid van dichtheid kennen. [T1, W1]
- 6 Als je de massa en het volume van een voorwerp weet, moet je de dichtheid kunnen berekenen van de stof waarvan dat voorwerp is gemaakt. [P2, W1, W2]
- 7 Je moet weten hoe je kunt bepalen van welke stof een voorwerp is gemaakt. [P2, T2, W2]
- 8 Als je de dichtheid van een voorwerp weet en je weet de dichtheid van een vloeistof, dan moet je kunnen voorspellen of dat voorwerp in de vloeistof gaat zinken, zweven of drijven. [P3, T3, W3]
- 9 Je moet een tabel kunnen maken van de meetwaarden van een proef. [P4, T4]
- 10 Je moet een diagram kunnen maken van de meetwaarden van een proef. [P4, T4, W4]
- 11 Je moet uit een diagram kunnen aflezen welke waarden beide grootheden hebben bij een bepaald meetpunt. [T4, W4]
- 12 Je moet uit een diagram kunnen aflezen welke waarde de ene grootte heeft, als je de waarde van de andere grootte weet. [T4, W4]

T1 Massa, volume en dichtheid

Grootheden en eenheden

Met de massa van een voorwerp bedoelen we het aantal gram of kilogram van dat voorwerp. Omdat de massa van een voorwerp een eigenschap is die je kunt meten, noemen we de massa een *grootheid*. Ook lengte, temperatuur en volume zijn grootheden, omdat je ze kunt meten.

Als je je eigen massa bepaalt zeg je 'Ik ben zoveel kilogram.' Dat kan gemakkelijk, omdat iedereen weet wat met een kilogram bedoeld wordt. We noemen de kilogram een *eenheid* of een *standaardmaat*. In de tabel (figuur 1) staan een aantal grootheden met de bijbehorende eenheden.

Als je massa meet, dan vergelijk je die massa met een van tevoren afgesproken eenheid, de gram of de kilogram.

Bij het meten van een volume vergelijk je bij kleine blokjes met de cm^3 (spreek uit kubieke centimeter) en bij grote blokken met de dm^3 of de m^3 .

FIG. 1 Grootheden met bijbehorende eenheden.

grootheid	eenheid
lengte	meter
tijd	seconde
temperatuur	graad Celsius
volume	m^3
massa	kg
oppervlakte	m^2
dichtheid	g/cm^3

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, is afgespro-

ken om van elke stof het aantal gram van 1 cm^3 te nemen. Dit noemen we de dichtheid.

De *dichtheid* geeft aan hoeveel gram één cm^3 van een stof is. Dichtheid is een grootheid, want je kunt die bepalen. Dichtheid heeft dus ook een eenheid: de gram per kubieke centimeter, afgekort g/cm^3 .

Berekenen van de dichtheid

Als je de dichtheid van een stof wilt weten, kun je natuurlijk een blokje van 1 cm^3 maken. Daarvan kun je dan de massa bepalen. Dat hoeft niet. Stel je hebt een blokje van 6 cm^3 met een massa van 60 g. Het is nu niet moeilijk om te bedenken hoeveel gram 1 cm^3 is.

Het blokje wordt in gedachten $6 \times$ zo klein. Dan wordt de massa ook $6 \times$ zo klein, dus 10 g. De dichtheid van de stof, waaruit het blokje bestaat, is dus $10 \text{ g}/\text{cm}^3$. De berekening die je hebt uitgevoerd komt erop neer, dat je het aantal gram deelt door het aantal cm^3 .

$$\text{Anders gezegd: dichtheid} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Deze rekenregel kun je korter opschrijven, als je gebruik maakt van de symbolen die we gekozen hebben voor de grootheden.

massa: m

volume: V

dichtheid: ρ (spreek uit: ro)

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

VOORBEELD: Een blokje ijzer heeft een volume van $22,5 \text{ cm}^3$. De massa van het blokje is 178 g. Hoe groot is de dichtheid?

Eerst schrijf je de gegevens op:

$$V = 22,5 \text{ cm}^3$$

$$m = 178 \text{ g}$$

$$\text{dan de formule } \rho = \frac{m}{V}$$

ingevuld $\rho = 178 : 22,5 = 7,9 \text{ g}/\text{cm}^3$ (figuur 2).

FIG. 2 Zo maak je een staartdeling. De dichtheid van het ijzeren blokje is dus $7,9 \text{ g/cm}^3$.

$$\begin{array}{r} 22,5 / 178 \setminus 7,9 \\ 157,5 \\ \hline 20,5 \\ 202,5 \\ \hline 2,5 \end{array}$$



DICHTHEID EN STERKTE

Racefietsen worden tegenwoordig gemaakt van lichte materialen, zoals aluminium en titaan. Hoewel de dichtheid van aluminium ongeveer drie keer zo klein is als die van staal, wordt een racefiets van aluminium nooit drie maal zo licht als een stalen fiets. Dat komt doordat aluminium minder sterk is. De aluminiumbuizen van het fietsframe moeten daarom dikker worden dan even sterke stalen buizen (figuur 3). Je hebt dus meer cm^3 aluminium dan staal nodig voor een fiets die net zo sterk is. Titaan en kunststof versterkt met koolstofvezels (toegepast in de fiets die Miguel Indurain gebruikt bij bergetappes) zijn niet alleen licht, maar ook sterk. Toch blijft een fiets van titaan lelijk om te zien omdat er brede, dikke buizen nodig zijn voor een sterke fiets van titaan.

FIG. 3 Een racefiets



BLOK 3 BASISSTOF

W1

- 1 Wat wordt bedoeld met:
 - a de massa van een voorwerp?
 - b het volume van een voorwerp?
 - c de dichtheid van een stof?
- 2 Waarom mag je nooit zeggen dat de massa van lood groter is dan de massa van piepschuim?
- 3 Bereken de dichtheid van een voorwerp met een volume van 40 cm^3 en een massa van 110 g .
- 4 Een blokje is $3,2 \text{ cm}$ lang, $2,0 \text{ cm}$ breed en $10,0 \text{ cm}$ hoog. De massa van het blokje is 500 g .
 - a Bereken het volume van het blokje.
 - b Bereken de dichtheid van het blokje.
- 5 Een blok gasbeton heeft een lengte van $6,0 \text{ dm}$, een breedte van $1,0 \text{ dm}$ en een hoogte van $2,0 \text{ dm}$. De massa van het blok is $3,0 \text{ kg}$.
 - a Bereken de dichtheid van gasbeton in kg/dm^3 .
 - b Bereken de dichtheid in g/cm^3 .
 - c Wat valt je op?
- 6 Een hoeveelheid vloeistof heeft een volume van 125 ml en een massa van 200 g .
 - a Wat is het volume van de vloeistof in cm^3 ?
 - b Bereken de dichtheid van de vloeistof in g/cm^3 .

T2 Waarvoor heb je dichtheid nodig?

Dichtheid is een stofeigenschap. Dat betekent dat elk voorwerp dat gemaakt is van één bepaalde stof, ook de dichtheid heeft die bij die stof hoort. De dichtheid van het ijzer van de Eiffeltoren is hetzelfde als de dichtheid van het ijzer van een paperclip.

Je kunt dichtheid gebruiken om:

- 1 stoffen te herkennen;
- 2 na te gaan of stoffen zuiver zijn.

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 een tabel van dichtheden (zie figuur 9) opzoeken van welke stof het voorwerp waarschijnlijk is gemaakt. Je zoekt dan in de tabel een getal dat gelijk is aan de gevonden dichtheid, of dat 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 dit getal is die van ijzer met $7,9 \text{ g/cm}^3$. Het voorwerp is dus waarschijnlijk van ijzer gemaakt. Kleine afwijkingen kunnen altijd ontstaan door onnauwkeurigheden in het meten en wegen.



AANVULLEND ONDERZOEK

Vaak is de bepaling van de dichtheid niet voldoende om uit te maken van welke stof een voorwerp gemaakt is. Bijvoorbeeld omdat er verschillende stoffen zijn waarvan de dichtheid in de buurt ligt van de gevonden dichtheid (zie de tabel van figuur 9). Er is dan aanvullend onderzoek nodig naar andere eigenschappen om vast te stellen van welke stof het voorwerp gemaakt is. Meestal bepaalt men daarvoor het smeltpunt (eventueel het kookpunt) of nog een of meer andere grootheden.

Nagaan of een stof zuiver is

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 $10,8 \text{ g/cm}^3$ is, dan zijn er twee mogelijkheden:

- 1 de armband is hol, waardoor het volume van het goud niet goed kon worden gemeten;
- 2 de armband is niet van zuiver goud, er zitten ook andere stoffen in, bijvoorbeeld koper.

Het nagaan van de zuiverheid van stoffen gebeurt al heel lang met behulp van de dichtheid. Dit blijkt uit het verhaal over Archimedes, een van de beroemdste natuurkundigen uit de oudheid. Het speelde zich af rond 200 jaar voor Christus.

FIG. 4 Archimedes, wis- en natuurkundige en uitvinder (287-212 v. Chr.), geboren en overleden te Syracuse. Hij was adviseur van koning Hiëron II, voor wie hij onder andere de gouden kroon moest onderzoeken. Hij werd bij de verovering van Syracuse door een Romeinse soldaat gedood, ondanks het bevel van de Romeinse generaal om hem te sparen.





ARCHIMEDES EN DE KRANS VAN KONING HIËRON

De Griekse koning Hiëron van Syracuse had besloten om een gouden krans te laten maken die aan de goden gewijd zou worden. Hij gaf een edel-smid een afgewogen hoeveelheid goud. Deze ging aan het werk en kwam op de afgesproken dag met een keurig uitgevoerd werkstuk. De koning was zeer tevreden, vooral toen bleek dat de krans even zwaar was als de hoeveelheid goud die hij de smid had gegeven.

Maar in Syracuse ging al gauw het gerucht rond dat de smid goud had achtergehouden en het vervangen had door eenzelfde gewicht aan zilver. Toen de koning dit vernam, gaf hij Archimedes de opdracht om na te gaan of het gerucht waar was. Archimedes zag niet direct een oplossing, tot hij op een dag in het badhuis kwam. Toen hij in het tot de rand gevulde bad stapte, merkte hij dat het water over de rand liep en hij bedacht dat er net zoveel water uit het bad moest lopen als het volume van zijn lichaam, dat er in het bad bij kwam. Ineens zag hij de oplossing voor het probleem met de krans. Hij sprong uit het bad, vergat zich aan te kleden en rende naakt naar huis. Onderweg riep hij herhaaldelijk: 'Eureka, eureka', dat is Grieks voor: 'Ik heb het gevonden!'

Hij maakte nu twee voorwerpen met dezelfde massa als de krans. Het één van puur goud, het ander van zilver. Beide voorwerpen dompelde hij in een tot de rand gevulde pot met water. Bij het zilveren voorwerp liep er een veel groter volume uit dan bij het gouden voorwerp. Hierna dompelde Archimedes de krans in de pot. Wat bleek? Er stroomde meer water uit de pot dan bij het zuiver gouden voorwerp en dat terwijl de krans en het voorwerp even zwaar waren!

Archimedes besloot de uitgestroomde hoeveelheid water precies te meten en te vergelijken met de hoeveelheden, die hij gemeten had bij het gouden en het zilveren voorwerp. Hierdoor was hij zelfs in staat om uit te rekenen hoeveel goud door de smid was vervangen door zilver. En zo kwam het bedrog aan het licht.

BLOK 3 BASISSTOF

W2

- 1** Een stuk messing heeft een volume van 10 cm^3 en een massa van 81 g.
Bereken de dichtheid van messing.
- 2** Een stuk aluminium met een volume van 30 cm^3 heeft een massa van 81 g.
Bereken de dichtheid van aluminium.
- 3** Een voorwerp heeft een massa van 1,2 kg en een volume van 450 cm^3 .
a Bereken de dichtheid van de stof waarvan het voorwerp is gemaakt.
b Van welke stof is het voorwerp gemaakt? (Gebruik de tabel uit figuur 9.)
- 4** Een blokje ijzer van 12 g heeft een volume van $1,5 \text{ cm}^3$.
a Bereken de dichtheid.
Uit dit blokje maakt men een spijker.
b Hoe groot is de dichtheid van deze spijker?
Men kan uit het blokje ook twee kleine spijkers maken.
c Hoe groot is de dichtheid van elke kleine spijker?

T3 Zinken, zweven of drijven

FIG. 5 Volumebepaling van een sleutel.

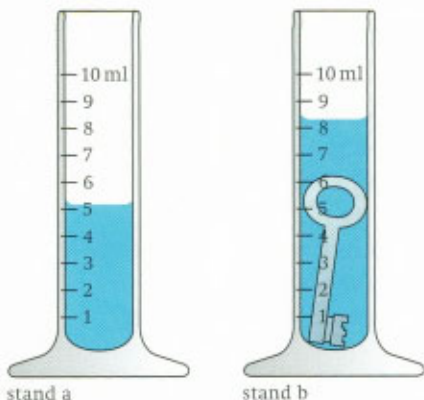
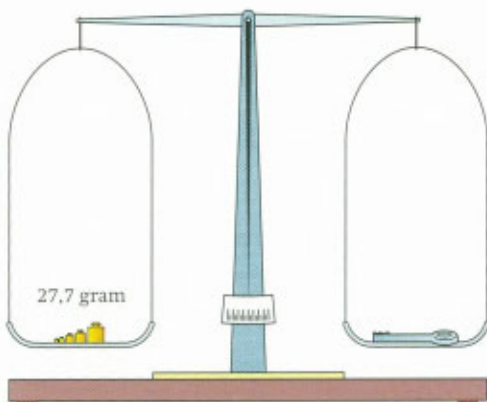


FIG. 6 De massa van de sleutel.

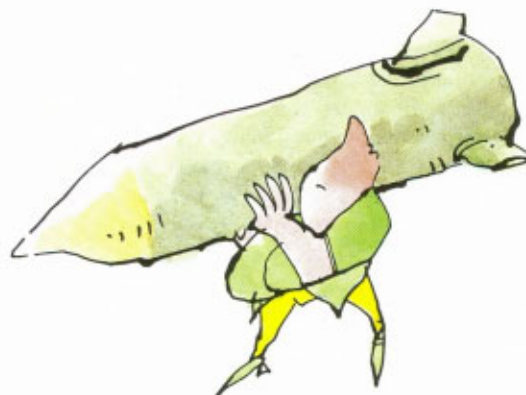


- 5
 - a Bepaal met figuur 5 het volume van de sleutel.
 - b Bepaal met figuur 6 de massa van de sleutel.
 - c Bereken de dichtheid van de sleutel.
 - d Van welke stof is de sleutel gemaakt?

- 6 Je bepaalt de dichtheid van een gouden armband en vindt $10,8 \text{ g/cm}^3$.
 - a Zoek de dichtheid van goud op.
 - b Is volgens jou de armband echt van goud? Cindy denkt dat de armband hol is.
 - c Leg uit waarom dat zou kunnen. Martin denkt dat er lood in de armband zit.
 - d Leg uit waarom Martin ongelijk heeft.

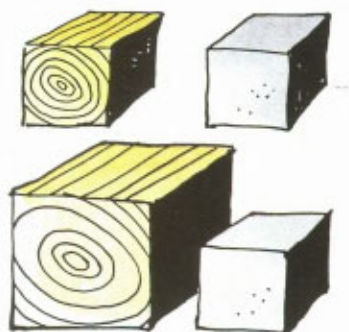
Ijzer zinkt in water, eikehout niet. Als we dit willen verklaren, zeggen we vaak: ijzer is zwaarder dan hout. Maar een spijker is veel lichter dan een boom. Blijkbaar is het probleem toch iets ingewikkelder dan we op het eerste gezicht zouden zeggen (figuur 7).

FIG. 7 Deze houten balk is gegarandeerd zwaarder dan een blokje aluminium.



Een oliedruppeltje blijft zweven op het scheidingsvlak van spiritus en water. Blijkbaar zinkt het oliedruppeltje in de spiritus, maar drijft het in het water. Toch kun je niet zeggen dat olie lichter is dan water. Een liter olie is immers veel zwaarder dan een druppel water! Maar dat is natuurlijk geen eerlijke vergelijking. Als je een liter olie en een liter water zou nemen, dan is olie wél lichter. We moeten dus even grote volumes met elkaar vergelijken, bijvoorbeeld 1 cm^3 . Met andere woorden, het gaat om het aantal grammen in 1 cm^3 (figuur 8).

FIG. 8 Hout en ijzer.



Je weet dat dit de *dichtheid* wordt genoemd. Eikehout drijft in water, omdat de dichtheid van eikehout kleiner is dan die van water (figuur 9).

FIG. 9 Tabel van dichtheden.

stof	dichtheid (bij 20 °C) in g/cm ³
alcohol	0,79
aluminium	2,7
benzine	0,75
glycerol	1,26
goud	19,3
hout (eike-)	0,8
(vure-)	0,6
ijs (0 °C)	0,9
ijzer	7,9
keukenzout	2,17
koper	8,9
kurk	0,24
kwik	13,5
lood	11,3
lucht	0,0013
messing	8,5
olie	0,8 (afgerond)
paraffine	0,89
perspex	1,2
platina	21,4
spiritus	0,8
tetra	1,6
water	1,0
zeewater	1,03
zink	7,1

Conclusie

- Een voorwerp *zinkt* in een vloeistof, als de dichtheid van dat voorwerp groter is dan de dichtheid van de vloeistof.
- Een voorwerp *zweeft* in een vloeistof, als de dichtheid van dat voorwerp gelijk is aan de dichtheid van de vloeistof.
- Een voorwerp *drijft* in een vloeistof, als de dichtheid van dat voorwerp kleiner is dan de dichtheid van de vloeistof.

Rekenvoorbeeld

Voorwerp A van 16 000 g heeft een volume van 20 000 cm³. Voorwerp B van 4 g heeft een volume van 0,5 cm³. Blijven A en B drijven in water?

Oplossing:

De voorwerpen blijven drijven, als de dichtheid kleiner is dan die van water. Daarom gaan we eerst de dichtheden van A en B uitrekenen. De dichtheid bereken je door de massa van 1 cm³ te berekenen (door de massa te delen door het volume).

Voorwerp A: 20 000 cm³ heeft een massa van 16 000 g.

1 cm³ heeft een massa van $16\,000 : 20\,000 = 0,8$ g.

Dus de dichtheid = 0,8 g/cm³.

Voorwerp B: 0,5 cm³ heeft een massa van 4 g.

Dus 1 cm³ heeft een massa van 8 g. De dichtheid van B = 8 g/cm³.

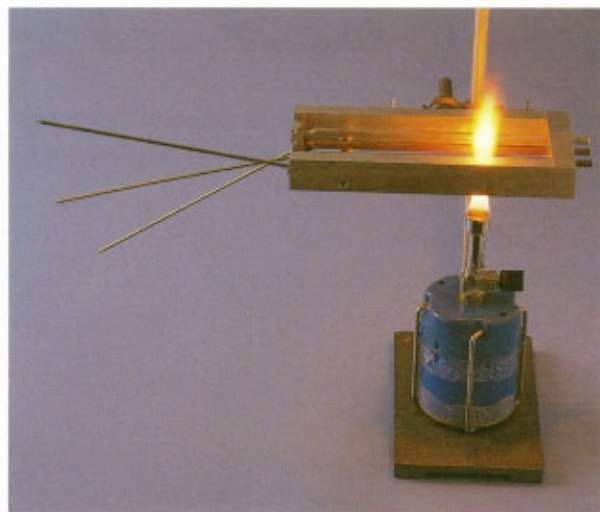
Water heeft een dichtheid van 1 g/cm³. A zal dus blijven drijven, omdat de dichtheid kleiner is dan die van water. B zal gaan zinken, omdat de dichtheid groter is dan die van water.

- 1 Verklaar waarom een blokje hout in water blijft drijven.
- 2 Verklaar waarom een blokje aluminium in water zinkt.
- 3 Verklaar waarom je onmogelijk kunt zinken in de Dode Zee.
- 4 Wat betekent: de dichtheid van hout is ongeveer 10 maal zo klein als de dichtheid van ijzer?
- 5 Hoe zou je de dichtheid van je eigen lichaam kunnen bepalen?
- 6 Kwallen zweven in zeewater. Wat weet je nu van de dichtheid van een kwal?
- 7 Ga na in welke van de volgende vloeistoffen een voorwerp met een massa van 1,2 kg en een volume van 900 cm^3 blijft drijven. Verklaar je antwoord.
 - a spiritus
 - b tetra
 - c water
 - d glycerol
 - e kwik

T4 Van tabellen naar diagrammen

In de natuurkunde bestuderen we vaak veranderingen. Als je bijvoorbeeld een metalen staaf verwarmt, zie je dat de lengte toeneemt (figuur 10).

FIG. 10 Het uitzetten van een metalen staaf.



Door de beide grootheden (in dit geval lengte en temperatuur) te meten krijgen we een serie getallenparen. Deze getallenparen leggen de verandering vast. Om de verandering beter te kunnen bekijken noteren we eerst de getallenparen in een tabel.

Regels voor het maken van een tabel

We gaan de regels in een voorbeeld toepassen. We bekijken het uitzetten van een metalen staaf. We meten steeds de lengtetoe name Δl bij een bepaalde temperatuur t . Het symbool Δ (spreek uit: 'delta') betekent: 'verandering van'; dus hier: Δl = de verandering van de lengte l .

- 1 Naast elkaar zetten we de grootheden die we gaan meten (in dit geval de temperatuur en de lengtetoe-na-me). Links de grootheid die *wij* laten veranderen (de temperatuur) en rechts de grootheid die daardoor beïnvloed wordt (de lengtetoe-na-me). De gebruikte eenheden zetten we er ook bij.
- 2 Daaronder zetten we de meetwaarden in kolommen.
- 3 De bijbehorende getallenparen staan steeds horizontaal naast elkaar (figuur 11).

FIG. 11 Lengtetoe-na-me van de staaf.

temperatuur t ($^{\circ}\text{C}$)	lengtetoe-na-me Δl (cm)
0	0,0
10	0,6
20	1,2
30	1,9
40	2,4
50	2,9

Diagrammen

Als je nu precies wilt weten hoe de grootheden veranderen, is het handig om de meetwaarden uit de tabel in een diagram te zetten.

Regels voor het maken van een diagram

In figuur 12 zullen we de regels toepassen aan de hand van de tabel uit figuur 11.

- 1 Teken een horizontale en een verticale as; beide minstens 10 cm lang.

FIG. 12a



- 2 Schrijf de grootheden met de bijbehorende eenheden bij de assen.

De grootheid die jij zelf verandert of instelt (de temperatuur), wordt langs de horizontale as uitgezet. Verticaal komt de grootheid die daardoor beïnvloed wordt (de lengtetoe-na-me).

FIG. 12b



- 3 Zet bij de assen een schaalverdeling. Kijk in de tabel wat voor elke grootheid de grootste waarde is en zorg ervoor dat die nog op de daarvoor bestemde as past.

Kies de schaalverdeling zo dat je een zo groot mogelijk deel van je ruitjespapier gebruikt.

Zet langs de as een reeks gehele getallen die gelijkmatig oploopt, bijvoorbeeld:

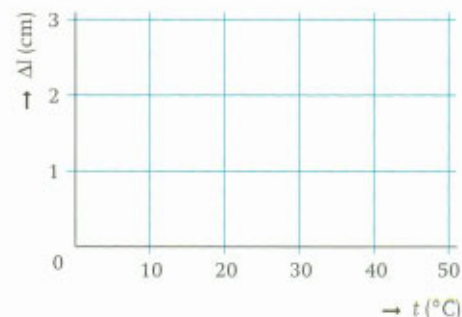
0, 1, 2, 3, 4, ... of: 0, 10, 20, 30, 40, ...

0, 2, 4, 6, 8, ... of: 0, 20, 40, 60, 80, ...

0, 5, 10, 15, 20, ... enzovoorts.

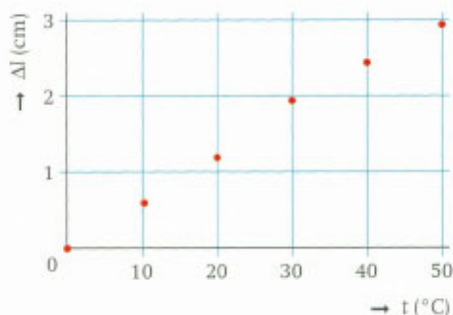
Zet de getallen niet te dicht op elkaar. Sla liever steeds een hokje over.

FIG. 12c



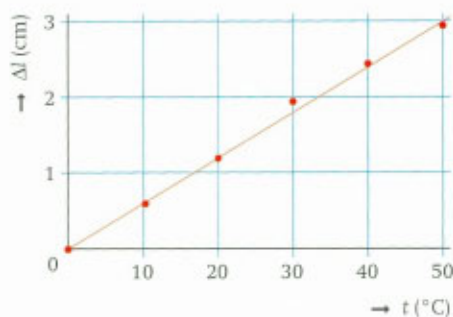
4 Zet de meetwaarden als punten (of kruisjes) op het ruitjespapier. Die punten heten meetpunten. Teken de meetpunten met potlood.

FIG. 12d



5 Trek door de meetpunten met potlood een vloeiende lijn, of, als het mogelijk is, een rechte lijn die zo dicht mogelijk bij de meetpunten aansluit.

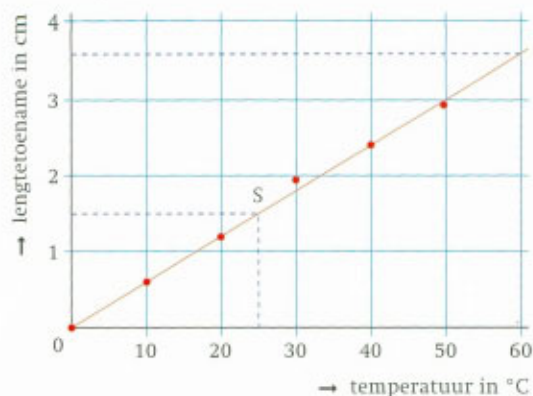
FIG. 12e



De grafiek

De lijn die je nu in het diagram getekend hebt, noemen we de grafiek. Hij geeft het verband tussen de temperatuur en de lengtetoeename (figuur 13). Let op: In de natuurkunde is een grafiek altijd een vloeiende lijn of een rechte lijn. In ons voorbeeld neemt de lengte regelmatig toe en niet met sprongen.

FIG. 13 Aflezen uit een diagram, interpoleren of aflezen tussen twee meetpunten.



Wat kunnen we uit een diagram aflezen?

INTERPOLEREN

We kunnen in ons diagram aflezen wat de lengtetoeename zou zijn bij bijvoorbeeld 25 °C.

We hoeven daarvoor geen nieuwe meting te doen. Bij 25 °C is op de horizontale as een stippellijn naar boven getekend. Deze snijdt de grafiek in S. Ga nu vanuit S horizontaal naar de verticale as. Het snijpunt met de as is de bijbehorende lengtetoeename: 1,5 cm. We weten nu dat bij een temperatuur van 25 °C een lengtetoeename van 1,5 cm hoort. Het zoeken van getallenparen tussen twee metingen in wordt *interpoleren* genoemd.

EXTRAPOLEREN

In het diagram zou je ook af kunnen lezen welke lengtetoeename zou horen bij een temperatuur van 60 °C. Dit doen we door de grafiek te verlengen tot voorbij 60 °C. Het zoeken van getallenparen die buiten de metingen vallen, wordt *extrapoleren* genoemd. Ga na dat bij 60 °C een lengtetoeename zou moeten horen van 3,6 cm. Bij extrapoleren loop je meer kans foute getallenparen te vinden dan bij interpoleren, omdat je van tevoren nooit geheel zeker weet hoe het verdere verloop van de grafiek zal zijn.

- 1** Een auto rijdt op een weg met een snelheid waar- door hij elke seconde 16 meter aflegt. In figuur 14 staat de afstand die de auto aflegt en de tijd die hij daarvoor nodig heeft.

FIG. 14

tijd (s)	afstand (m)
2	32
5	80
8	128
15	240
22	352

a Maak van de gegevens uit de tabel een diagram op ruitjespapier. Zet de tijd horizontaal uit in seconde en de afstand verticaal in meter. Lees af uit het diagram wat de afstand is na:

b 6 s.

c 10 s.

d 20 s.

Welke tijd hoort bij een afstand van:

e 48 m?

f 176 m?

g 200 m?

h Verleng de grafiek en bepaal wat de afstand zou zijn geweest na 25 s.

- 2** Een auto rijdt op een weg en gaat steeds sneller rij- den. In de tabel in figuur 15 staat de afstand die de auto aflegt en de tijd die hij daarvoor nodig heeft.

FIG. 15

tijd (s)	afstand (m)
2	4
5	25
8	64
11	121
15	225

a Maak van de gegevens uit de tabel een diagram op ruitjespapier.

Lees uit het diagram af wat de afstand is na:

b 3 s.

c 7 s.

d 14 s.

Welke tijd (schat de uitkomsten zo goed mogelijk!) hoort bij een afstand van:

e 45 m?

f 150 m?

g 210 m?

Met de *dichtheid* van een stof wordt bedoeld hoeveel gram de massa van 1 cm^3 van die stof is.

Zo is de dichtheid van aluminium $2,7 \text{ g per cm}^3$. Dat betekent dus dat 1 cm^3 aluminium een massa heeft van $2,7 \text{ g}$.

Dichtheid berekenen

In dit blok heb je vaak de dichtheid van een stof uitgerekend. We doen dat eerst nog een keer voor. Daarna ga je zelf oefenen.

VOORBEELD: Bereken de dichtheid van een blokje lood. De afmetingen van het blokje zijn: lengte $2,0 \text{ cm}$, breedte $1,5 \text{ cm}$, hoogte $4,0 \text{ cm}$. De massa van het blokje is 138 g .

OPLOSSING: Dichtheid bereken je door de massa (het aantal gram) te delen door het volume (het aantal cm^3). De massa hebben we al. Het volume moet berekend worden,

$\text{volume} = \text{lengte} \times \text{breedte} \times \text{hoogte}$

Ingevuld: $\text{volume} = 2,0 \times 1,5 \times 4,0 = 12,0 \text{ cm}^3$

De dichtheid berekenen we nu met: massa gedeeld door volume.

Dichtheid: $138 : 12 \text{ g/cm}^3$. Dit doen we met een staartdeling.

De massa komt tussen de strepen te staan (figuur 16). Als antwoord noteren we: de dichtheid is $11,5 \text{ g/cm}^3$.

FIG. 16 Staartdeling.

$$\begin{array}{r} 12 \overline{) 138} \setminus 11,5 \\ \underline{12} \\ 18 \\ \underline{12} \\ 60 \\ \underline{60} \\ 0 \end{array}$$

- 1 Wat betekent: de dichtheid van ijzer is $7,9 \text{ g/cm}^3$?
- 2 Welke twee grootheden moet je meten om van een voorwerp de dichtheid te kunnen berekenen?
- 3 Hoe bereken je de dichtheid, als je de twee grootheden uit vraag 2 kent?
- 4 Een voorwerp heeft een volume van 40 cm^3 en een massa van 110 g .
 - a Bereken de dichtheid.
 - b Van welke stof is het voorwerp gemaakt? Gebruik hiervoor de tabel in figuur 9 uit T3.
- 5 Bereken de dichtheid van een voorwerp met een volume van 11 cm^3 en een massa van 98 g .
- 6 Een voorwerp heeft een massa van 48 gram en een volume van 200 cm^3 .
Bereken de dichtheid.
- 7 Vraag aan je leraar drie voorwerpen. Meet van elk voorwerp de massa en het volume.
Bereken daarna de dichtheid. Noteer je metingen in een tabel (zie figuur 17).

FIG. 17

	lengte (cm)	breedte (cm)	hoogte (cm)	massa (g)	volume (cm^3)	dichtheid (g/cm^3)
voorwerp 1
voorwerp 2
voorwerp 3

H2 Tabellen en diagrammen

Tabellen en diagrammen worden vaak gebruikt, niet alleen in de natuurkunde. Het is belangrijk dat je goed weet hoe je een tabel en een diagram moet maken en hoe je beide kunt gebruiken.

Tabellen

We doen een proef met een hele reeks metingen. We krijgen dan veel meetwaarden (uitkomsten van metingen). We noteren die meetwaarden in een tabel. Zo krijgen we paren van getallen, waaraan we kunnen zien wat er veranderde en hoe.

VOORBEELD: We willen weten hoe op een bepaalde dag de temperatuur van de buitenlucht verandert. We kijken elke twee uur op de thermometer en noteren dan de tijd en de temperatuur in een tabel (figuur 18).

FIG. 18

tijd (uur)	temperatuur buitenlucht (°C)
8.00	4,9
10.00	8,2
12.00	15,3
14.00	15,5
16.00	13,7
18.00	7,8
20.00	5,3



TOELICHTING

In de eerste kolom (de getallen in het linkervak) staan de tijdstippen waarop de thermometer werd afgelezen. Daarnaast staan in de tweede kolom (de getallen in het rechtervak) de waarden die voor de temperatuur werden afgelezen.

Dus: om 8 uur 's morgens (8.00 uur) was de buitentemperatuur 4,9 °C. Om twee uur 's middags (14.00 uur) was de buitentemperatuur 15,5 °C.

1 Hoe hoog was de buitentemperatuur om zes uur 's avonds (18.00 uur)?

In een tabel kun je ook berekeningen doen. Dit zullen we aan de hand van ons voorbeeld duidelijk maken. Als we behalve de thermometer buiten er ook nog één in de klas hebben, zouden we de buitentemperatuur met de binnentemperatuur kunnen vergelijken. Hiervoor moeten we elke twee uur beide thermometers aflezen. We krijgen dan de volgende tabel met drie kolommen (figuur 19).

FIG. 19

tijd (uur)	temperatuur buitenlucht (°C)	temperatuur in de klas (°C)
8.00	4,9	16,5
10.00	8,2	19,1
12.00	15,3	19,3
14.00	15,5	19,3
16.00	13,7	19,3
18.00	7,8	17,5
20.00	5,3	15,1

In deze tabel kun je aflezen dat om acht uur 's morgens de buitentemperatuur 4,9 °C was en de temperatuur in de klas 16,5 °C.

- 2 a** Hoe hoog was de temperatuur om 2 uur 's middags buiten?
b Hoe hoog was de temperatuur toen in de klas?

We willen nu weten hoe groot op elk tijdstip het temperatuurverschil was. Neem de tabel over in je schrift. Maak er een vierde kolom bij. Zet hierin het verschil tussen de buitentemperatuur (kolom 2) en de klastemperatuur (kolom 3).

Bij de eerste meting om 8.00 uur krijg je dan:
 $16,5 - 4,9 = 11,6$ °C

Noteer dit getal bovenaan in kolom vier.

3 Vul de vierde kolom zelf verder in.

Diagrammen

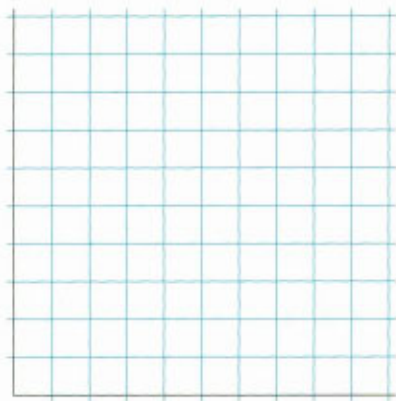
In de vorige paragraaf heb je gezien dat je de meetwaarden overzichtelijk kunt opschrijven in een tabel. Om een nog duidelijker overzicht van de resultaten van een proef te krijgen, kun je de meetwaarden weer geven als punten in een tekening. De tekening noemen we een diagram.

Om duidelijk te maken hoe je dit moet doen, ga je nu zelf van de tabel in figuur 20 een diagram maken. Dit doe je op een stuk ruitjespapier. Als je de vier aanwijzingen precies opvolgt, kan het niet misgaan. Lees zo'n aanwijzing helemaal door (tot de volgende aanwijzing), voordat je iets tekent.

AANWIJZING 1

Begin, net als in figuur 20, met de twee lijnen. De lijn die rechtop staat noemen we de *verticale as*. Trek deze het eerst, op 1 cm van de linkerrand van het ruitjespapier. Maak de lijn 10 cm lang. De andere lijn heet de *horizontale as*. Maak deze ook 10 cm lang.

FIG. 20



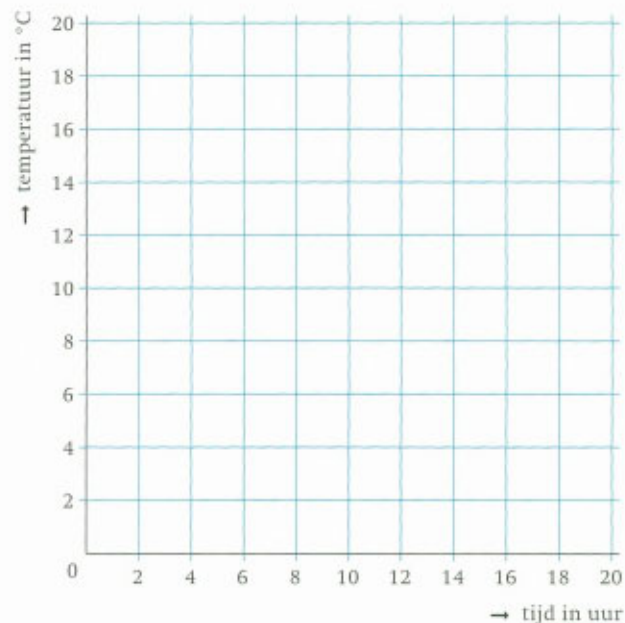
AANWIJZING 2

Nu gaan we op elke as een schaalverdeling aanbrengen. Daarvoor moet je eerst nog eens goed naar de tabel kijken.

Op de horizontale as maak je een schaalverdeling voor de tijd. Zet op deze as om de halve centimeter een streepje. Schrijf daar, net als in figuur 21, de even uren bij van 0 tot 20. *Let op:* figuur 21 is kleiner dan je eigen tekening. Daardoor staan hier de streepjes dichter op elkaar dan jij ze moet tekenen.

Op de verticale as zet je de temperatuur uit. Zet ook hier om de halve centimeter een streepje, en schrijf daar de even getallen van 0 tot en met 20 bij.

FIG. 21



Op de horizontale as stelt 1 cm 2 uur voor. Op de verticale as stelt 1 cm 2 °C voor. Schrijf bij elke as welke grootte je uitgezet hebt (temperatuur en tijd) en welke eenheid je gebruikt (°C, uur).

We kunnen nu de horizontale as de tijd-as noemen en de verticale as de temperatuur-as.

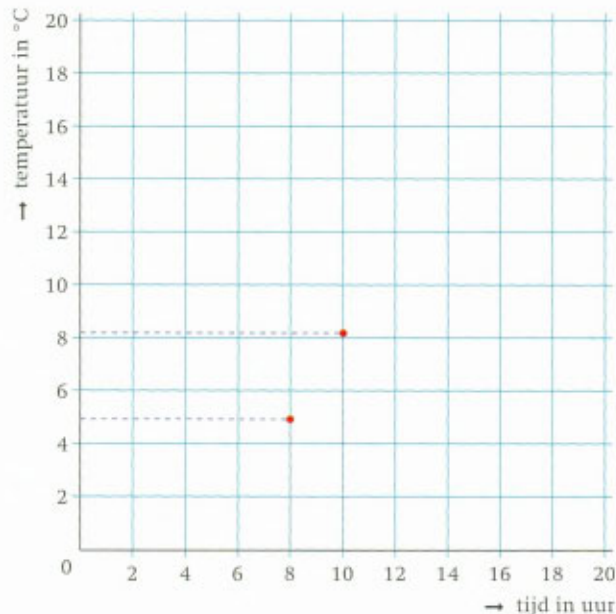
AANWIJZING 3

Nu worden de meetwaarden van de tabel twee aan twee op het ruitjespapier gezet. In figuur 23 is dit voor de eerste twee getallenparen gedaan. Voor het gemak staat de tabel hier nogmaals afgedrukt (figuur 22).

FIG. 22

tijd (uur)	temperatuur bui- tenlucht (°C)	temperatuur in de klas (°C)
8.00	4,9	16,5
10.00	8,2	19,1
12.00	15,3	19,3
14.00	15,5	19,3
16.00	13,7	19,3
18.00	7,8	17,5
20.00	5,3	15,1

FIG. 23



Het uitzetten van meetwaarden doe je als volgt:

Om 8.00 uur was de temperatuur 4,9 °C. Dit is dus het getallenpaar (8.00; 4,9).

Trek door de 8 op de tijd-as een stippellijn loodrecht omhoog (als er op jouw ruitjespapier op deze plaats een roosterlijn staat, is dit natuurlijk niet nodig). Trek door de 4,9 op de temperatuur-as een stippellijn horizontaal naar rechts. Op het snijpunt van de twee stippellijntjes zetten we met een potlood een kruisje. Dit is het meetpunt dat aangeeft dat om 8.00 uur de temperatuur 4,9 °C was.

Volgende meetpunt:

Om 10.00 uur was de temperatuur 8,2 °C, het getallenpaar (10.00; 8,2). Nu zijn door de 10.00 op de tijd-as en de 8,2 op de temperatuur-as geen stippellijntjes getrokken, maar we hebben gewoon de lijnen gevolgd die al op het ruitjespapier staan.

Zet nu alle meetpunten op het ruitjespapier. Werk dus de tabel helemaal af.

AANWIJZING 4

Nu komt het tekenen van de grafiek. De grafiek is de lijn die de verandering het beste weergeeft. Bedenk voordat je de lijn trekt het volgende :

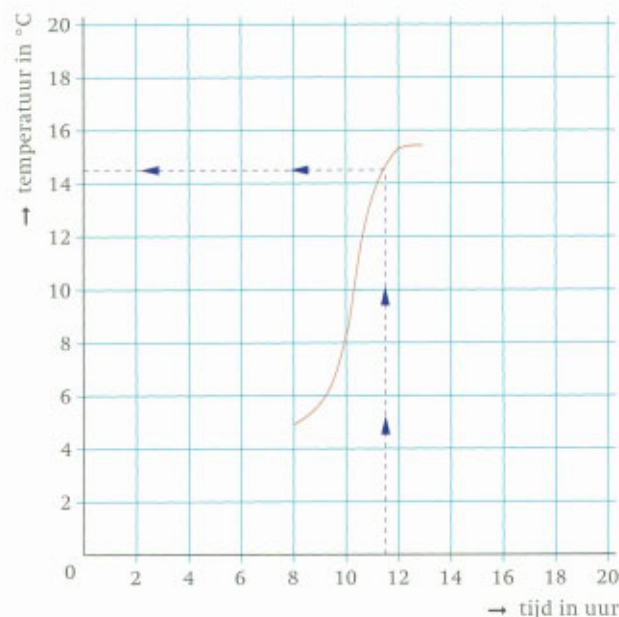
- 1 Om welke verandering gaat het?
- 2 Is die verandering met sprongen gegaan?
- 3 Kun je aan de meetpunten zien hoe die verandering ongeveer verloopt? Dus wanneer was de temperatuurstijging of -daling groot en wanneer veranderde de temperatuur niet of bijna niet?

Heb je dit allemaal goed overdacht, teken dan met potlood de grafiek. Trek met potlood een vloeiende lijn door de punten. Controleer of de getekende grafiek klopt met de bovenstaande aanwijzingen.

Wat kun je aflezen uit een diagram?

Wat kun je allemaal aflezen uit het diagram dat je hebt gemaakt (figuur 24)?

FIG. 24



Je kunt voor elk tijdstip van de dag de temperatuur bepalen.

Bijvoorbeeld: Wat was de temperatuur om 11.30 uur? Om dit te weten, trek je door het punt halverwege de 11 en de 12 een stippellijn verticaal omhoog. Deze lijn heeft een snijpunt met de grafiek. Trek door dit snijpunt een horizontale stippellijn naar de temperatuur-as. Hierop lees je af: 14,5 °C.

- 4** Bepaal uit je diagram hoe hoog de temperatuur was op de volgende tijdstippen:
- a** half tien (9.30 uur).
 - b** half elf (10.30 uur).
 - c** half 5 's middags (16.30 uur).
 - d** kwart voor twaalf (11.45 uur).

- 5** Op welke tijdstippen was de temperatuur:

- a** 10 °C?
- b** 20 °C?

Je kunt zien wanneer de temperatuur toenam (steeg) en wanneer de temperatuur afnam (daalde). Van acht uur 's morgens (8.00) tot één uur 's middags (13.00 uur) is de grafiek een stijgende lijn. Toen werd het warmer.

Tussen één uur 's middags en acht uur 's avonds is de grafiek een dalende lijn. Toen werd het kouder.

- 6** Teken in hetzelfde diagram een grafiek voor de temperatuur in het klaslokaal.

BLOK 3 HERHAALSTOF

H3 Dichtheid en zinken, zweven en drijven

In P3 heb je van een aantal voorwerpen onderzocht wat er gebeurt, als je ze in spiritus, water of zout water legt. Het blokje paraffine zinkt bijvoorbeeld in spiritus maar blijft drijven in gewoon water en in zout water.

Steeds blijkt het volgende te gelden:

- 1 Een voorwerp gemaakt van een stof waarvan de dichtheid kleiner is dan die van de vloeistof, blijft drijven.
- 2 Als de dichtheid van het materiaal groter is dan die van de vloeistof, zinkt het voorwerp.
- 3 Zijn de dichtheden van het materiaal en de vloeistof gelijk, dan gaat het voorwerp zweven.

Het gaat hierbij steeds over massieve voorwerpen (dus niet hol).

- 1 Waarom blijft ijs op water drijven?
- 2 Een ei zweeft in een glas met zout water. Je doet er wat zuiver water bij.
 - a Wat verandert er nu aan het zoutgehalte van het water in het glas?
 - b Wat zal er gebeuren met de dichtheid van het water in het glas?
 - c Wat zal er daardoor met het ei gebeuren?
 - d Leg uit waarom dit gebeurt.
- 3 Een boomstam drijft in water, een spijker zinkt in water. Toch is de boomstam veel zwaarder.
 - a Waarom blijft de boomstam drijven?
 - b Waarom zinkt de spijker?
- 4 Welke stoffen blijven in spiritus drijven? Gebruik bij het beantwoorden van deze vraag de tabel met dichtheden uit T3 (zie figuur 9).

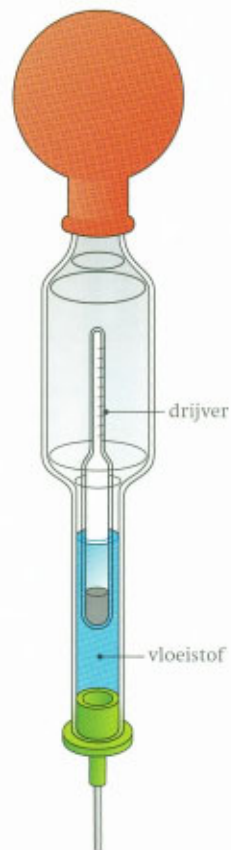
BLOK 3 EXTRASTOF

E1 De antivriesmeter

In deze extrastof ga je werken met een antivriesmeter. Een antivriesmeter wordt bij auto's gebruikt om te controleren of er genoeg antivries in het koelwater zit. Antivries (ethyleenglycol) is een giftige vloeistof met een dichtheid van $1,3 \text{ g/cm}^3$. (Water heeft een dichtheid van $1,0 \text{ g/cm}^3$.)

De antivriesmeter wordt gebruikt om de dichtheid van het mengsel van water en antivries te meten. De beste bescherming tegen bevriezen van het koelwater is een verhouding van 1 deel water op 1 deel antivries. Als er minder antivries in het koelwater zit, zal het koelwater al bij een hogere temperatuur (dus eerder) bevriezen. Dat is zeer schadelijk voor de motor.

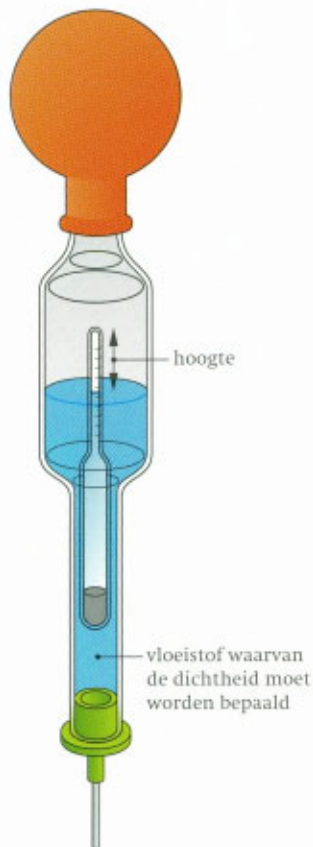
FIG. 25 Antivriesmeter.



- 1 Hoe groot is de dichtheid van het koelwater, als er evenveel water als antivries in zit?

Een antivriesmeter werkt als volgt. In de antivriesmeter zit een drijver. De drijver zal in een vloeistof met een grotere dichtheid meer boven de vloeistof uitsteken dan in een vloeistof met een kleinere dichtheid (figuur 25).

FIG. 26 Antivriesmeter als dichtheidsmeter.



Van antivriesmeter naar dichtheidsmeter

In dit practicum gebruiken we de antivriesmeter als dichtheidsmeter. Daartoe vullen we de antivriesmeter met vloeistoffen waarvan we de dichtheid weten. We meten hoe ver de drijver boven de vloeistof uitsteekt bij water, spiritus en glycerol (figuur 26). Neem de tabel van figuur 27 over.

FIG. 27

vloeistof	dichtheid (g/cm^3)	hoogte boven vloeistof (cm)
spiritus	0,8	...
water	1,0	...
glycerol	1,26	...

- 2 **a** We gaan de antivriesmeter vullen met spiritus. Knijp eerst de rubberen ballon leeg. Doe dan de slang in de spiritus. Laat de ballon los. Als je het goed hebt gedaan, loopt de meter nu vol met spiritus. Let op dat de drijver los is van de bodem.
- b** Meet hoeveel cm de drijver boven de vloeistof uitsteekt. Noteer dit in de tabel.
- Knijp de ballon weer leeg en haal de meter uit de spiritus.
- c** Voer de proef nog een keer uit met water en daarna nog één maal met glycerol. Noteer in beide gevallen hoeveel cm de drijver boven de vloeistof uitsteekt.
- d** Maak van je metingen een diagram. Zet horizontaal de dichtheid uit en verticaal de hoogte van de drijver boven de vloeistof.
- Trek door de meetpunten een rechte lijn.
- 3 Vraag aan je leraar een 'onbekende' vloeistof.
- a** Vul de antivriesmeter op de juiste manier met deze vloeistof.
- b** Meet hoeveel cm de drijver boven de vloeistof uitsteekt.
- c** Zoek in je diagram op welke dichtheid bij deze hoogte hoort.
- d** Welke vloeistof heb jij ontvangen? Gebruik hierbij de tabel met dichtheden uit T3 (figuur 9).

E2 Oefenvragen en opgaven

- 1 **a** Leg uit wat we verstaan onder een *grootheid* en onder een *eenheid*.
b Geef bij de volgende tien gegevens aan of je te maken hebt met: een grootheid, een eenheid of géén van beide.
 - km^3
 - dichtheid
 - de ruwheid van een oppervlak
 - $^{\circ}\text{C}$
 - stroomsterkte
 - newton (N)
 - druk
 - oppervlakte
 - omwentelingen per seconde
 - volume
- 2 Van een blokje metaal bepaal je de massa met een balans. Het blokje ligt op de linkerschaal. Er is evenwicht, als op de rechterschaal liggen:
 - 1 standaardmassa van 10 gram
 - 1 standaardmassa van 1 gram
 - 1 standaardmassa van 200 miligram
 - 1 standaardmassa van 100 miligram
 - 2 standaardmassa's van 20 miligram**a** Bepaal de massa van het blokje
 De afmetingen van het rechthoekige blokje zijn:
 lengte: 2,2 cm breedte: 1,6 cm dikte: 1,2 cm
b Bereken het volume van het blokje.
c Bereken de dichtheid van dit metaal.
d Vervolgens zaag je het metalen blokje precies in tweeën. Hoe groot is nu de dichtheid van de beide helften van het blokje? Licht je antwoord toe!
- 3 Je hebt drie blokjes van verschillende stoffen, maar alle blokjes hebben dezelfde massa.
 Blokje 1 is van aluminium; de dichtheid ervan is $2,7 \text{ g/cm}^3$.
 Blokje 2 is van tin; de dichtheid ervan is $6,5 \text{ g/cm}^3$.
 Blokje 3 is van zilver; de dichtheid ervan is $10,50 \text{ g/cm}^3$.
a Beredeneer welk blokje het grootste volume heeft en welk het kleinste volume.
 Je hebt nóg drie verschillende blokjes, maar die hebben allemaal hetzelfde volume, namelijk $4,5 \text{ cm}^3$.
 Blokje 4 is van aluminium, blokje 5 van tin en blokje 6 van zilver. Zie voor de dichtheden opdracht 3a.
b Voorspel – zonder te rekenen – welk blokje de grootste massa zal bezitten. Licht je antwoord toe.
c Bereken de massa's van de blokjes 4, 5 en 6.
- 4 Een metaallegering bevat 35 % koper (dichtheid $9,0 \text{ g/cm}^3$) en 65 % goud (dichtheid $19,0 \text{ g/cm}^3$).
a Bereken de gemiddelde dichtheid van die legering.
b Leg uit waarom je bij een zeeschip niet van 'de' dichtheid kunt spreken, maar alleen van de 'gemiddelde dichtheid'.
c De dichtheid van zeewater is $1,03 \text{ g/cm}^3$. Wat weet je nu van de gemiddelde dichtheid van een zeeschip?
d Leg uit hoe het komt dat de gemiddelde dichtheid van een stalen zeeschip veel kleiner is dan de dichtheid van staal.
- 5 We brengen een blokje ebbenhout (dichtheid $1,26 \text{ g/cm}^3$) achtereenvolgens in de volgende vijf vloeistoffen: benzine, tetra, water, olie en glycerol. Gebruik de tabel van figuur 9 uit T3 en bepaal in welke vloeistoffen het blokje ebbenhout zal zinken, zweven of drijven. Geef kort een uitleg waarom.

Archimedes, Simon Stevin en de opwaartse kracht

- 6 Als je in het zwembad probeert te drijven lukt dat, wanneer je het hoofd enigszins achterover houdt. Je kunt dan al drijvende juist je mond en je neus boven water houden.
- a** Beredeneer op grond van dit feit hoe groot (ongeveer) de gemiddelde dichtheid van het menselijk lichaam moet zijn.
- b** Verklaar waarom je hier van 'gemiddelde' dichtheid moet spreken.
- c** Kun je in een bad met zeewater (dichtheid $1,03 \text{ g/cm}^3$) makkelijker of juist moeilijker een baantje van 100 m trekken dan in een bad met zoet water? Licht je antwoord toe.
- 7 Een lange lat wordt in vijf verschillende stukken gezaagd. Van elk stuk wordt de lengte en de massa bepaald:
- | | | |
|--------------|--------------|-----------------|
| Eerste stuk: | lengte 38 cm | massa 93 gram |
| Tweede stuk: | lengte 18 cm | massa 44,5 gram |
| Derde stuk: | lengte 32 cm | massa 79 gram |
| Vierde stuk: | lengte 24 cm | massa 59 gram |
| Vijfde stuk: | lengte 12 cm | massa 29,7 gram |
- a** Zet deze gegevens in een twee-koloms-tabel. Zet in kolom 1: de lengte (cm) en rangschik deze van kleinste naar grootste lengte. In kolom 2 komt de bijbehorende massa (gram).
- b** Ga na of de massa in de tweede kolom nu óók is gerangschikt van kleinste naar grootste massa. Licht toe of dat toeval is of niet.
- c** Maak met de tabel een diagram op ruitjespapier. Zet horizontaal de lengte uit; 1,0 cm op de horizontale as is 4,0 cm lengte. Zet verticaal de massa uit; 1,0 cm op de verticale as is 10 gram.
- d** Is de grafiek een rechte door de oorsprong? Wat weet je nu van de verhouding tussen lengte en massa van de stukken?

Je weet dat het moeite kost om een drijvend voorwerp onder water te duwen. Een bal, die je met veel moeite onder water duwt, springt met een vaart weer omhoog als je hem loslaat. Blijkbaar bestaat er een kracht, die drijvende voorwerpen in een vloeistof omhoogduwt. Die kracht noemen we de *opwaartse kracht*. Deze kracht bestaat niet alleen in vloeistoffen, maar ook in gassen. Een luchtballon stijgt omhoog, ondanks het gewicht van de bemanning, de gondel en de ballast.

Er bestaat een belangrijke wet over de grootte van de opwaartse kracht in vloeistoffen. Deze is bekend als de *wet van Archimedes* en luidt:

Een (geheel ondergedompeld) lichaam ondervindt in een vloeistof een opwaartse kracht, die gelijk is aan het gewicht van de door dat lichaam verplaatste vloeistof.

VOORBEELD: Een koperen gewichtje met een volume van 20 cm^3 wordt aan een krachtmeter gehangen en onder water gedompeld (figuur 28). Wat zal de krachtmeter aanwijzen?

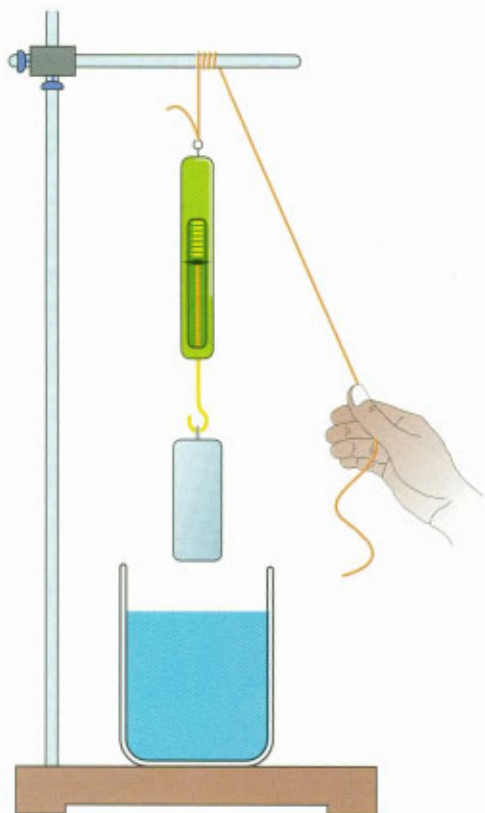
OPLOSSING: De dichtheid van koper is $8,9 \text{ g/cm}^3$ (zie figuur 9 in T3).

De massa van het blokje is
(massa = volume \times dichtheid):
 $20 \times 8,9 \text{ g} = 178 \text{ g}$.

De eenheid van gewicht en kracht is de newton (N).
1 g weegt 0,01 N, dus het blokje weegt (in lucht)
 $178 \times 0,01 = 1,78 \text{ N}$.

Het blokje zal ondergedompeld 20 cm^3 water verplaatsen. De dichtheid van water is $1,0 \text{ g/cm}^3$. De massa van dit water is
 $20 \times 1,0 \text{ g} = 20 \text{ g}$.

FIG. 28 Zo kun je een blokje makkelijk in de vloeistof laten zakken.



Het gewicht van dit verplaatste water is:

$$20 \times 0,01 \text{ N} = 0,20 \text{ N}.$$

De opwaartse kracht op het blokje is dus 0,20 N.

De zwaartekracht trekt het blokje omlaag met een kracht van 1,78 N. Maar in water ondervindt het blokje een kracht omhoog van 0,20 N.

Het schijnbare gewicht van het blokje in water is:

$$1,78 - 0,20 = 1,58 \text{ N}.$$

Dat zal de krachtmeter dus aanwijzen.



WET VAN ARCHIMEDES

Hoewel deze wet aan Archimedes wordt toegeschreven, heeft hij hem zelf zo niet onder woorden gebracht. Maar de wet is wel af te leiden uit proeven die Archimedes deed. In T2 heb je het beroemde verhaal gelezen over de gouden krans van koning Hiëron. De daarbij gedane ontdekking van Archimedes bracht latere natuurkundigen tot bovenstaande wet. Om Archimedes – als grondlegger van die wet – te eren werd de wet naar hem genoemd.

De wet van Archimedes is ook theoretisch te bewijzen. Een eenvoudig en fraai bewijs van deze wet werd in de 16e eeuw geleverd door de Zuidnederlander Simon Stevin.

Simon Stevin werd in 1548 in Brugge geboren en wordt daar met een standbeeld geëerd. Je zou hem een ideale ingenieur kunnen noemen.

Hij was een zeer veelzijdig man. Zijn werk ligt op het gebied van de wiskunde, krachtenleer (mechanica), sterrenkunde (astronomie), zeevaartkunde, waterbouwkunde, vestingbouwkunde, molenbouw en boekhouden.

Stevin gaf ook lessen aan de universiteit van Leiden. In 1575 schonk Willem van Oranje deze universiteit aan de stad, als dank voor het dappere Leids verzet. Prins Maurits, zoon van Willem van Oranje, studeerde daar enige tijd bij Stevin. Deze lessen brachten Maurits er toe een op wiskundige grondslagen gebaseerde strategie in te voeren. Een bekend staaltje van zijn krijgskunst was de inname van Breda met behulp van het turfschip.

Voor Simon Stevin waren theorie en praktijk één. Zijn uitvindingen waren bestemd voor iedereen en hadden een nuttige functie. Hij wilde iedereen – ongeacht zijn vooropleiding – in staat stellen van zijn wetenschap kennis te nemen. Alle geleerden in die dagen schreven nog in het Latijn. Maar Stevin schrijft na 1585 alleen nog maar in de landstaal.

Zijn bewijs voor de wet van Archimedes staat in zijn boek 'De beghinselen der weeghconst' uit 1586 (figuur 29).

Hier volgt een moderne vrije vertaling van zijn bewijs:

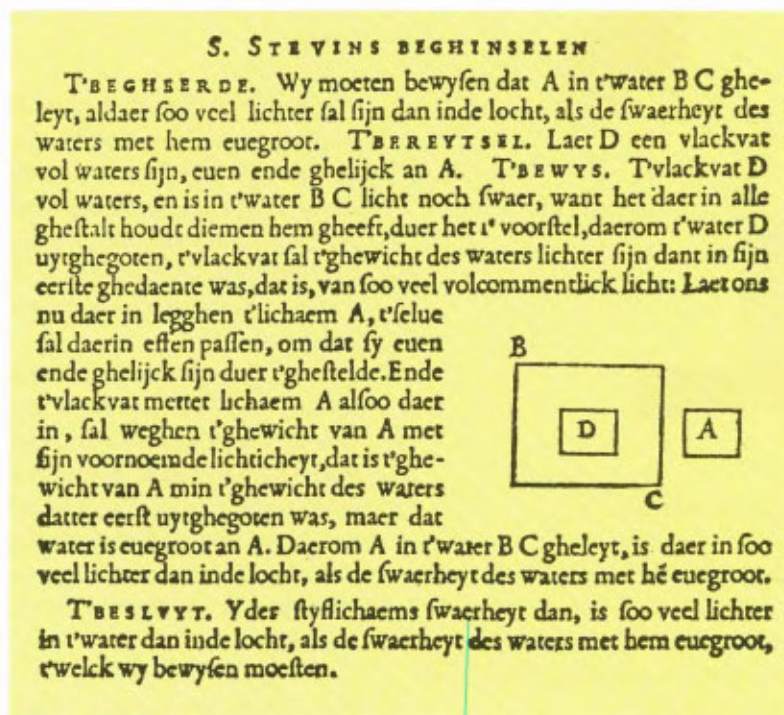
TE BEWIJZEN: Een voorwerp A (figuur 29) weegt in water minder dan in lucht. Het verschil is gelijk aan het gewicht van een even groot volume water. Met andere woorden: A ondervindt een opwaartse kracht, die gelijk is aan het gewicht van het verplaatste water.

FIG. 29 Stevins bewijs van de wet van Archimedes.

GEGEVEN: BC is een vat met water, A een voorwerp en D een volume water dat gelijk is aan dat van A.

BEWIJS: Je zou kunnen zeggen dat het volume water D in het vat met water zweeft. Want het volume water D valt niet omlaag en gaat ook niet omhoog. Het blijft op dezelfde plaats zitten.

Er is dus evenwicht van krachten. Blijkbaar wordt de zwaartekracht op D (die D omlaag wil trekken) opgeheven door een kracht omhoog, uitgeoefend door het omringende water. Dus deze kracht omhoog is gelijk aan het gewicht van het watervolume D.



Denk nu D vervangen door het even grote voorwerp A. Ook dit voorwerp A ondervindt dezelfde kracht omhoog van het omringende water. Daar is immers niets aan veranderd.

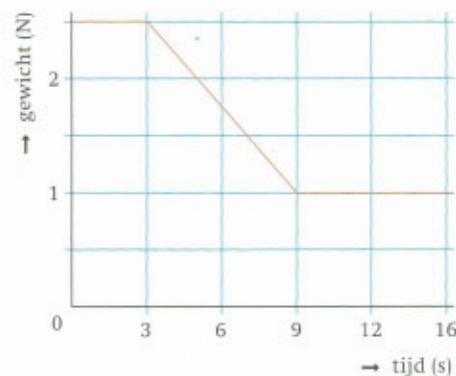
De opwaartse kracht op A is dus gelijk aan het gewicht van het verplaatste water.

Je ziet hoe sterk onze taal in vierhonderd jaar is veranderd.

Je kunt de wet van Archimedes ook gebruiken om de dichtheid van een onbekende vloeistof te bepalen. Los het volgende vraagstuk maar eens op:

- 1** Een voorwerp heeft een volume van 15 cm^3 .
Als je het aan een krachtmeter hangt, wijst deze $0,84 \text{ N}$ aan.
Als je het voorwerp helemaal in de vloeistof hangt wijst de krachtmeter nog maar $0,60 \text{ N}$ aan.
 - a** Hoe groot is de opwaartse kracht?
 - b** Hoeveel weegt de verplaatste vloeistof?
 - c** Bepaal de massa van de verplaatste vloeistof.
 - d** Hoe groot is het volume van de verplaatste vloeistof?
 - e** Bereken de dichtheid van die vloeistof uit de antwoorden, die je bij c en d vond.
 - f** Bepaal nu met dit antwoord en de tabel in figuur 9 (T3) welke vloeistof dit is.
- 2** Lieke laat een blokje aan een krachtmeter langzaam in een vloeistof zakken. Met hulp van Corinne noteert zij steeds wat de krachtmeter aanwijst. Zij maakten van deze gegevens het diagram van figuur 30.
 - a** Hoeveel weegt het blokje, als het in lucht hangt?
 - b** Op welk tijdstip raakt het blokje het vloeistofoppervlak?
 - c** Op welk tijdstip zit het blokje juist helemaal in de vloeistof?
 - d** Hoe groot is de opwaartse kracht op het blokje na 12 s ?

FIG. 30 Het diagram van Lieke en Corinne.



- 3** Prins Maurits was een begaafd wiskundige. Hij is óók een voorvader van onze koningin. Een van haar zonen wil blijkbaar in de voetsporen van Maurits treden en studeert een technisch vak in Delft.
 - a** Hoe heet deze prins?
 - b** Welke studierichting koos hij?