

# De aard van fluïda en de bestudering van stromingen

- *Stromingsleer* is de studie van het gedrag van fluïda (vloeistoffen of gassen), in rust (statica van fluïda) of in beweging (dynamica van fluïda).
- Veelvoorkomende fluïda kunnen herkend en gekarakteriseerd worden aan de hand van hun fysische eigenschappen.
- Het gedrag van fluïda die door ronde of andersgevormde leidingen en buizen stromen kan voorspeld worden.
- Vloeistof bezit energie vanwege zijn snelheid, hoogte en druk.
- Een systeem is te analyseren door rekening te houden met de energie die een fluïdum wint of verliest als het door een deel van dat systeem stroomt.

### Ontdek het zelf

Neem een systeem in gedachten waarin een fluïdum voorkomt. Beschrijf voor dat systeem:

- de basisfunctie of het basisdoel;
- de soorten fluïda die erin voorkomen;
- het soort reservoirs voor het fluïdum of de leidingen waar het fluïdum doorheen stroomt;
- (indien van toepassing:) de oorzaak van de stroming van het fluïdum en de stromingsweg;
- (indien van toepassing:) de onderdelen van het systeem die weerstand bieden tegen de stroming van het fluïdum;
- de eigenschappen van het fluïdum die belangrijk zijn voor het goed functioneren van het systeem.

# In grote lijnen

Fluïda (vloeistoffen en gassen) zijn op vele manieren van invloed op het dagelijks leven. Fluïdumsystemen zijn systemen waarin de aanwezigheid van een of meer fluïda noodzakelijk is voor de werking ervan. In de meeste koelkasten wordt bijvoorbeeld een koelmiddel rondgepompt waarbij het koelproces plaatsvindt door afwisselend het middel te laten verdampen en weer te laten condenseren. Behalve thuis (cv-installatie, sanitaire voorziening, vaatwasser, wasmachine, koelkast, stofzuiger, ventilatiesysteem) zijn er ook in commerciële gebouwen, voertuigen, vaartuigen, vliegtuigen, gebruiksgoederen, bouwinstallaties en fabricageverwerk talrijke fluïdumsystemen te herkennen. Denk aan opslagtanks, drijvende voorwerpen, waterdistributiesystemen in gebouwen, systemen die fluïda leveren voor industriële processen, koelsystemen, hydraulische krachtinstallaties en diverse onderdelen van systemen voor verwarming, ventilatie en airconditioning.

## Doelstellingen

Na bestudering van dit hoofdstuk:

1. kun je onderscheid maken tussen een gas en een vloeistof;
2. kun je het begrip *druk* definiëren;
3. ken je de eenheden voor de grootheden tijd, lengte, kracht en massa in het SI-stelsel;
4. kun je goed vergelijkingen opstellen om consistentie van de eenheden te garanderen;
5. weet je wat de relatie is tussen kracht en massa;
6. ken je de begrippen *dichtheid*, *soortelijk gewicht* en *relatieve dichtheid*;
7. ken je de relaties tussen soortelijk gewicht, relatieve dichtheid en dichtheid, en kun je vraagstukken met behulp van deze relaties oplossen;
8. ken je het begrip oppervlaktespanning;
9. kun je een fluïdumsysteem ontwerpen en de bijbehorende componenten selecteren en dimensioneren.

## 1.1 Inleiding

Hieronder volgen enkele voorbeelden van fluidumsystemen. Daarbij geven we aan welke onderwerpen in dit boek zoal behandeld worden.

1. In huis wordt water gebruikt voor veel verschillende doeleinden, zoals drinken, koken, baden, schoonmaken en planten water geven. Met water wordt ook afval opgeruimd via gootstenen, afvoerleidingen en toiletten. Regenwater, smeltende sneeuw en grondwater mogen niet het huis binnendringen en dienen te worden afgevoerd met behulp van dakpannen, dakgoten, regenpijpen, greppels en zinkputten. Bekijk eens hoe het water naar ieder huis wordt gebracht. Wat is de uiteindelijke bron van het water: een rivier, een reservoir of natuurlijk grondwater? Wordt het water in tanks opgeslagen op bepaalde plaatsen? Het watersysteem moet ook een zekere druk hebben. Hoe wordt die druk opgewekt? Bevinden er zich pompen in het systeem? Beschrijf hun functie en werking. Waar haalt elke pomp het water vandaan? Op welke plaatsen wordt het water afgeleverd? Welke hoeveelheden vloeistof zijn er nodig bij de afleverplaatsen? Hoeveel druk is er nodig? Hoe wordt de waterstroom bestuurd? Welke materialen worden er gebruikt voor de pijpen, buizen, tanks en andere leidingen en containers? Voor de goede orde:

- leidingen transporteren fluida;
- leidingen kunnen bestaan uit buizen en/of pijpen;
- een pijp is een ronde leiding;
- een buis kan ook andere vormen hebben, bijvoorbeeld vierkant;
- met een pijpleiding bedoelt men een stelsel van pijpen, bochten en/of knieën.

De definities voor pijp en buis zijn overigens niet eenduidig. We hanteren bovengenoemde in dit boek. Een andere veelgebruikte definitie is deze: een pijp wordt gewoonlijk gebruikt voor het transport van gassen of vloeistoffen, een buis wordt vaak gebruikt voor constructies.

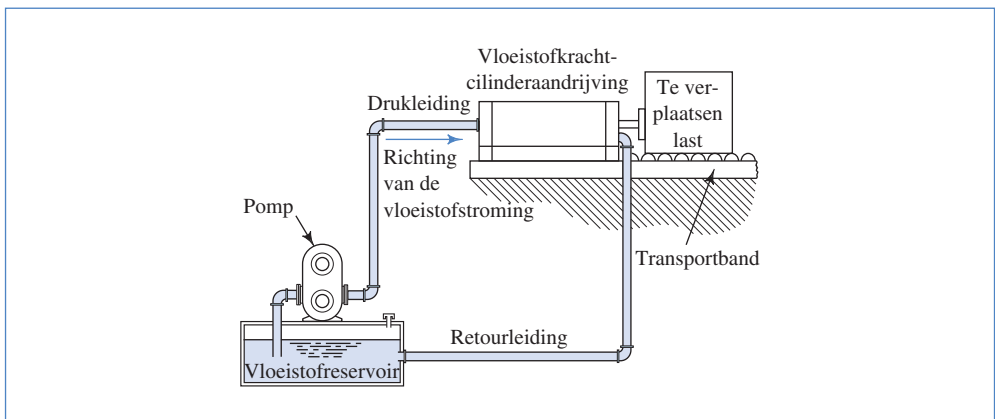
In dit boek wordt veelvuldig verwezen naar tabellen waarin het begrip *Schedule* gehanteerd wordt. Alle pijpen met gegeven nominale afmetingen hebben dezelfde buitendiameter. Maar in plaats van het direct specificeren van de wanddikte wordt er gebruikgemaakt van Schedule-getallen om de wanddikte te specificeren. Zo heeft een nominale 1/8 inch Schedule 40-pijp een wanddikte van 0,068 inch (ID = 0,269 inch), terwijl een nominale 1/8 inch Schedule 80-pijp een wanddikte heeft van 0,095 inch (ID = 0,215 inch). Schedule-getallen hebben geen rekenkundige relatie die kan worden gebruikt om ze om te zetten in wanddiktes. Hiervoor moet een tabel worden geraadpleegd. Deze zijn achter in het boek opgenomen.

De hoofdstukken 6 t/m 13 behandelen het ontwerpen van systemen waarbij het water door een pijpleiding of een buis stroomt. Hoofdstuk 14 bespreekt de gevallen van stroming in open kanalen, zoals de dakgoten van je huis.

2. Een auto kent ook verschillende fluidumsystemen. Denk aan het systeem dat benzine/diesel opslaat en deze vervolgens aan de motor levert. En hoe werkt het ruitensproeyersysteem? Hoe werkt het koelsysteem en wat is de aard van de koelvloeistof? Wat gebeurt er wanneer het rempedaal wordt ingedrukt, vooral met betrekking tot de hydraulische vloeistof in het remsysteem? De concepten die in de hoofdstukken 6 t/m 13 beschreven worden, geven inzicht in dit soort systemen.
3. Bekijk een geautomatiseerd fabricagesysteem dat wordt aangedreven door hydraulische krachtinstallaties zoals weergegeven in figuur 1.1. Beschrijf de vloeistoffen,

pompen, buizen, kleppen en andere onderdelen van het systeem. Wat is de functie van het systeem? Hoe brengt de vloeistof die functie tot stand? Hoe wordt de energie door het systeem geleid en hoe wordt deze uit het systeem afgevoerd? In hoofdstuk 7 wordt dit besproken.

4. Bekijk objecten die in vloeistoffen moeten drijven, zoals schepen, vloten, sloepen en boeien. Waardoor blijven ze drijven? In welke positie en met welke oriëntatie drijven ze? Waarom behouden ze die positie en oriëntatie? De principes van drijfvermogen en stabiliteit worden besproken in hoofdstuk 5.
5. Sommige fluïda, in rust of in beweging, oefenen krachten uit op een object. Ieder vat dat een fluïdum onder druk bevat, levert voorbeelden op. Denk aan een zwembad, een hydraulische cilinder, een dam of een keerwand die vloeistof tegenhoudt, een hogedruksproei-installatie, een brandslang, wind tijdens een orkaan en water dat door een turbine stroomt om energie op te wekken. Welke andere voorbeelden kun je bedenken? In de hoofdstukken 4, 16 en 17 worden deze gevallen besproken.
6. In veel situaties is het belangrijk om de stroomsnelheid van fluïda in een systeem of de totale hoeveelheid geleverd fluïdum te meten. Denk aan het meten van de benzine die je auto ingaat, zodat je betaalt voor wat je krijgt. Het waterleidingbedrijf wil weten hoeveel water je gebruikt in een bepaalde maand. In productieprocessen in een fabriek moeten fluïda vaak zorgvuldig worden afgemeten. Vloeibare medicijnen en zuurstof die in een ziekenhuis aan een patiënt worden gegeven, moeten voor diens veiligheid voortdurend worden gemeten. In hoofdstuk 15 wordt de meting van stromingen behandeld.



FIGUUR 1.1 Karakteristiek leidingensysteem voor vloeistofkracht.

## 1.2 Fundamentele inleidende begrippen

### Druk

Druk wordt gedefinieerd als de hoeveelheid kracht die wordt uitgeoefend op een eenheidsoppervlak van een stof of op een oppervlak. Dit kan worden uitgedrukt door de vergelijking

## Druk

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

(1-1)

Fluida worden onderworpen aan grote variaties in druk, afhankelijk van het soort systeem waarin ze worden gebruikt. Melk in een glas staat onder dezelfde druk als de lucht erboven. Water in het waterleidingnet heeft een hogere druk dan de atmosferische druk. Olie in een hydraulisch systeem (vloeistofkrachtinstallatie) wordt meestal op een hoge druk gehouden, zodat het in staat is om grote krachten op te wekken waarmee constructiemachines of automatiseringsapparatuur in een fabriek worden aangedreven. Gassen als zuurstof, stikstof en helium worden vaak opgeslagen in sterke cilinders onder hoge druk, zodat betrekkelijk grote hoeveelheden in een relatief klein volume kunnen worden bewaard. Perslucht wordt vaak gebruikt in servicestations en productiebedrijven om gereedschap te bedienen of banden op te pompen. In hoofdstuk 3 wordt druk uitgebreider besproken.

### Vloeistoffen en gassen

We rekenen zowel vloeistoffen als gassen tot de fluida. Wanneer een vloeistof wordt bewaard in een container, neemt de vloeistof de vorm aan van de container en bedekt de bodem en de wanden. Het oppervlak dat in contact staat met de atmosfeer erboven, handhaaft een gelijkmatig niveau. Wanneer de container wordt gekanteld, stroomt de vloeistof eruit.

Wanneer een gas onder druk in een gesloten container wordt bewaard, zal het uitzetten en de container geheel vullen. Als de container wordt geopend, zet het gas nog meer uit en ontsnapt het uit de container.

Behalve deze bekende verschillen tussen vloeistoffen en gassen is er bij de studie van stromingen nog een ander verschil van belang. Bekijk daarvoor wat er gebeurt als de druk op een vloeistof of gas wordt verhoogd. Als lucht (een gas) wordt opgesloten in een cilinder met een goed passende, beweegbare zuiger erin, kun je de lucht vrij gemakkelijk samenpersen door de zuiger in te duwen. Denk aan een handpomp om een fietsband op te pompen, of een bal of luchtbed. Bij het bewegen van de zuiger wordt het volume van het gas merkbaar kleiner terwijl de druk hoger wordt. Maar wat gebeurt er als de cilinder water bevat in plaats van lucht? Je kunt een enorme kracht uitoefenen, wat de druk in het water weliswaar verhoogt, maar het volume van het water verandert niet merkbaar. Deze waarneming leidt tot de volgende algemene beschrijvingen van vloeistoffen en gassen die we in dit boek gebruiken.

1. Gassen kunnen gemakkelijk worden samengedrukt.
2. Vloeistoffen kunnen maar weinig worden samengedrukt.

In hoofdstuk 3 wordt samendrukbaarheid uitgebreider besproken. In dit boek hebben we meestal te maken met vloeistoffen.

### Massa en gewicht

Het begrijpen van fluïdumeigenschappen vereist een zorgvuldig onderscheid tussen *massa* en *gewicht*.

*De massa van een fluïdumlichaam is een maat voor zijn inertie of weerstand tegen een bewegingsverandering. Het is ook een maat voor de hoeveelheid fluïdum.*

In dit boek gebruiken we het symbool  $m$  voor massa.

*Het gewicht geeft aan hoeveel een fluïdumlichaam weegt, dat wil zeggen hoe groot de kracht is waarmee het fluïdum wordt aangetrokken door de aarde (zwaartekracht).*

Wij gebruiken het symbool  $w$  voor gewicht.

De relatie tussen massa en gewicht wordt besproken in paragraaf 1.5, waarin we de in dit boek gebruikte eenhedenstelsels bekijken. Je dient vertrouwd te zijn met het Internationale Stelsel van Eenheden, SI.

### Fluïdumeigenschappen

Het laatste deel van dit hoofdstuk behandelt andere eigenschappen van fluïda: *soortelijk gewicht, dichtheid, relatieve dichtheid* en *oppervlaktespanning*. In hoofdstuk 2 introduceren we nog een eigenschap, *viscositeit*, die een maat is voor het gemak waarmee een fluïdum stroomt. Viscositeit is ook belangrijk voor het bepalen van de aard van de stroming van fluïda en de hoeveelheid energie die verloren gaat in een fluïdum dat door een systeem stroomt, zoals besproken wordt in hoofdstuk 8 en 9.

## 1.3 Het Internationale Stelsel van Eenheden

In iedere technische verhandeling dienen de eenheden te worden vermeld waarin de fysische eigenschappen worden gemeten. Een eenhedenstelsel specificeert de eenheden van een aantal basisgrootheden, zoals lengte, tijd en massa. De eenheden van grootheden die geen basisgrootheden zijn, worden daarvan afgeleid.

De uiteindelijke referentie voor het standaardgebruik van metrische eenheden over de hele wereld is het Internationale Stelsel van Eenheden (Système International d'Unités), afgekort SI. In Nederland is het SI uitgewerkt in een norm uit 1977: NEN 999, het *Internationale Stelsel van Eenheden (SI)*. In de Verenigde Staten wordt de standaard gegeven in een publicatie uit 2001 van het National Institute of Standards and Technology (NIST), U.S. Department of Commerce: *The International System of Units (SI)* (NIST Special Publication 330), onder redactie van Barry N. Taylor (zie referentie 1). Dit is de standaard die we in dit boek gebruiken.

De SI-eenheden van grootheden die gebruikt worden, zijn:

Grootheid	Eenheid
Lengte	Meter (m)
Tijd	Seconde (s)
Massa	Kilogram (kg) of $\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}$
Kracht	Newton (N) of $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$

N en  $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$  zijn equivalente eenheden voor kracht, zoals hierboven is aangegeven. Dit komt voort uit de bekende relatie tussen kracht en massa

$$F = ma$$

waarin  $a$  de versnelling is, uitgedrukt in de eenheid  $\text{m/s}^2$ . Vullen we in deze formule de eenheden in, dan vinden we inderdaad

$$N = \text{kg m/s}^2$$

Een kracht van 1,0 N geeft een massa van 1,0 kg dus een versnelling van 1,0  $\text{m/s}^2$ . Dit betekent dat N en  $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$  beide als eenheid voor kracht gebruikt mogen worden. Sommige berekeningen in dit boek vereisen dat je in staat bent om beide eenheden te gebruiken of de ene in de andere om te zetten.

Op dezelfde manier kunnen we naast de kg als standaardmassa-eenheid de equivalenten eenheid  $\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}$  gebruiken. Deze kan worden afgeleid uit

$$m = \frac{F}{a} = \left[ \frac{\text{N}}{\text{m/s}^2} \right] = \left[ \frac{\text{N} \cdot \text{s}^2}{\text{m}} \right]$$

Daarom kunnen kg of  $\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}$  beide als eenheid van massa worden gebruikt.

TABEL 1.1 Voorvoegsels voor SI-eenheden.

Voorvoegsel	SI-symbool	Factor
Giga	G	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
Mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$
Kilo	k	$10^3 = 1\,000$
Milli	m	$10^{-3} = 0,001$
Micro	$\mu$	$10^{-6} = 0,000\,001$
Nano	n	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$

### 1.3.1 Voorvoegsels

Omdat de grootte van fysische grootheden in de studie van vloeistofmechanica een groot bereik omvat, worden er voorvoegsels toegevoegd aan de basiseenheden. Deze voorvoegsels worden in tabel 1.1 gegeven. In het SI-stelsel worden standaard alleen deze voorvoegsels gebruikt, in stappen van  $10^3$ , zoals aangegeven. De resultaten van berekeningen moeten zodanig worden aangepast dat de getallen tussen 0,1 en 10 000 liggen, vermenigvuldigd met een veelvoud van  $10^3$ .<sup>1</sup> Vervolgens kan de juiste eenheid met een voorvoegsel worden gespecificeerd. Hieronder enkele voorbeelden:

1 Omdat de punt in Engelse teksten wordt gebruikt als decimaalteken, gebruiken we de punt niet om groepen van cijfers in grote getallen te scheiden. We verdelen de getallen in groepen van drie cijfers, gerekend zowel naar links als naar rechts vanaf de decimale komma, en gebruiken een spatie om de groepen van drie cijfers te scheiden. We gebruiken geen spatie als er slechts vier cijfers links of rechts van de decimale komma staan, tenzij nodig in tabellen.



Berekend resultaat	Gerapporteerd resultaat
0,004 23 m	$4,23 \times 10^{-3}$ m, of 4,23 mm (millimeter)
15 700 kg	$15,7 \times 10^3$ kg, of 15,7 Mg (megagram)
86 330 N	$86,33 \times 10^3$ N, of 86,33 kN (kilonewton)

Let op: 1 Mg = 1 mt (metric ton) = 1000 kg. De eenheid ton [t] maakt feitelijk geen deel uit van het SI, maar is wel een geaccepteerde en veelgebruikte eenheid. Overigens niet te verwarren met de long ton = 1,016 t, de short ton = 0,9071 t en de register ton = 2,832 m<sup>3</sup>. De laatste is een maat voor volume en niet voor massa.

## 1.4 Het U.S. Customary System

Het U.S. Customary System, ook wel genoemd het *English gravitational unit system* of het *pound-foot-second system*, geeft de volgende eenheden van de fundamentele grootheden:

Lengte	Foot (ft)
Tijd	Seconde (s)
Massa (afgeleide grootheid)	Slug of lb · s <sup>2</sup> /ft
Kracht	Pound (lb)

Waarschijnlijk is de slug de moeilijkst te begrijpen eenheid, omdat men in landen waar het *pound-foot-second system* gangbaar is, in het dagelijks leven gewend is om te meten in pounds, seconden en feet, en niet in slugs. Het zou kunnen helpen om weer te denken aan de relatie tussen kracht en massa

$$F = ma$$

waarin  $a$  de versnelling is, nu uitgedrukt in de eenheid ft/s<sup>2</sup>. Als eenheid voor massa vinden we dan

$$m = \frac{F}{a} = \left[ \frac{\text{lb}}{\text{ft/s}^2} \right] = \left[ \frac{\text{lb} \cdot \text{s}^2}{\text{ft}} \right] = [\text{slug}]$$

Dit betekent dat slugs en lb · s<sup>2</sup>/ft beide als eenheid van massa gebruikt mogen worden. Voor sommige berekeningen in dit boek moet je in staat zijn om beide eenheden te gebruiken of de ene in de andere om te zetten.

## 1.5 Gewicht en massa

In dit boek wordt een onwrikbaar onderscheid gemaakt tussen gewicht en massa. Gewicht is een kracht en massa is de hoeveelheid van een stof. We geven een verband tussen deze twee termen door middel van de tweede wet van Newton, die zegt dat 'kracht is massa maal versnelling', of

$$F = ma$$



Wanneer we het over het gewicht  $w$  hebben, bedoelen we dat de versnelling gelijk is aan  $g$ , de zwaartekrachtversnelling. De tweede wet van Newton wordt dan

#### Gewicht-massarelatie

$$w = mg \quad (1-2)$$

In dit boek gebruiken we  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  in het SI-stelsel en  $g = 32,2 \text{ ft/s}^2$  in het U.S. Customary System. Dit zijn de standaardwaarden op aarde voor  $g$  tot op drie significante cijfers. Voor een grotere mate van nauwkeurigheid hebben we de standaardwaarden  $g = 9,806 65 \text{ m/s}^2$  en  $g = 32,1740 \text{ ft/s}^2$ . Voor het werken met grote precisie en op grote hoogte (zoals bij luchtvaartoperaties), waarbij de feitelijke waarde van  $g$  verschilt van de standaardwaarde, dient de plaatselijke waarde te worden gebruikt.

Neem bijvoorbeeld een steen met een massa van 5,60 kg die aan een draad is opgehangen. Voor het bepalen van de kracht die op de draad wordt uitgeoefend, maken we gebruik van de tweede wet van Newton ( $w = mg$ ):

$$w = mg = \text{massa} \times \text{zwaartekrachtversnelling}$$

Onder standaardomstandigheden geldt  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ . Dus hebben we

$$w = 5,60 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 54,9 \text{ kg m/s}^2 = 54,9 \text{ N}$$

Dus een steen van 5,60 kg weegt 54,9 N.

We kunnen ook de massa van een object berekenen als we het gewicht kennen. Neem bijvoorbeeld aan dat we het gewicht van een kraan door meting hebben vastgesteld op 8,25 N. Wat is de massa van de kraan? We schrijven

$$w = mg$$

$$m = \frac{w}{g} = \frac{8,25 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} = \frac{0,841 \text{ N} \cdot \text{s}^2}{\text{m}} = 0,841 \text{ kg}$$

### Voorbeeldvraagstuk 1.1

Bereken het gewicht van een oliereservoir als het een massa heeft van 825 kg.

*Oplossing*

Omdat  $w = mg$ , hebben we

$$w = 825 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 8093 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

Als we de eenheid  $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$  vervangen door newton, is het antwoord:

$$w = 8093 \text{ N} = 8,093 \times 10^3 \text{ N} = 8,093 \text{ kN}$$

### Voorbeeldvraagstuk 1.2

Een *pint* water weegt 4,632 N. Bereken de massa van het water.

*Oplossing*

Omdat  $w = mg$ , is de massa van het water

$$m = \frac{w}{g} = \frac{4,623 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$= 0,472 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}$$

$$= 0,472 \text{ kg}$$

Vergeet niet dat de eenheden kg en  $\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}$  dezelfde zijn.

### Voorbeeldvraagstuk 1.3

Een *gallon* kwik heeft een massa van 51,2 kg. Bereken het gewicht.

*Oplossing*

$$w = mg = 51,2 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 502,27 \text{ kg m/s}^2$$

Dit is juist, maar de eenheden kunnen verwarrend lijken omdat gewicht gewoonlijk wordt uitgedrukt in N. Een newton is echter equivalent met een  $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ , zoals we in paragraaf 1.3 hebben gezien. Kortom,

$$w = 502,27 \text{ N}$$

## 1.6 Temperatuur

Temperatuur wordt meestal aangegeven in  $^{\circ}\text{C}$  (graden Celsius) of  $^{\circ}\text{F}$  (graden Fahrenheit). Je kent waarschijnlijk de volgende waarden die gelden op zeeniveau:

1. Water bevriest bij  $0^{\circ}\text{C}$  en kookt bij  $100^{\circ}\text{C}$ .
2. Water bevriest bij  $32^{\circ}\text{F}$  en kookt bij  $212^{\circ}\text{F}$ .

Er zitten dus 100 celsiusgraden en 180 fahrenheitgraden tussen dezelfde twee fysische punten. Verder komt 1,0 celsiusgraad exact overeen met 1,8 fahrenheitgraden. Met deze gegevens kunnen we de conversieprocedures tussen graden Celsius en graden Fahrenheit als volgt definiëren:

1. Bij een temperatuur  $T_{\text{F}}$  in  $^{\circ}\text{F}$  is de temperatuur  $T_{\text{C}}$  in  $^{\circ}\text{C}$ :  $T_{\text{C}} = (T_{\text{F}} - 32)/1,8$
2. Bij een temperatuur  $T_{\text{C}}$  in  $^{\circ}\text{C}$  is de temperatuur  $T_{\text{F}}$  in  $^{\circ}\text{F}$ :  $T_{\text{F}} = 1,8 T_{\text{C}} + 32$