

# KRACHTEN



## 1. Enkele begrippen in verband met krachten

Je kent ongetwijfeld al heel wat voorbeelden van soorten krachten: zwaartekracht, veerkracht, spierkracht, cohesie- en adhesiekracht, magnetische kracht, windkracht, enz.

Hoewel je niet de kracht zelf ziet, zie je wel het **effect** van de uitgeoefende kracht.

Dit effect kan zich op twee vlakken manifesteren:

1. Een kracht heeft een vervormend effect. In dit geval spreekt men van een **statisch** effect.  
Voorbeelden hiervan zijn een veer die wordt uitgerekt, een tak die in twee wordt gebroken, enz.
2. Een kracht heeft een effect in verband met de beweging van een lichaam: een lichaam wordt vanuit rust in beweging gebracht of omgekeerd, of wordt versneld of vertraagd. In dit geval spreekt men van een **dynamisch** effect.  
Voorbeelden hiervan zijn een auto die vertrekt, of een voorwerp dat valt, of een raket die wegvliegt, enz.

Dit brengt ons tot een (eenvoudige) definitie van een kracht:

**Men noemt iets een kracht, als het in staat is dingen te vervormen of de snelheid ervan te veranderen.**

## 2. Meten van krachten

Vermits een kracht een grootte is (er zijn immers grote en kleine krachten), zal ze ook een meeteenheid hebben.

Deze meeteenheid noemt men de **newton**.

Een newton is de kracht die je op aarde moet uitoefenen om een massa van (ongeveer 100 g) 98.1 g omhoog te trekken.

Welke kracht moet je uitoefenen om een massa van 1 kg omhoog te heffen? **9.81 N**

Dit brengt ons tot volgend overzicht:

Grootte	Symbool	Meeteenheid	Symbool
<b>kracht</b>	<b>F</b>	<b>1 newton</b>	<b>1 N</b>

Het meettoestel waarmee we kracht meten, noemt men een **dynamometer**. Dit toestel is gebaseerd op de uitrekking van veren, wat we verder in dit hoofdstuk zullen bestuderen.

Je ziet hier enkele modellen.



### 3. Het gewicht van voorwerpen.

We zagen reeds eerder dat het gewicht van een voorwerp een kracht is, meer bepaald de kracht waarmee de aarde aan het lichaam trekt, de zwaartekracht.

De zwaartekracht noemt men een veldkracht, omdat deze kracht ook op een afstand werkt, zonder materieel contact. Immers, een voorwerp dat je de lucht gooit, blijft onderhevig aan de zwaartekracht.

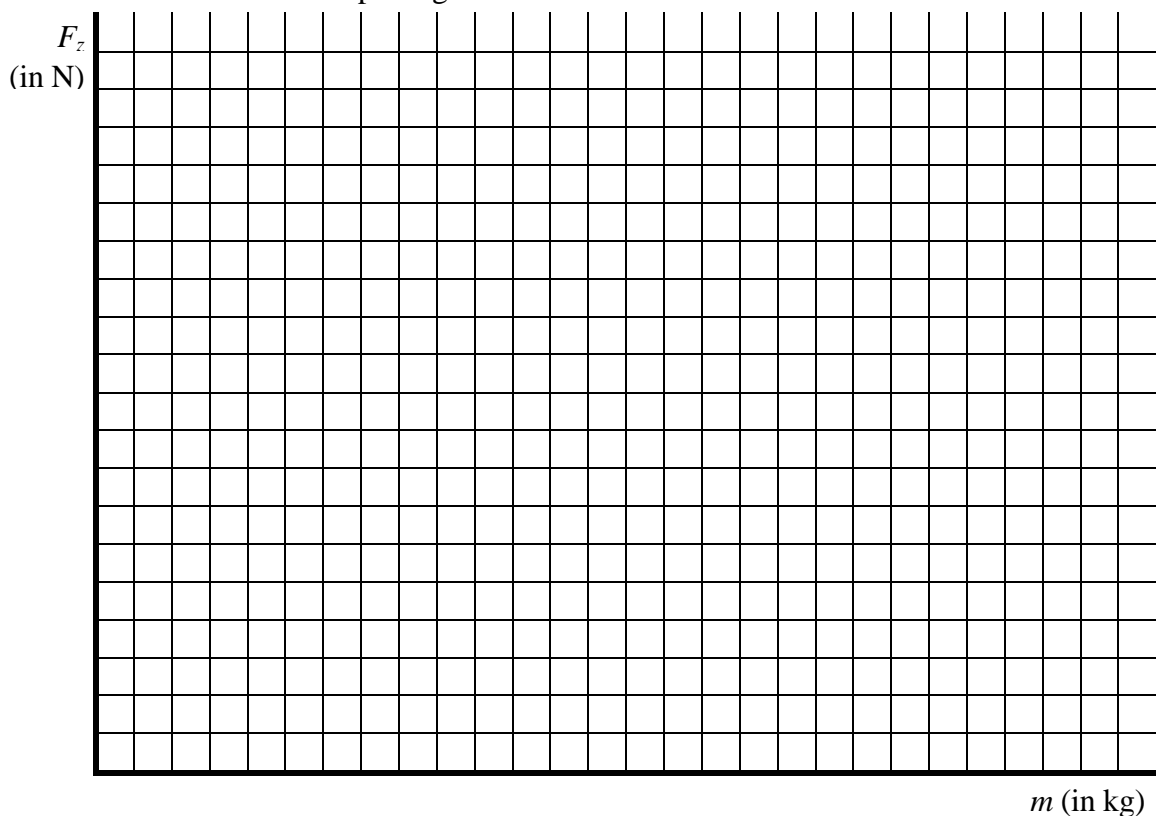
Geef een ander voorbeeld van een veldkracht: **Magnetische kracht**

In de volgende proef gaan we het verband onderzoeken tussen de massa van een voorwerp en zijn gewicht. (We weten al dat dit twee totaal verschillende grootheden zijn!)

We bepalen van een aantal verschillende massa's ( $m$ ) met behulp van een dynamometer hun gewicht ( $F_z$ ), en plaatsen dat in volgende tabel:

$m$ (in kg)	0,050	0,100	0,150	0,200	0,250		
$F_z$ (in N)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5		
$\frac{F_z}{m}$ (in $\frac{N}{kg}$ )	1.10	10	...				

Duid deze meetresultaten aan op een grafiek.



We zien dat de massa en het gewicht van een voorwerp recht evenredig zijn (want de grafiek geeft een rechte door de oorsprong) Dus zijn er twee constante quotiënten te vinden, die elkaars omgekeerde zijn. Bereken op de derde lijn in de tabel het quotiënt  $\frac{F_z}{m}$ , uitgedrukt in  $\frac{N}{kg}$ .

Geef hier de gemiddelde waarde van de gevonden quotiënten:  $10 \frac{N}{kg}$

Deze constante krijgt een symbool: **g**, en wordt **zwaarteveldsterkte** genoemd. Deze zwaarteveldsterkte g verschilt van plaats tot plaats. Op aarde neemt men  $g = 9,81 \text{ N/kg}$ . (Dit is de zwaarteveldsterkte op ons deel van de aarde, deze verschilt een klein beetje van pool tot evenaar.)

Uit  $g = \frac{F_z}{m}$  volgt deze definitie van gewicht (= zwaartekracht):

$$\mathbf{F_z = m \cdot g}$$

Een tabel met de veldsterkten op de verschillende hemellichamen van ons zonnestelsel:

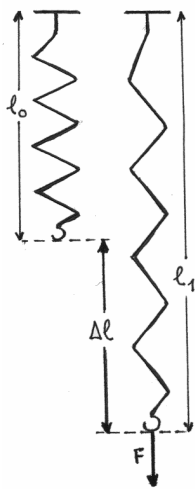
Aarde (In België)	$9,81 \frac{N}{kg}$
Aarde (Evenaar)	$9,78 \frac{N}{kg}$
Aarde (Noordpool)	$9,83 \frac{N}{kg}$
Maan	$1,63 \frac{N}{kg}$
Zon	$265,58 \frac{N}{kg}$

Mercurius	$3,71 \frac{N}{kg}$
Venus	$8,89 \frac{N}{kg}$
Mars	$3,72 \frac{N}{kg}$
Jupiter	$24,85 \frac{N}{kg}$
Saturnus	$10,46 \frac{N}{kg}$
Uranus	$8,88 \frac{N}{kg}$
Neptunus	$11,11 \frac{N}{kg}$
Pluto	$0,66 \frac{N}{kg}$

### Oefeningen

1. Bepaal het gewicht van een persoon van 60,0 kg.
2. Bepaal de massa van iemand met een gewicht van 450 N.
3. Bepaal de zwaarteveldsterkte op Io, een van de manen van Jupiter, wanneer iemand met een massa van 60,0 kg er een gewicht van 75,0 N heeft.
4. Bepaal het gewicht van 1,00 dm<sup>3</sup> aluminium (op aarde). (Oplossing van dit vraagstuk achteraan.)
5. Bepaal het gewicht van 2,40 dm<sup>3</sup> lood (op aarde).

#### 4. Veerkracht - De wet van Hooke



We gaan onderzoeken wat er gebeurt met een veer waarop een kracht wordt uitgeoefend. Hoe ver zal een bepaalde veer uitrekken, wanneer er een bepaalde kracht op wordt uitgeoefend?

We vertrekken in deze proef van een onbelaste veer, dit is een veer waarop geen kracht wordt uitgeoefend. Vervolgens gaan we steeds grotere krachten op deze veer uitoefenen, waardoor die steeds verder uitrekt. We doen die door steeds grotere massa's aan de veer te bevestigen, immers, hoe groter de massa, hoe groter het uitgeoefende gewicht. Gewicht is een grootte die recht evenredig is met de massa.

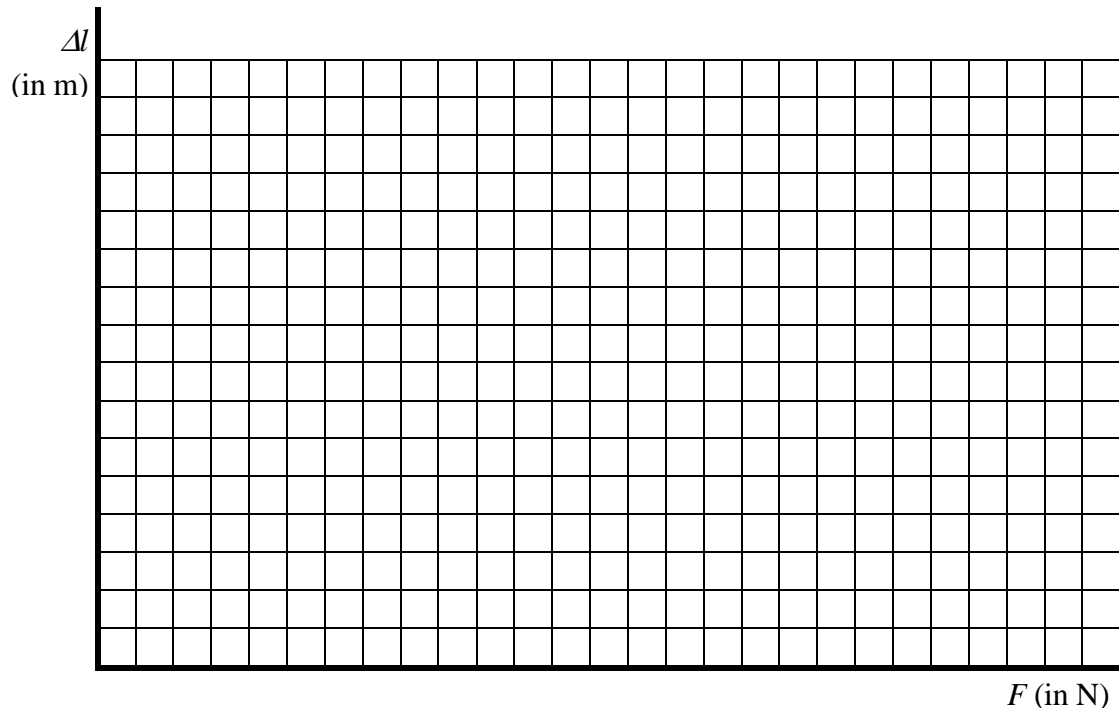
De tweede grootte die we gaan meten is de uitrekking van de veer. Het is dus niet de totale lengte van de veer die we gaan meten, maar het verschil tussen de lengte van de uitgerekte veer ( $l_1$ ), en van de onbelaste veer ( $l_0$ ). Dit verschil noteren we:  $\Delta l$ , het lengteverschil of de uitrekking. (Dus:  $\Delta l = l_1 - l_0$ )

Het symbool  $\Delta$  zal je nog geregeld tegenkomen in de fysica. Het is de Griekse hoofdletter delta, de Griekse letter D, die gebruikt wordt telkens het gaat over een verschil. Denk aan het Engelse en Franse woord voor verschil: difference of différence. Zo zal een tijdsinterval worden genoteerd als  $\Delta t$ , en een verschil tussen twee krachten als  $\Delta F$ .

In volgende tabel noteren we de meetresultaten:

F (in N)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5		
$\Delta l$ (in m)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50		
$\frac{F}{\Delta l}$ (in $\frac{N}{m}$ )	2,0	...					

Vervolgens brengen we deze resultaten aan op een grafiek:



Wat is op deze grafiek de betekenis van de oorsprong?

Bij een kracht van 0,0 N is er een uitrekking van 0,00 m.

Vermits de punten (ongeveer) op een rechte door de oorsprong liggen, zijn de kracht en de uitrekking recht evenredig.

We kunnen dus 2 constante quotiënten berekenen:

\* Een maat voor de stijfheid van de veer:

$$\frac{F}{\Delta l}$$

\* Een maat voor de soepelheid van de veer:

$$\frac{\Delta l}{F}$$

Het eerste van deze twee quotiënten wordt ook de veerconstante genoemd, en krijgt als symbool: **k**.

Bepaal deze veerconstante bij elk van de metingen, en bereken de gemiddelde waarde:  $2,0 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

Wat is de betekenis van dit quotiënt?

Om deze veer 1 m uit te rekken moet er een kracht van 2,0 N op worden uitgeoefend.

Merk op dat deze veerconstante zal verschillen van veer tot veer. Bij een stijvere veer, zal deze constante groter zijn, en bij een soepelere veer zal de constanten kleiner zijn.

Deze proef leidt ons naar **de wet van Hooke**:

Wanneer op een veer een kleine kracht wordt uitgeoefend, geldt:

$$\frac{F}{\Delta l} = k$$

waarbij:

F: de kracht die op de veer wordt uitgeoefend (in N)

$\Delta l$ : de uitrekking van de veer (in m)

k: de veerconstante (of stijfheidsconstante) (in  $\frac{\text{N}}{\text{m}}$ )

Robert Hooke was een Engels natuurkundige die leefde van 1635 tot 1703. Hij bepaalde samen met Huygens dat ze het vriespunt en het kookpunt van water als ijkpunt voor een thermometer zouden nemen, en bestudeerde verder ook nog het licht en de aantrekkingskracht van de aarde.

### Oefeningen:

1. Bepaal de veerconstante van een veer, wanneer een kracht van 5,0 N een uitrekking van 0,10 m tot gevolg heeft.
2. Hoeveel rekt een veer met veerconstante  $k = 4,0 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  uit, wanneer er een kracht van 4,0 N wordt op uitgeoefend?
3. Hoe lang zal een veer van 0,20 m, en met een veerconstante van 10,0 N/m worden, wanneer er een kracht van 8,0 N wordt op uitgeoefend?
4. Hoe groot is de kracht die je moet uitoefenen op een veer met een veerconstante van  $20 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ , als je ze 40 cm wil uitrekken?
5. Een veer is 20 cm lang. Wanneer er een massa van 500 g wordt aangehangen, wordt ze 30 cm lang. Wat is de veerconstante van deze veer?
6. Welke kracht moet je uitoefenen op een veer met een veerconstante van  $7,5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  om deze veer 15 cm uit te rekken? (Oplossing van dit vraagstuk achteraan.)
7. Hoe ver rekt een veer met veerconstante  $15 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  uit, wanneer er een massa van 3,0 kg wordt aangehangen?

## 5. De wet van Archimedes

### a) Experiment

Bij deze proef dompelen we een flesje gevuld met loodkorrels in een bakje water. We bepalen het gewicht boven water en ondergedompeld. Nadien bepalen we in b) het gewicht van het verplaatste water.

We bepalen het gewicht van een lichaam: **8,0 N**

We dompelen dit lichaam onder in water, en we bepalen weer het gewicht: **5,0 N**

We merken op dat er een schijnbaar gewichtsverlies is.

Hoe groot is dit schijnbare gewichtsverlies? **3,0 N**

Dit gewichtsverlies is het gevolg van een **opwaartse stuwkracht** die door het water op het lichaam wordt uitgeoefend. Deze kracht wordt **archimedeskracht** genoemd, naar een Grieks natuurkundige uit de derde eeuw voor Christus.

We gaan nu onderzoeken hoe we deze archimedeskracht (de opwaartse stuwkracht die het schijnbare gewichtsverlies tot gevolg heeft) kunnen bepalen.

### b) De wet van Archimedes

In de vorige proef heb je gemerkt dat het ondergedompelde lichaam een hoeveelheid water verplaatst.

We bepalen het volume van het verplaatste water.

Vervolgens berekenen we de massa van dat water.  
(Druk de massa uit in kilogram)

$$V = 305 \text{ cm}^3$$

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

$$\Rightarrow m = \rho \cdot V$$

$$\Rightarrow m = 1,00 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 305 \text{ cm}^3 \\ = 305 \text{ g} = 0,305 \text{ kg}$$

Tenslotte bepalen we het gewicht van dat water.

$$F_Z = m \cdot g \\ = 0,305 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \\ = 2,99 \text{ N}$$

Wat merk je nu op? **Het gewichtsverlies bij onderdompeling is gelijk aan het gewicht van het verplaatste water.**

Dit brengt ons tot de wet van Archimedes:

**Een lichaam, ondergedompeld in een vloeistof, ondergaat een opwaartse stuwkracht waarvan de grootte gelijk is aan het gewicht van de verplaatste vloeistof.**

**Deze opwaartse stuwkracht wordt archimedeskracht genoemd.**

Symbolen:  $F_A$  of  $F_S = m_{vl} \cdot g$

Je hebt deze wet van Archimedes zeker al aan den lijve ondervonden, wanneer je in bad ging. Wanneer je lekker ondergedompeld in je bad ligt, kan je makkelijk je been opheffen, maar wanneer je je been uit het water heft, lijkt dit plots veel zwaarder te wegen. Op dat moment wordt het niet meer door de archimedeskracht naar boven geduwd.

**c) Zinken, zweven, stijgen, drijven**

Op een lichaam dat in een vloeistof is ondergedompeld, werken 2 krachten.

Welk zijn die twee krachten? **Zwaartekracht (gewicht) en opwaartse stuwkracht (archimedeskracht)**

Deze twee krachten werken in tegengestelde zin, en het is de grootste kracht die het lichaam in beweging krijgt. (Denk aan twee mannen die touwtrekken, degene die het hardst trekt, haalt alles naar zich toe.)

Wat doet het lichaam in elk van volgende gevallen:

$F_Z > F_S$  : Het lichaam zal **zinken**

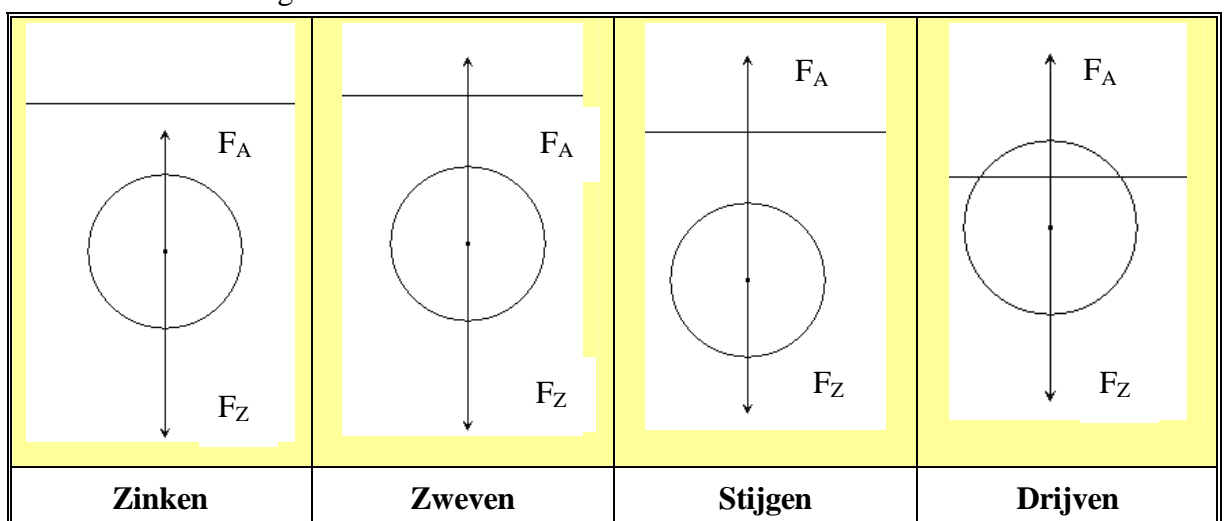
Wanneer het lichaam volledig ondergedompeld is, en  $F_Z = F_A$ , dan zal het lichaam: **zweven in de vloeistof**

$F_Z < F_S$  : Het lichaam zal **stijgen**

Wanneer het lichaam blijft stijgen, zal het gedeeltelijk uit het water komen. Op dat moment vermindert de hoeveelheid verplaatste vloeistof, en dus ook de archimedeskracht. Vermits de archimedeskracht steeds kleiner wordt, naarmate het lichaam verder uit het water komt, en het gewicht van het voorwerp hetzelfde blijft, zal op een bepaald moment gelden:

$F_Z = F_S$  : Het lichaam zal dan **drijven**

We stellen deze vier gevallen schematisch voor:





**d) Het verband tussen zinken, zweven, stijgen, drijven en de massadichtheid van lichaam en vloeistof.**

Om wat volgt te kunnen begrijpen, moet je volgende formules goed verstaan.

Definitie massadichtheid:  $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V$

Definitie gewicht:  $F_Z = m \cdot g$

We combineren de vorige formules, wanneer we het gewicht van een ondergedompeld lichaam, en de opwaartse stuwkracht die door de vloeistof op het lichaam wordt uitgeoefend, gaan bepalen.

Gewicht van het lichaam:  $F_Z = m_{\text{Lichaam}} \cdot g = \rho_{\text{Lichaam}} \cdot V_{\text{Lichaam}} \cdot g$

Opwaartse stuwkracht:  $F_S = m_{\text{Vloeistof}} \cdot g = \rho_{\text{Vloeistof}} \cdot V_{\text{Vloeistof}} \cdot g$

1. Zinken

Wat is het verband tussen

$F_Z$  en  $F_S$  :  $F_Z > F_S$

$V_{Li}$  en  $V_{Vi}$  :  $V_{Li} = V_{Vi}$

Dus:

$$F_Z > F_S$$

↓

$$m_{Li} \cdot g > m_{Vi} \cdot g$$

↓

$$\rho_{Li} \cdot V_{Li} \cdot g > \rho_{Vi} \cdot V_{Vi} \cdot g$$

↓

$$\rho_{Li} > \rho_{Vi}$$

**Besluit: een lichaam zinkt in een vloeistof, wanneer zijn massadichtheid groter is dan die van de vloeistof.**

## 2. Zweven

Wat is het verband tussen  $F_Z$  en  $F_S$  :  $F_Z = F_S$   
 $V_{Li}$  en  $V_{VI}$  :  $V_{Li} = V_{VI}$

Dus:

$$\begin{aligned} F_Z &= F_S \\ \Downarrow \\ m_{Li} \cdot g &= m_{VI} \cdot g \\ \Downarrow \\ \rho_{Li} \cdot V_{Li} \cdot g &= \rho_{VI} \cdot V_{VI} \cdot g \\ \Downarrow \\ \rho_{Li} &= \rho_{VI} \end{aligned}$$

Besluit: een lichaam zweeft in een vloeistof, wanneer zijn dichtheid gelijk is aan die van de vloeistof.

## 3. Stijgen

Wat is het verband tussen  $F_Z$  en  $F_S$  :  $F_Z < F_S$   
 $V_{Li}$  en  $V_{VI}$  :  $V_{Li} = V_{VI}$

Bepaal nu zelf wanneer een lichaam stijgt in een vloeistof:

---

---

---

---

---

---

---

Besluit: een lichaam stijgt in een vloeistof, wanneer:

**zijn massadichtheid kleiner is dan die van de vloeistof.**

#### 4. Drijven

Wat is het verband tussen

$$F_Z \text{ en } F_S : \quad F_Z = F_S$$

$$V_{Li} \text{ en } V_{VI} : \quad V_{Li} > V_{VI}$$

Dus:

$$F_Z = F_S'$$

⇓

$$\rho_{Li} \cdot V_{Li} \cdot g = \rho_{VI} \cdot V' \cdot g \quad (V' \text{ is het volume van het ondergedompelde deel})$$

⇓

$$\boxed{\rho_{Li} \cdot V_{Li} = \rho_{VI} \cdot V'}$$

Merk hier op dat we de twee volumes in de twee leden nu niet kunnen wegdelen, omdat ze niet gelijk zijn!

Vermits  $\rho_{Li} < \rho_{VI}$ , zal het volume van het ondergedompelde gedeelte kleiner zijn dan het totale volume van het lichaam. (Wat je zo ook wel wist.)

Een boot, zelfs met een enorme massa, zal dus op het water drijven, wanneer zijn dichtheid kleiner is dan die van het water. Hij zal dan een hoeveelheid water verplaatsen, waarvan het gewicht gelijk is aan zijn eigen gewicht.

#### e) Overzicht

De wet van Archimedes:

Een lichaam, ondergedompeld in een vloeistof, ondergaat een opwaartse kracht gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof. Deze opwaartse stuwkracht wordt archimedekracht genoemd.

Symbolen:  $F_A = F_S = m_{VI} \cdot g = \rho_{VI} \cdot V_{Li} \cdot g$

Gewicht van een lichaam:  $F_Z = m_{Lichaam} \cdot g = \rho_{Lichaam} \cdot V_{Lichaam} \cdot g$

Een lichaam zinkt in een vloeistof als  $\rho_{Li} > \rho_{VI}$ .

Een lichaam zweeft in een vloeistof als  $\rho_{Li} = \rho_{VI}$ .

Een lichaam stijgt in een vloeistof als  $\rho_{Li} < \rho_{VI}$ .

Een lichaam drijft op een vloeistof als  $\rho_{Li} \cdot V_{Li} = \rho_{VI} \cdot V'$

of als:  $m_{li} = m_{\text{verplaatste vloeistof}}$

In dat laatste geval kan je de wet van Archimedes ook schrijven als:

$$F_S = \rho_{VI} \cdot V' \cdot g$$

f) **Vraagstukken (De tabel met massadichtheden vind je in hoofdstuk 7 p 106)**

Voorbeeld:

Een aluminium cilinder wordt **volledig** ondergedompeld in aceton. De cilinder ondergaat hierdoor een gewichtsverlies van 1,40 N. Bepaal het gewicht van die cilinder wanneer hij niet is ondergedompeld..

Gegeven:  $d = 5,0 \text{ cm}$

$$\rho_{\text{aceton}} = 0,974 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{aluminium}} = 2,70 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$F_A = 1,40 \text{ N}$$

Gevraagd:  $F_Z$

Oplossing

*Je kan hier niet rechtstreeks het gewicht bepalen. Want om het gewicht te bepalen heb je de massa nodig. (En de zwaarteveldsterkte, maar die is gekend:  $9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ .)*

*Om de massa te bepalen heb je naast de massadichtheid, die gegeven is, ook nog het volume nodig.*

*En om dat volume te vinden, kan je werken met de opwaartse stuwkracht. Er is namelijk een formule die een verband legt tussen de opwaartse stuwkracht, de massadichtheid van de vloeistof, het volume van de verplaatste vloeistof en de zwaarteveldsterkte.*

$$* F_S = \rho_{\text{aceton}} \cdot V_{\text{Al}} \cdot g$$

$$\Rightarrow V_{\text{Al}} = \frac{F_S}{\rho_{\text{aceton}} \cdot g} = \frac{1,40 \text{ N}}{0,974 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = \frac{1,40 \text{ N}}{0,974 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}$$
$$= 0,147 \text{ dm}^3 = 147 \text{ cm}^3$$

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

$$\Rightarrow m = \rho \cdot V = 2,70 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 147 \text{ cm}^3 = 397 \text{ g} = 0,397 \text{ kg}$$

$$* F = m \cdot g = 0,397 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 3,89 \text{ N}$$

1. Een holle koperen bol is gemaakt van 150 g koper en heeft een volume van  $200\text{cm}^3$ . In welke van volgende vloeistoffen zal deze holle bol drijven: benzine, water, tetra?
2. Hoe groot is de opwaartse stuwkracht die inwerkt op een metalen blokje van  $7,46\text{ dm}^3$  dat volledig in aceton wordt ondergedompeld?
3. Op een voorwerp van  $719\text{ cm}^3$ , dat volledig in een vloeistof wordt ondergedompeld, werkt een opwaartse stuwkracht van  $22,0\text{ N}$ .  
In welke vloeistof werd het ondergedompeld?
4. Een volledig in benzine ondergedompeld stuk aluminium, ondergaat een gewichtsverlies van  $60\text{ N}$ . Bepaal de massa en het volume van dat blok. (Oplossing van dit vraagstuk achteraan.)
5. a) Een roeiboot heeft een massa van  $100\text{ kg}$ , wat is zijn gewicht?  
b) Hoe groot is de opwaartse stuwkracht die op deze boot inwerkt, wanneer hij op het water ligt te dobberen?
6. Wanneer we een metalen bol volledig onderdompelen in petroleum, is er een gewichtsverlies van  $0,525\text{ N}$ . Hoe groot is die bol?
7. Een ijsberg met een volume van  $100\text{ m}^3$  drijft in zee. Hoe groot is het gedeelte van de ijsberg dat boven water uitsteekt?
8. Een balkvormig blokje met een massadichtheid van  $0,910\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  drijft op melk. De afmetingen van het blokje zijn  $20,0\text{ cm} \times 2,00\text{ cm} \times 3,00\text{ cm}$ .  
a) Hoe groot is het ondergedompelde gedeelte?  
b) Hoe groot is het gedeelte van het lichaam dat boven de melk uitsteekt?
9. Een houten blokje van  $150\text{ g}$  drijft in methanol.  
a) Wat is de grootte van de opwaartse stuwkracht?  
b) Wat is het volume van het ondergedompelde gedeelte van het houten blokje?
10. Een roeiboot heeft bovenaan een oppervlakte van  $2,00\text{ m}^2$ . Het bootje dobbert op zee, en komt met zijn rand  $10\text{ cm}$  boven het water uit. Er stapt een man met een massa van  $70,0\text{ kg}$  in het bootje. Zal het bootje blijven drijven?  
Hoeveel cm is er over of hoeveel cm is het bootje te klein?

Historische noot:

Archimedes was een Grieks natuurkundige die leefde van 287 tot 212 voor Christus. Hij woonde in Syracuse, een Griekse stad op Sicilië.

Deze stad werd geregeld aangevallen door de Romeinen, en ter verdediging zou Archimedes een aantal verdedigingswapens hebben ontwikkeld: werptuigen voor stenen, grijpkranen die boten uit het water konden tillen, brandspiegels om boten in brand te steken. (Dit staat historisch niet helemaal vast.) Toen de stad na 2 jaar beleg werd ingenomen, werd hij door een Romeins soldaat gedood, omdat hij weigerde de berekeningen waarmee hij bezig was te stoppen.

Andere uitvindingen of verbeteringen die op zijn naam staan zijn de hefboom, de katrol, de windas, het tandrad, en de schroef van Archimedes, waarmee je water omhoog kon krijgen.

Verder bepaalde hij de waarde van  $\pi$  tussen  $22/7$  en  $233/71$ , en bewees hij dat het volume van een bol  $2/3$  is van de omgeschreven cilinder. (Op zijn grafsteen werd een bol en een cilinder afgebeeld. Dit was zijn laatste wens.)

Hij vond de evenwichtswet voor hefboomen. (Wie vorig jaar W.W. volgde, herinnert zich nog wel:  $F_{M,m} = F_{L,l}$ .) Hij zou hebben gezegd: "Geef mij een steunpunt, en ik hef de aarde op."

Van hem is de uitspraak dat de kortste weg tussen twee punten een rechte lijn is.

Misschien wel het bekendste verhaal is het volgende. De koning verdacht zijn goudsmid ervan om in een gouden kroon een hoeveelheid zilver te hebben gebruikt. Nochtans, de massa kwam overeen met de massa van het goud. De koning vroeg Archimedes om raad. Hij had er niet direct een oplossing voor, tot op het moment dat hij een bad nam en merkte dat het overliep toen hij erin ging. Hij merkte op dat het volume van de verplaatste vloeistof gelijk was aan het volume van het ondergedompelde gedeelte van zijn lichaam. Zo bepaalde hij van de kroon de dichtheid, en die bleek kleiner dan die van goud. Op die manier kon hij exact bepalen hoeveel zilver werd gebruikt. Het verhaal gaat dat hij toen uit zijn bad sprong en de straat op liep, terwijl hij riep: "Eureka!" Dit is Grieks voor: "Ik heb het gevonden."

In dit hoofdstuk leerde je:

Krachten en hun effect.

Metten van krachten: dynamometer, de meeteenheid newton.

Zwaartekracht: gewicht:  $F_z = m \cdot g$

Veerkracht, de wet van Hooke:  $k = \frac{F}{\Delta l}$

Archimedeskracht:  $F_s = m_{vl} \cdot g = \rho_{vl} \cdot V_{Li} \cdot g$

Zweven, zinken, drijven.

## 6. Vraagstukken in verband met krachten

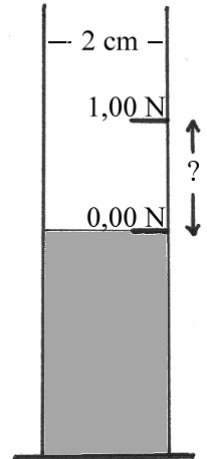
Gebruik bij deze vraagstukken de tabellen met massadichtheden achteraan de cursus, en met veldsterkte uit dit hoofdstuk.

De eerste 6 vraagstukken zijn eenvoudige toepassingen, de volgende zijn wat moeilijker, omdat er dikwijls meerdere formules in moeten worden toegepast. De oplossing staat er telkens bij, zodat je jezelf onmiddellijk kan controleren.

1. Wat is (hier op aarde) het gewicht van iemand van 75,0 kg? (736 N)
2. Wat is de zwaarteveldsterkte op Calisto, een van de manen van de planeet Jupiter, wanneer iemand met een massa van 64,5 kg een gewicht heeft van 116 N? ( $1,80 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ )
3. Bepaal de veerconstante van een veer die 35 cm uitrekt, wanneer er een kracht van 7,0 N op wordt uitgeoefend? ( $20 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ )
4. Hoe ver rekt een veer met veerconstante  $5,0 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  uit, wanneer er een kracht van 8,0 N wordt op uitgeoefend? (1,6 m)
5. Bepaal de opwaartse stuwkracht die inwerkt op een lichaam van 250 cm<sup>3</sup>, wanneer dat volledig wordt ondergedompeld in glycerine. (3,09 N)
6. Een lichaam dat volledig wordt ondergedompeld in melk, ondergaat een gewichtsverlies van 60,0 N. Bepaal het volume van dat lichaam. (5,94 dm<sup>3</sup>)
7. Bepaal het gewicht van iemand op Jupiter, wanneer je weet dat die persoon op aarde een gewicht heeft van 580 N. (147.10 N)
8. Een astronaut heeft op de maan een gewicht van 261 N. Wat zal a) zijn massa en b) zijn gewicht zijn op Mars? ( a) 160 kg b) 595 N)
9. Hoeveel zal het gewicht toenemen van een persoon van 100 kg die van de evenaar naar de noordpool gaat? (5 N)
10. We nemen twee even lange veren, waarvan de eerste een veerconstante van  $2,0 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  heeft. Wanneer we aan beide veren dezelfde massa hangen, dan zal de eerste veer 60 cm en de tweede veer 40 cm uitrekken. Wat is de veerconstante van de tweede veer? ( $3,0 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ )
11. We hangen een metalen blokje van 15 cm<sup>3</sup> aan een veer. Wanneer we dit blokje in benzine onderdompelen, wordt de veer 20 cm korter. Wat is de veerconstante van deze veer? ( $0,50 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ )
12. Een stalen blokje wordt aan een veer met veerconstante  $1,5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  gehangen. Wanneer dit blokje wordt ondergedompeld in petroleum, wordt de veer 0,40 m korter. Wat is de massa van het blokje? (0,57 kg)
13. Een houten blokje van 250 g hangt aan een veer die dan een lengte heeft van 50,0 cm. Wanneer men dat blokje op water laat drijven, heeft die veer nog slechts een lengte van 30,0 cm. Bepaal de veerconstante van deze veer. ( $12,3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ )

14. We gaan een maatcilinder ijken, zodat er onmiddellijk kan worden op afgelezen wat het gewicht is van het verplaatste water. Hiervoor vullen we de maatcilinder voor ongeveer de helft met water, en plaatsen een ijkstreep aan het vloeistofoppervlak. Hoever boven dit beginniveau moeten we dan de ijkstreep voor 1,00 N plaatsen? De diameter van de maatcilinder is 2,0 cm. (32 cm)

En wanneer de cilinder wordt gevuld met kwik? (2,3 cm)



15. Een blokje van 500 g nikkel drijft op kwik. Hoe groot is het gedeelte dat is ondergedompeld? (36,9 cm<sup>3</sup>)
16. Een boomstam heeft een massa van 100 kg. Hij wordt in een rivier gegooid om zo vervoerd te worden. Van deze boom steekt nog 20 dm<sup>3</sup> boven water. Wat is de dichtheid van deze houtsoort? ( $0,833 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$  of  $0,833 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ )
17. Een stuk metaal heeft een gewicht van 2,880 N. Wanneer het wordt ondergedompeld in water heeft het nog slechts een resulterend gewicht van 2,605 N. Uit welk metaal is dit blokje gemaakt? (zilver)
18. Een met helium gevulde luchtballon heeft een volume van 95 m<sup>3</sup>. Hieraan hangt een gesloten mand van 5 m<sup>3</sup> met een massa van 20 kg. Het zeil van de ballon heeft een massa van 50 kg. Wat is de maximale massa die men in de mand kan leggen, zodat de ballon toch nog zal stijgen? De temperatuur bedraagt 0°C. (22 kg)



## OVERZICHT VAN FORMULES

Massadichtheid:

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

Gewicht:

$$\mathbf{F}_z = \mathbf{m} \cdot \mathbf{g}$$

Veerkracht:      De wet van Hooke:

$$\frac{F}{\Delta l} = k$$

De wet van Archimedes:

$$\mathbf{F}_S = \mathbf{m}_{vl} \cdot \mathbf{g} = \rho_{vl} \cdot \mathbf{V}_{Li} \cdot \mathbf{g}$$

Drijven van een lichaam:

$$\rho_{Li} \cdot \mathbf{V}_{Li} = \rho_{vl} \cdot \mathbf{V}'$$

$$\mathbf{m}_{Li} = \rho_{vl} \cdot \mathbf{V}'$$

## Tabellen met MASSADICHTHEDEN

Massadichtheid van enkele <b>vaste stoffen</b> in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ bij 20°C					
Aluminium	2,70	Ivoor	1,9	Polyethyleen	0,95
Chroom	7,19	Koper	8,93	PVC	1,4
Constantaan	8,8	Kurk	0,20 - 0,35	Silicium	2,33
Diamant	3,5	Lood	11,35	Staal	7,9
Goud	19,32	Marmer	2,0 - 2,8	Tin	7,30
Grafiet	1,9 - 2,3	Nikkel	8,9	Uranium	19,7
Hout	0,35 - 0,90	Osmium	22,6	Wolfraam	19,35
IJs (bij 0°C!)	0,91	Papier	0,7 - 1,15	Zilver	10,50
Ijzer	7,87	Platina	21,45	Zink	7,14

Massadichtheid van enkele <b>vloeistoffen</b> in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ bij 20°C					
Aceton	0,974	Ether	0,736	Olie	0,75-0,95
Benzine	0,68	Glycerine	1,26	Petroleum	0,85
Broom	3,12	Kwik	13,55	Tetra	1,595
Chloroform	1,49	Melk	1,03	Water	1,00
Ethanol	0,79	Methanol	0,81	Zeewater	1,025

Massadichtheid van enkele <b>gassen</b> in $\frac{\text{g}}{\text{l}}$ bij 0°C en normale druk					
Ammoniak	0,771	Lucht	1,293	Ozon	2,14
Argon	1,78	Koolstofdioxide	1,977	Stikstof	1,251
Ethaan	1,34	Koolstofmonoxide	1,250	Waterstof	0,090
Chloor	3,21	Methaan	0,71	Xenon	5,89
Helium	0,179	Neon	0,900	Zuurstof	1,429

## De oplossingen van enkele vraagstukken

### Gewicht

4. Bepaal het gewicht van  $1,00 \text{ dm}^3$  aluminium (op aarde).

Gegeven:  $V = 1,00 \text{ dm}^3$

$$\rho_{\text{Al}} = 2,70 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Gevraagd:  $F_Z$

Oplossing: \*  $\rho_{\text{Al}} = 2,70 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 2,70 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

$$* \quad \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V = 2,70 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 1,00 \text{ dm}^3 = 2,70 \text{ kg}$$

$$* \quad F_Z = m \cdot g = 2,70 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 26,5 \text{ N}$$

### Veerconstante

6. Welke kracht moet je uitoefenen op een veer met een veerconstante van  $7,5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  om deze veer  $15 \text{ cm}$  uit te rekken?

Gegeven:  $k = 7,5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

$$\Delta l = 15 \text{ cm}$$

Gevraagd:  $F$

Oplossing: \*  $\Delta l = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$

$$* \quad \frac{F}{\Delta l} = k \Rightarrow F = \Delta l \cdot k = 0,15 \text{ m} \cdot 7,5 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 1,1 \text{ N}$$

### Archimedeskracht

4. Een volledig in benzine ondergedompeld stuk aluminium, ondergaat een gewichtsverlies van  $60 \text{ N}$ . Bepaal de massa en het volume van dat blok.

Gegeven:  $\rho_{\text{Al}} = 2,70 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$$\rho_{\text{benzine}} = 0,68 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$F_S = 60 \text{ N}$$

Gevraagd:  $m_{\text{Al}}$  en  $V_{\text{Al}}$

Oplossing: \*  $2,70 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 2,70 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

$$* \quad 0,68 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0,68 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

$$* \quad F_S = \rho_{V1} \cdot V_{Li} \cdot g \Rightarrow V_{\text{benzine}} = \frac{FS}{\rho_{\text{benzine}} \cdot g} = \frac{60\text{N}}{0,68 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 9,0 \text{ dm}^3$$

$$* \quad V_{Al} = V_{\text{benzine}} = 9,0 \text{ dm}^3$$

$$* \quad \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m_{Al} = \rho \cdot V = 2,70 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 9,0 \text{ dm}^3 = 24 \text{ kg}$$