

## Wat je moet kennen en kunnen aan het eind van blok 20

1 Je moet weten dat een grootheid die grootte en richting heeft, een vector is. [P1, T1]

2 Je moet weten of een grootheid wel of geen vector is. [P1, W1]

3 Je moet een kracht kunnen tekenen als vector. [T1, W1]

4 Je moet weten wat het aangrijpingspunt van een kracht is. [P1, T1]

5 Je moet, bij het tekenen van krachten, kunnen werken met een krachtschaal. [T1]

6 Je moet weten dat de zwaartekracht aangrijpt in het zwaartepunt (massamiddelpunt). [T1]

7 Je moet weten wat de werklijn van een kracht is. [T1, W1]

8 Je moet de resultante van diverse krachten met hetzelfde aangrijpingspunt kunnen bepalen. [P2]

9 Je moet weten dat de resultante van twee even grote maar tegengesteld gerichte krachten 0 N is. [P2]

10 Je moet de resultante van twee krachten met hetzelfde aangrijpingspunt kunnen construeren met de parallellogramconstructie. [P2, T2, W2]

11 Je moet een kracht kunnen ontbinden in twee componenten met de parallellogramconstructie. [T2, W2]

12 Je moet weten wat de opwaartse kracht is. [T3]

13 Je moet weten hoe je met een krachtmeter de opwaartse kracht op een voorwerp kunt bepalen. [P3]

14 Je moet weten wat er bedoeld wordt met de hoeveelheid verplaatste vloeistof. [T3]

15 Je moet weten dat de opwaartse kracht afhangt van de dichtheid van de vloeistof en van het volume van de verplaatste vloeistof. [T3]

16 Je moet de wet van Archimedes kennen. [T3, W3]

17 Je moet het gewicht van de hoeveelheid verplaatste vloeistof kunnen berekenen als de dichtheid en het volume van de verplaatste vloeistof bekend zijn. [T3, W3]

18 Je moet aan kunnen geven of een voorwerp in een vloeistof gaat drijven, zinken, zweven, stijgen of dalen, als de opwaartse kracht en de zwaartekracht op het voorwerp bekend zijn. [T3, W3]

# Blok 20

## Met vereende krachten

### Basisstof

T1 Grootheden met en zonder richting 102

W1 104

T2 Samenstellen en ontbinden van krachten 105

W2 108

T3 Opwaartse kracht 111

W3 114

### Herhaalstof

H1 Krachten 116

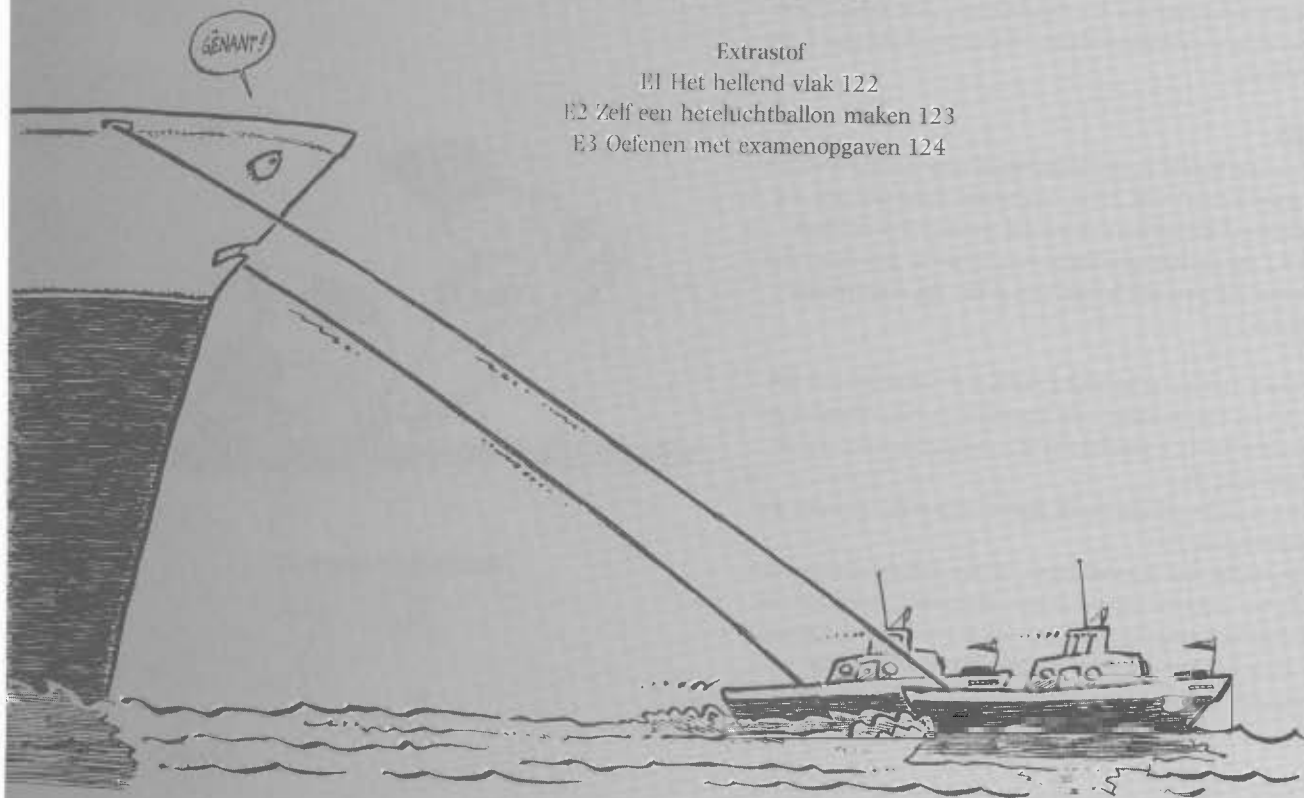
H2 Opwaartse kracht 121

### Extrastof

E1 Het hellend vlak 122

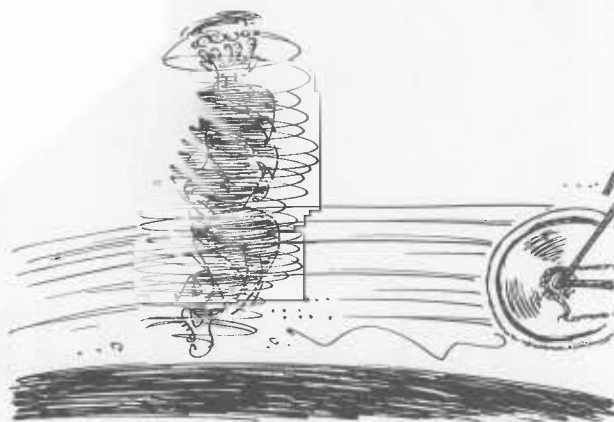
E2 Zelf een heteluchtballon maken 123

E3 Oefenen met examenopgaven 124



# Grootheden met en zonder richting

Bepaalde grootheden, zoals tijd, oppervlakte, temperatuur en massa, hebben alleen maar een grootte. Zo kun je de tijd meten die een schommel nodig heeft om één keer heen en weer te gaan. Als je dan als resultaat van je meting 2,3 seconde noteert, is dat voldoende; tijd heeft immers geen richting. Maar als je de beweging van een fietser bestudeert, is alleen een getal als resultaat onvoldoende. Om de beweging van de fietser volledig weer te geven moet je niet alleen aangeven hoe hard de fietser reed, maar ook welke kant hij opging. Ofwel: je moet de grootte en de richting van de snelheid aangeven. Ook voor de windkracht is de richting minstens zo belangrijk als de grootte. Je wilt niet alleen weten dat de windkracht 7 Beaufort is, maar ook of je, als je 's middags naar huis fietst, wind mee of wind tegen hebt.



## Vectoren

Grootheden die grootte en richting hebben, noemen we *vectoren*. De grootheid kracht is een voorbeeld van een vector. Andere voorbeelden zijn snelheid en versnelling. Een kracht stel je in een tekening voor door een pijl. De pijl wijst in de richting waarin de kracht werkt. De lengte van de pijl geeft de grootte van de kracht weer. Om die lengte te bepalen gebruiken we een krachtenschaal. Zo'n schaal geeft aan hoeveel newton overeenkomt met een afstand van 1 cm in de tekening.

### Voorbeeld

We willen een kracht  $F$ , die horizontaal naar rechts is gericht en een grootte heeft van 20 N, weergeven door een pijl. Als krachtenschaal kiezen we een schaal waarop 5 N overeenkomt met 1 cm (korter genoteerd met:  $1 \text{ cm} \triangleq 5 \text{ N}$ ). We tekenen dus een pijl met een lengte van 4 cm, die naar rechts wijst (figuur 1).

Het symbool voor de grootheid kracht is de letter  $F$  (van het Engelse *force*). Voorbeelden van krachten en hun afkortingen zijn: spierkracht ( $F_{sp}$ ), veerkracht ( $F_v$ ), zwaartekracht ( $F_z$ ) en wrijvingskracht ( $F_w$ ).

De lijn waarop de pijl ligt die de vector voorstelt, noemen we de *werklijn* (figuur 1).

De pijl begint bij een bepaald punt. Bij een kracht noemen we dat punt: het *aangrijpingspunt*. Als je de koelkast opentrekt, is het handvat het aangrijpingspunt. Als je een bal wegschopt (figuur 2), is het punt waar je voet de bal raakt het aangrijpingspunt.

fig. 1

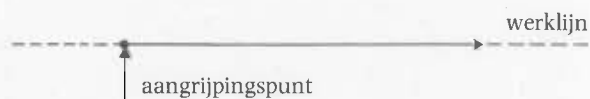
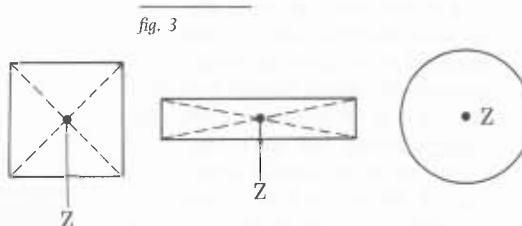


fig. 2



## Zwaartepunt

Het punt waar de zwaartekracht aangrijpt, noemen we het *zwaartepunt* of *massamiddelpunt*. Bij regelmatig gevormde, homogene voorwerpen, zoals kubussen, balken en bollen, ligt het zwaartepunt in het midden (figuur 3). (Een voorwerp is homogeen als de stof gelijkmatig over het voorwerp is verdeeld en er dus geen holtes in zitten. Het voorwerp bezit dan overal dezelfde dichtheid.)



## Zwaartekracht

De richting van de zwaartekracht is altijd verticaal omlaag. De grootte van de zwaartekracht bereken je met:  $F_z = m \cdot g$ . Hierin is  $m$  de massa van het voorwerp in kg;  $g$  is de grootte van de valversnelling. Op de aarde geldt meestal:  $g = 10 \text{ m/s}^2$  (afgeronde waarde), zodat je voor situaties op aarde kunt zeggen:  $F_z = 10 \cdot m$ .

## Normaalkracht en spankracht (reactiekrachten)

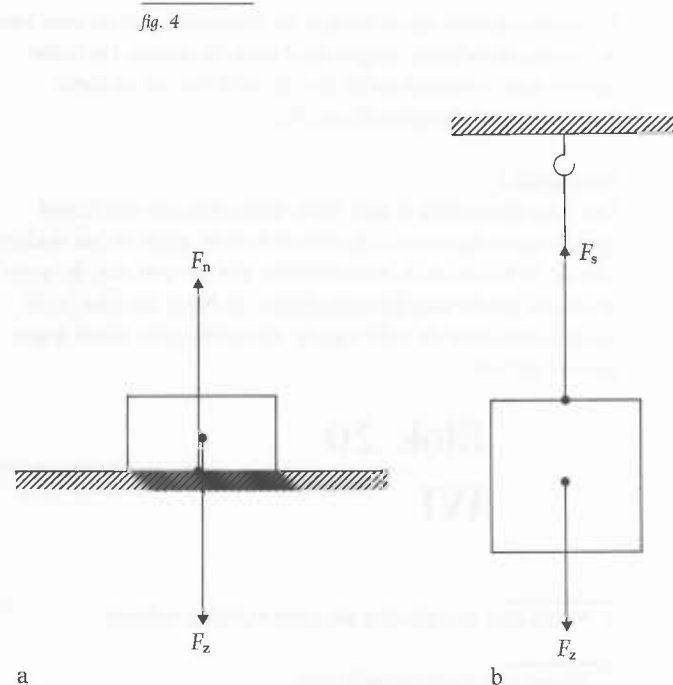
Als een voorwerp op een vlak staat (figuur 4a), oefent dit vlak een kracht uit op het voorwerp. Het voorwerp zou anders door het vlak heen zakken! De kracht die het vlak uitoefent op het voorwerp, noemen we de *normaalkracht* ( $F_n$ ) van het vlak.

Als een voorwerp aan een koord hangt (figuur 4b), oefent het koord een kracht uit op het voorwerp. Anders zou het voorwerp omlaag vallen. De kracht die het koord uitoefent op het voorwerp, noemen we de *spankracht* ( $F_s$ ) van het koord.

Zowel de normaalkracht van een vlak als de spankracht van een koord noemen we een *reactiekracht*: beide krachten zijn immers het gevolg van de zwaartekracht.

De aarde oefent op het voorwerp de zwaartekracht ( $F_z$ ) uit. Het voorwerp zou naar beneden vallen als er niet een kracht van het vlak of het touw was die dit voorkomt.

Als het voorwerp op het gehele ondervlak rust, nemen we als aangrijpingspunt voor  $F_n$  het midden van de onderkant van het (homogene) voorwerp. Als aangrijpingspunt voor  $F_s$  kiezen we gewoonlijk het punt, waar het voorwerp aan het koord is bevestigd (zie figuur 4). Je zou echter elk ander punt in het koord mogen kiezen, want de spankracht is overal in het koord even groot.



Reactiekrachten zijn altijd het gevolg van een vervorming, die door een andere kracht wordt veroorzaakt. Door de zwaartekracht die op het voorwerp werkt, oefent het voorwerp zijn gewicht  $G$  op het vlak of op het koord uit; daardoor wordt het vlak een beetje ingedrukt of het koord een beetje uitgerekt. Het gevolg hiervan is dat in het vlak of in het koord een veerkracht wordt opgewekt. Deze veerkracht hebben we nu een speciale naam gegeven. Bij een vlak heet die kracht *normaalkracht*, omdat hij altijd loodrecht op het vlak staat, óók als dat vlak niet horizontaal staat. (*Normaal* is een ander woord voor *loodlijn*.) Bij een koord heet die veerkracht *spankracht*, omdat hij als een spanning in het koord merkbaar is. Het symbool voor de normaalkracht is  $F_n$ , het symbool voor de spankracht is  $F_s$ .

Als een voorwerp horizontaal staat, zijn de normaalkracht(en) en de zwaartekracht met elkaar in evenwicht; beide krachten werken immers op hetzelfde voorwerp.

#### Voorbeeld 1

Een eenvoudige brug kun je je voorstellen als een homogene balk, die op beide oevers steunt. De zwaartekracht grijpt in het midden aan (figuur 5).

De zwaartekracht op de brug is in evenwicht met de som van de normaalkrachten, uitgeoefend door de oevers. Op beide oevers is de normaalkracht dan de helft van de zwaartekracht, maar tegengesteld gericht.

#### Voorbeeld 2

Een homogene balk is aan beide uiteinden aan een koord opgehangen (figuur 6). De zwaartekracht grijpt in het midden van de balk aan en is in evenwicht met de som van de spankrachten die de koorden uitoefenen. In beide koorden is de spankracht weer de helft van de zwaartekracht, maar tegengesteld gericht.

fig. 5  
De krachten die op een eenvoudige brug werken.

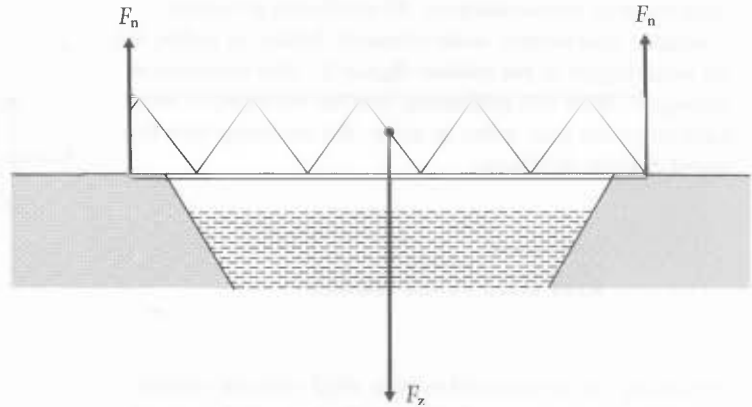
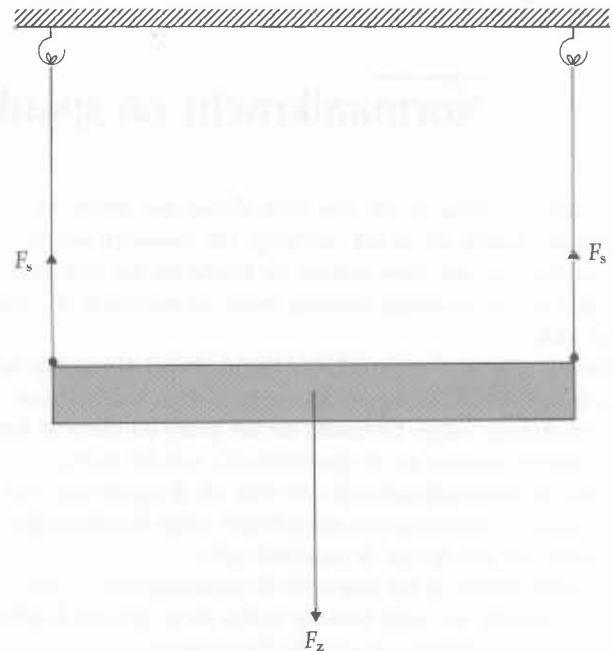


fig. 6  
Een homogene balk hangt aan de uiteinden aan touwen.



## Blok 20

### W1

1 Noem drie grootheden die geen richting hebben.

2 Noem drie vectorgrootheden.

3 Wat wordt bedoeld met het aangrijpingspunt van een kracht?

4 Een blok met een massa van 12 kg ligt op tafel.

a Maak een tekening en geef daarin het zwaartepunt van het blok aan.

b Teken de werklijn van de zwaartekracht die op het blok werkt.

c Bereken de zwaartekracht die op het blok werkt.

d Teken de zwaartekracht op het blok als een vector. Gebruik als krachtschaal  $1 \text{ cm} \cong 4 \text{ N}$ .

5 Aan een blok zijn drie touwen bevestigd (figuur 7). De spankrachten in de touwen 1, 2 en 3 zijn:  $F_1 = 25 \text{ N}$ ,  $F_2 = 70 \text{ N}$ ,  $F_3 = 125 \text{ N}$ .

Maak een tekening en geef daarin de spankrachten aan. Kies als krachterschaal  $1 \text{ cm} \cong 25,0 \text{ N}$ .

6 Op een voorwerp werken drie krachten (figuur 8).

$F_3 = 30 \text{ N}$ .

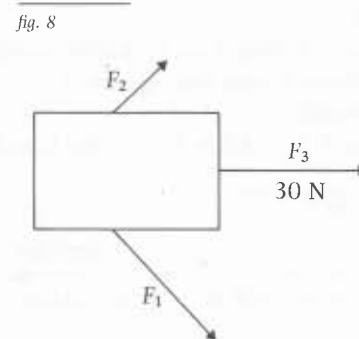
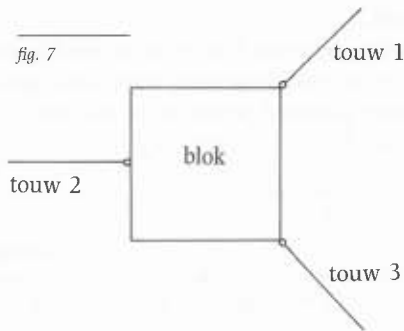
- Bepaal de krachterschaal voor figuur 8.
- Bepaal de grootte van de krachten  $F_1$  en  $F_2$ .
- Teken de werklijnen van  $F_1$ ,  $F_2$  en  $F_3$ .
- Zet een letter A bij het aangrijpingspunt van  $F_1$ .

7 Een blok met een massa van  $5 \text{ kg}$  ligt op tafel.

- Bereken de zwaartekracht.
- Maak een tekening en geef in de tekening het zwaartepunt Z en de zwaartekracht  $F_z$  aan. (Kies zelf een geschikte krachterschaal).
- Teken ook de normaalkracht op schaal.

8 Twee mannen trekken aan een touw, dat vastzit aan een tralie. Ondanks hun inspanning komt er geen beweging in.

- Teken de krachten die hierbij een rol spelen.
- Hoe heten deze krachten?



## Blok 20

### T2

## Samenstellen en ontbinden van krachten

### Samenstellen van krachten

Meestal werken er op een voorwerp verscheidene krachten. Als je het resultaat van deze krachten te weten wilt komen, moet je ze bij elkaar optellen. Maar omdat krachten vectoren zijn, moet je er bij het optellen rekening mee houden dat ze ook een richting hebben. Een kracht van  $4 \text{ N}$  en een kracht van  $6 \text{ N}$  geven daarom samen meestal géén kracht van  $10 \text{ N}$ . Het hangt er namelijk van af welke hoek de krachten (of hun werklijnen) met elkaar maken.

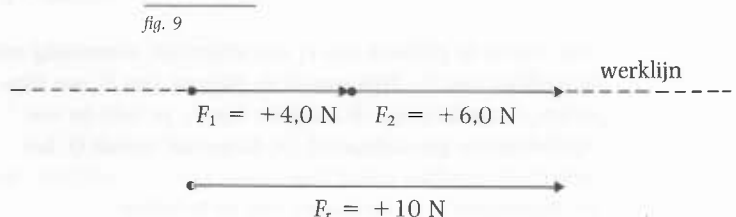
De (vector)som van de krachten heet de *resultante* en wordt aangegeven met  $F_r$ . Uit de voorbeelden 1 tot en met 4 blijkt dat je krachten meestal niet zomaar bij elkaar mag optellen. In de voorbeelden 1, 2 en 3 vallen de werklijnen van de krachten samen; in voorbeeld 4 niet. De krachterschaal is:  $1 \text{ cm} \cong 2,0 \text{ N}$ .  $F_1 = 4,0 \text{ N}$ ,  $F_2 = 6,0 \text{ N}$ .

#### Voorbeeld 1

In figuur 9 zie je dat  $F_1$  en  $F_2$  dezelfde werklijn hebben en beide naar rechts gericht zijn. Daaronder staat hun resultante  $F_r = 10 \text{ N}$  getekend, die óók naar rechts gericht is.

We maken de afspraak dat we krachten, die op een horizontale werklijn naar rechts gericht zijn, een plusteken geven; naar links gerichte krachten geven we een minteken.

In figuur 9 geldt dus:  $F_1 = +4,0 \text{ N}$ ;  $F_2 = +6,0 \text{ N} \Rightarrow F_r = +10 \text{ N}$ .

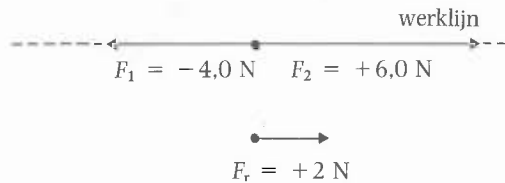


### Voorbeeld 2

In figuur 10 zie je dat  $F_1$  en  $F_2$  weer dezelfde werklijn hebben, maar  $F_1$  is nu naar links en  $F_2$  naar rechts gericht.  $F_r$  staat er weer onder getekend. Je ziet dat er nu geldt:

$$F_1 = -4,0 \text{ N}; F_2 = +6,0 \text{ N} \Rightarrow F_r = +2,0 \text{ N}.$$

fig. 10

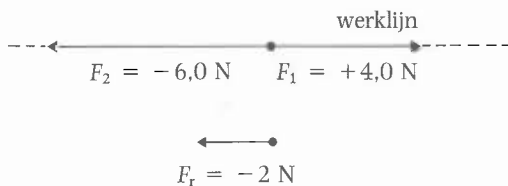


### Voorbeeld 3

Ook in figuur 11 hebben  $F_1$  en  $F_2$  dezelfde werklijn, maar nu is  $F_1$  naar rechts en  $F_2$  naar links gericht;  $F_r = -2,0 \text{ N}$  staat eronder getekend.

$$\text{Nu geldt dus: } F_1 = +4,0 \text{ N}; F_2 = -6,0 \text{ N} \Rightarrow F_r = -2,0 \text{ N}.$$

fig. 11



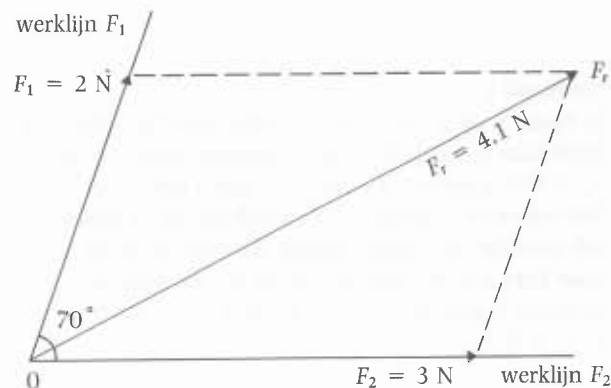
### Voorbeeld 4

In figuur 12 vallen de werklijnen van  $F_1$  en  $F_2$  niet samen. De werklijnen van  $F_1$  en  $F_2$  sluiten een hoek van  $70^\circ$  in.

Je kunt de resultante van de twee vectoren nu construeren met de *parallelogramconstructie* (figuur 12). Dat gaat als volgt.

fig. 12

Bepaling van  $F_r$  met de parallelogramconstructie.



Trek vanuit de pijlpunt van  $F_1$  een stippellijn, evenwijdig aan de werklijn van  $F_2$ . Trek vanuit de pijlpunt van  $F_2$  een stippellijn, evenwijdig aan de werklijn van  $F_1$ . Je hebt nu een *parallelogram* geconstrueerd. De diagonaal vanuit  $O$ , het gemeenschappelijke aangrijpingspunt, naar het snijpunt van de stippellijnen is de resultante van de krachten  $F_1$  en  $F_2$ .

Met de krachterschaal kun je in figuur 12 nagaan dat  $F_r = 4,1 \text{ N}$ ; met je geodriehoek kun je nameten dat  $F_r$  een hoek van  $43^\circ$  maakt met de werklijn van  $F_1$ .

Je kunt die resultante ook echt uitrekenen, maar dat vergt wat te veel wiskunde. Het is voldoende als je de resultante uit metingen kunt bepalen.

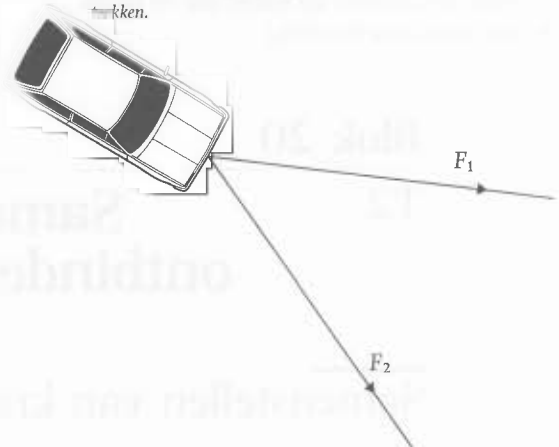
In voorbeeld 5 zie je hoe de grootte van de resultante afhangt van de hoek tussen de werklijnen van de krachten. Voorbeeld 6 laat zien hoe je de resultante berekent van twee krachten die loodrecht op elkaar staan.

### Voorbeeld 5

Tijdens een autocross is een auto in het mulle zand blijven steken. Twee mensen proberen, ieder aan een touw trekkend, de auto uit het zand te halen (figuur 13). Wij kijken alleen naar de hoek tussen de twee touwen en we veronderstellen dat de touwen evenwijdig lopen met de grond.

fig. 13

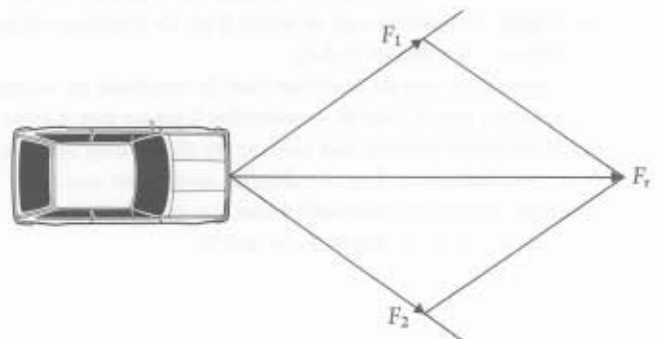
Twee mensen proberen met touwen een auto uit het zand te halen.



Hoe kunnen de krachten  $F_1$  en  $F_2$  van deze mensen zo effectief mogelijk worden gebruikt? Als de hoek tussen de twee touwen groot is, blijkt de resultante klein te zijn (figuur 14).

fig. 14

Een grote hoek tussen de touwen levert een kleine resultante op.

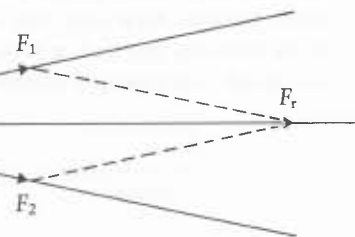


Is de hoek klein, dan is de resultante groot (figuur 15). Dus: hoe kleiner de hoek tussen de touwen, hoe groter de resultante. De resultante is maximaal als de hoek  $0^\circ$  is. In het geval van de auto in het zand kunnen die twee mensen dus beter samen aan één touw trekken.



fig. 15

Een kleine hoek tussen de touwen levert een grote resultante op.



In één bijzondere situatie moet je de grootte van de resultante van twee vectoren wél kunnen berekenen, zonder gebruik te maken van een parallellogramconstructie. Dat is als de twee vectoren loodrecht op elkaar staan. De resultante van de twee vectoren bereken je dan met behulp van de stelling van Pythagoras.

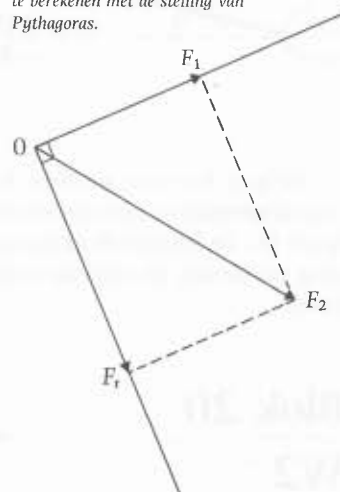
#### Voorbeeld 6

De werklijnen van twee krachten staan loodrecht op elkaar (figuur 16).  $F_1$  is 30 N,  $F_2$  is 40 N. Voor de grootte van de resultante geldt nu:

$$F_r^2 = F_1^2 + F_2^2, \text{ dus } F_r^2 = 900 + 1600 = 2500 \Rightarrow F_r = 50 \text{ N.}$$

fig. 16

Als de vectoren loodrecht op elkaar staan, kun je de resultante berekenen met de stelling van Pythagoras.

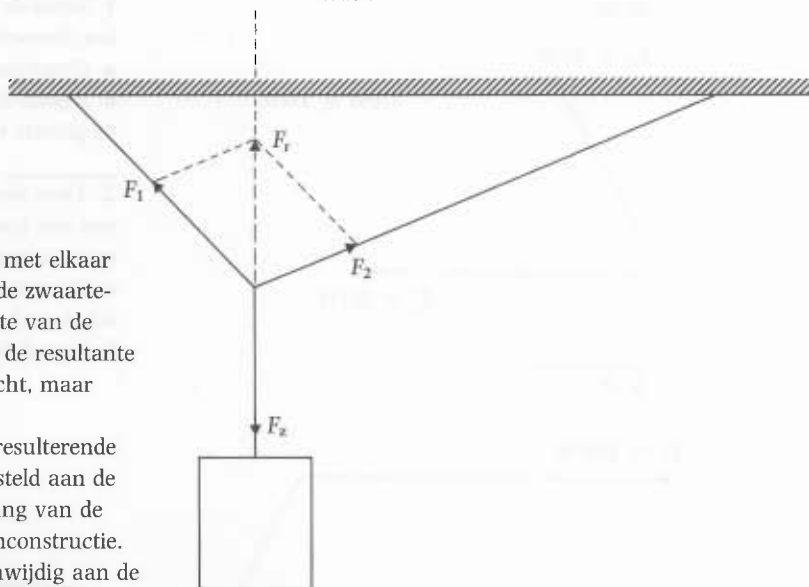


## Ontbinden van krachten

Soms moet je één kracht vervangen door twee andere krachten. We spreken dan van *het ontbinden van die kracht in twee componenten*.

fig. 17

Een blok hangt aan twee touwen.



Een blok hangt aan twee touwen die een hoek met elkaar maken (figuur 17). Als er evenwicht is, wordt de zwaartekracht op het blok opgeheven door de resultante van de spankrachten in beide touwen. Anders gezegd: de resultante  $F_r$  van de krachten is gelijk aan de zwaartekracht, maar tegengesteld gericht.

Je kunt de spankrachten vinden door eerst de resulterende kracht  $F_r$  te tekenen, even groot maar tegengesteld aan de vector van  $F_z$ . Daarna ontbind je  $F_r$  in de richting van de twee touwen met behulp van de parallellogramconstructie. Trek vanuit de pijlpunt van  $F_r$  twee lijnen evenwijdig aan de twee touwen. (Doe dit met je geodriehoek; daarop staan lijntjes getekend, die evenwijdig zijn aan de schuine zijde. Als je die lijntjes evenwijdig aan een touw laat lopen, kun je – vanuit de pijlpunt van  $F_r$  – een lijn tekenen die evenwijdig aan dat touw loopt.) De snijpunten met de touwen geven de

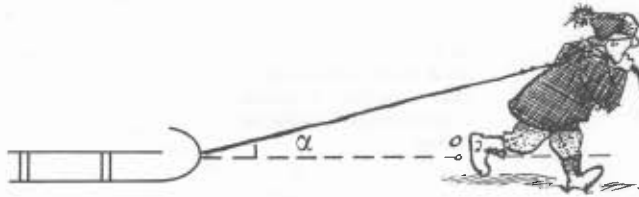
pijlpunten aan van de spankrachten. Door de krachten op schaal te tekenen, kun je  $F_1$  en  $F_2$  berekenen met behulp van de krachterschaal.



### Voorbeeld 7

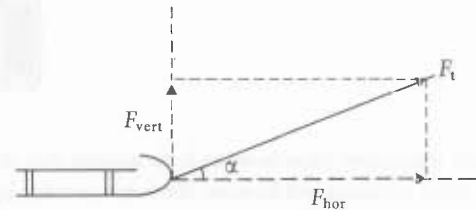
Als je een slee aan een kort touw voorttrekt, merk je dat de slee een beetje omhoogkomt. Toch wil je de slee alleen naar voren trekken. Als je kijkt naar de richting van het touw, zie je dat het touw een hoek  $\alpha$  maakt met de richting waarin de slee wordt voortbewogen (figuur 18).

fig. 18  
Een slee wordt aan een touw voortgetrokken.



De trekkracht  $F_t$  die je op het touw uitoefent, kan worden ontbonden in een horizontale component en een verticale component (figuur 19). De horizontale component  $F_{hor}$  zorgt voor de beweging van de slee. De verticale component  $F_{vert}$  wil de slee optillen.

fig. 19  
De trekkracht  $F_t$  is ontbonden in de componenten  $F_{hor}$  en  $F_{vert}$ .



Bij een kort touw is de hoek  $\alpha$  tussen het touw en de richting waarin de slee beweegt, groot. Daardoor is de verticale component  $F_{vert}$  óók groot. De kans bestaat dan, dat je de voorkant van de slee omhoogtrekt, zodat de 'last' van de slee kan glijden.

Bij een lang touw is  $F_{vert}$  kleiner en  $F_{hor}$  groter. Door een lang touw te gebruiken, wordt dus een groter deel van je trekkracht gebruikt voor de voortbeweging van de slee.

## Blok 20

### W2

fig. 20

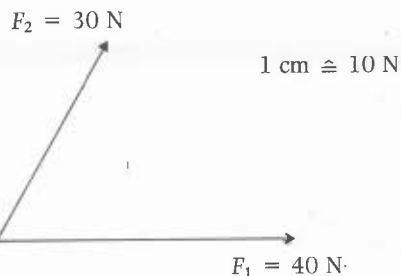
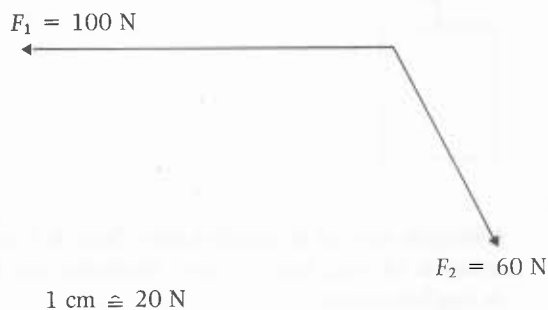


fig. 21



1 Neem de figuren 20 en 21 nauwkeurig over. Gebruik de krachterschalen die bij de tekeningen vermeld staan.

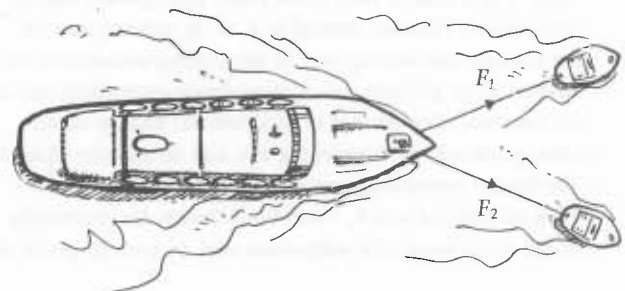
- Construeer in beide situaties de resultante.
- Bepaal door meting en met behulp van de krachterschalen de grootte van de resultanten.

2 Twee sleepboten trekken een schip. Beide boten trekken met een kracht van 400 kN (figuur 22). Neem de tekening over. Gebruik als krachterschaal: 1 cm  $\cong$  100 kN.

- Construeer de resultante  $F_r$  van de krachten die op het schip werken.
- Bepaal de grootte van  $F_r$ .

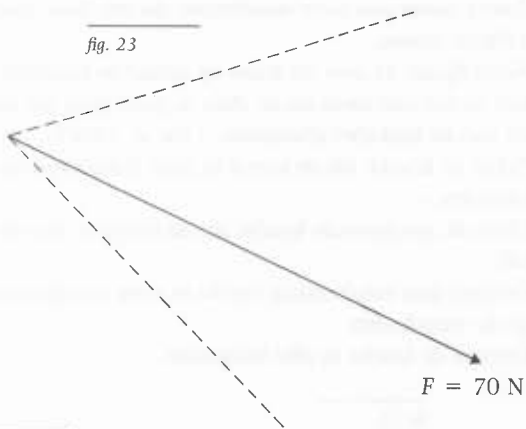
fig. 22

Een schip wordt getrokken door twee sleepboten.



- 3a Neem figuur 23 nauwkeurig over en ontbind  $F = 70 \text{ N}$  in twee componenten, waarvan de werklijnen al getekend zijn.  
 b Bepaal de grootte van deze componenten.

fig. 23



- 4a Neem de figuren 24 en 25 nauwkeurig over en construeer<sup>7</sup> in beide situaties de resultante van alle krachten.  
 b Bepaal door meting in elke situatie de krachtenschaal.  
 c Bepaal in beide situaties de grootte van de resultante.

fig. 24

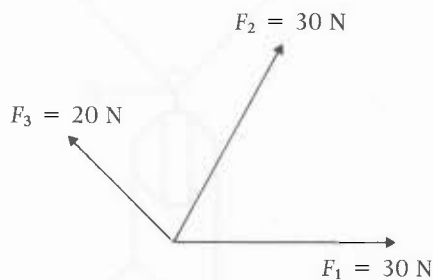
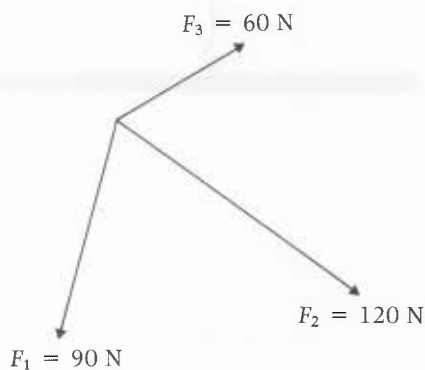
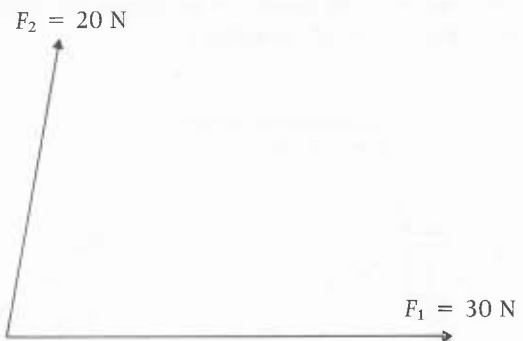


fig. 25



- 5 Neem figuur 26 nauwkeurig over. Gebruik als krachten-schaal:  $1 \text{ cm} \cong 5 \text{ N}$ .  
 a Construeer de kracht die de krachten  $F_1$  en  $F_2$  in evenwicht houdt.  
 b Bepaal de grootte van die kracht.

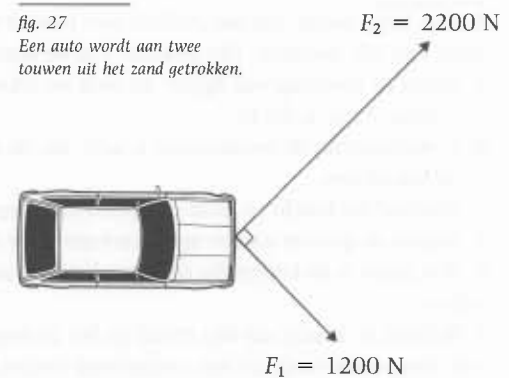
fig. 26



- 6 Een auto is tijdens een cross in het mulle zand terechtgekomen. Met behulp van twee touwen trekken een aantal mensen de auto uit het zand. De touwen maken een hoek van  $90^\circ$  met elkaar. Aan het ene touw trekken twee mensen met een totale kracht van  $1200 \text{ N}$ . Aan het andere touw trekken drie mensen met een totale kracht van  $2200 \text{ N}$  (figuur 27).

fig. 27

Een auto wordt aan twee touwen uit het zand getrokken.



- a Neem figuur 27 over en construeer de resultante.  
 b Bereken de kracht waarmee de auto uit het zand wordt getrokken (de resultante van de twee krachten).

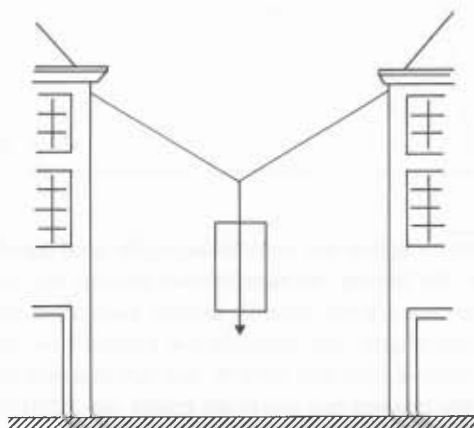
- 7 Twee krachten werken onder een hoek van  $90^\circ$  op een punt P (figuur 28).  $F_1 = 12 \text{ N}$  en  $F_2 = 5 \text{ N}$ .  
 a Construeer de kracht die deze twee krachten in evenwicht houdt.  
 b Bereken de grootte van deze kracht.

fig. 28



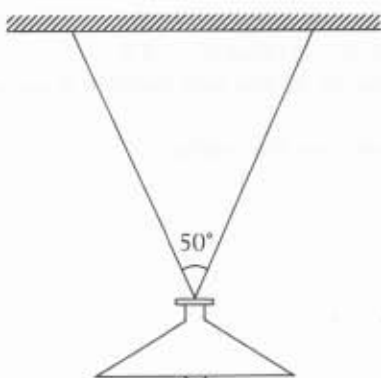
- 8 In figuur 29 zie je een kist aan een kabel tussen twee gebouwen hangen. Neem de tekening over en construeer de spankrachten in de kabels. (De werklijnen van de componenten vallen samen met de kabels.)

fig. 29  
Een kist hangt aan een kabel tussen twee gebouwen.



- 9 Een lamp hangt aan het plafond aan twee draden, die een hoek van  $50^\circ$  insluiten. Het gewicht van de lamp is 40 N.
- Neem de tekening van figuur 30 over en teken deze kracht op schaal ( $1 \text{ cm} \cong 10 \text{ N}$ ).
  - Construeer nu de resulterende kracht, die de draden op de lamp uitoefenen.
  - Ontbind die kracht in twee componenten langs de draden.
  - Bepaal de grootte van de spankrachten in de draden.
  - Hoe groot is de kracht die één draad op het plafond uitoefent?
  - Ontbind de kracht die één draad op het plafond uitoefent in een component langs en een component loodrecht op het plafond.

fig. 30  
Een lamp hangt aan twee draden aan het plafond.

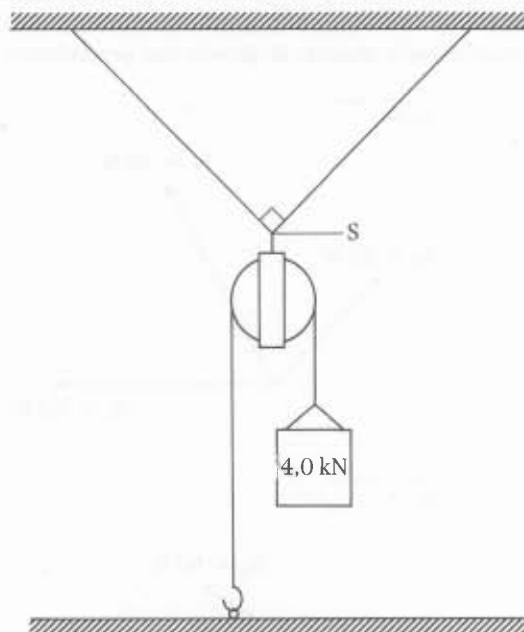


- 10 Een last van 4,0 kN hangt aan een hijskabel die over een katrol loopt (figuur 31). Het gewicht van de katrol wordt verwaarloosd. Het uiteinde van de hijskabel is in punt Q aan de vloer bevestigd.

De katrol hangt aan twee staaldraden die een hoek van  $90^\circ$  met elkaar maken.

- Neem figuur 31 over en teken op schaal de krachten, die de last op het ene einde en de vloer in punt Q op het andere einde van de hijskabel uitoefenen ( $1 \text{ cm} \cong 2,0 \text{ kN}$ ).
- Teken de kracht, die de katrol in punt S uitoefent op de staaldraden.
- Teken de resulterende kracht, die de katrol in evenwicht houdt.
- Ontbind deze resulterende kracht in twee componenten langs de staaldraden.
- Bereken de kracht in elke staaldraad.

fig. 31  
Een katrol hangt aan twee kabels.



Een boomstam drijft in het water. In blok 3 hebben we dit verklaard door te zeggen dat de dichtheid van hout kleiner is dan de dichtheid van water.

Je hebt de volgende regels voor drijven, zweven en zinken geleerd:

- een voorwerp drijft als de dichtheid van het voorwerp kleiner is dan de dichtheid van de vloeistof;
- een voorwerp zweeft als de dichtheid van de vloeistof gelijk is aan de dichtheid van het voorwerp;
- een voorwerp zinkt als de dichtheid van het voorwerp groter is dan de dichtheid van de vloeistof.

Je kunt ook naar de krachten kijken die op het voorwerp werken. Op de drijvende boomstam werkt een kracht omlaag, de zwaartekracht. Maar omdat de stam drijft, moet er ook een kracht omhoog zijn die voorkomt dat de zwaartekracht de stam omlaag trekt. Deze kracht omhoog noemen we de *opwaartse kracht* ( $F_{\text{opw}}$ ).

Vaak hebben we bij drijven en zweven niet te maken met massieve maar met holle voorwerpen. Denk maar aan een schip, een duikboot of een luchtballon. Je kunt nu niet zonder meer de dichtheid gebruiken om het verschijnsel te verklaren, want de dichtheid van ijzer is groter dan die van water.

In al deze situaties spelen krachten een belangrijke rol. De zwaartekracht ( $F_z$ ) werkt op alle voorwerpen. Verder is de opwaartse kracht ( $F_{\text{opw}}$ ) van belang. Dit is de omhoog werkende kracht die door de omringende stof wordt veroorzaakt.

De opwaartse kracht wordt veroorzaakt door drukverschillen in de vloeistof. Hoe dieper een vlak onder de vloeistofspiegel ligt, des te groter is de druk die de vloeistof er door zijn gewicht op uitoefent.

De omhoog gerichte druk op de onderkant van een voorwerp is dus groter dan de omlaag gerichte druk op de bovenkant van het voorwerp.

Omdat 'druk' de kracht per oppervlakte-eenheid is, mag je in de vorige alinea het woord 'druk' door het woord 'kracht' vervangen. De resultante van deze twee krachten is dus een kracht omhoog: de omhoog gerichte kracht op het ondervlak is immers groter dan de omlaag gerichte kracht op het bovenvlak. Deze omhoog gerichte resulterende kracht is dus de opwaartse kracht.

Als je dit begrepen hebt, is het nog één stapje om de wet van Archimedes te begrijpen. We gaan er van uit dat het voorwerp onder de vloeistof een kubus is. De krachten op het voor- en achtervlak zijn dan even groot en tegengesteld, en heffen elkaar dus op. Hetzelfde geldt voor de krachten op het linker- en rechterzijvlak. De krachten op het

onder- en bovenvlak zijn dus de enige krachten die elkaar niet helemaal maar slechts ten dele opheffen. Het verschil tussen die krachten wordt bepaald door het gewicht van de vloeistof, die tussen het onder- en bovenvlak van de kubus zou kunnen zitten. Dat betekent dat de opwaartse kracht gelijk moet zijn aan het gewicht van de vloeistof, die op de plaats van het voorwerp zou kunnen zitten! Anders gezegd: 'De opwaartse kracht die een voorwerp in een vloeistof ondervindt is gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof. Dit is de wet van Archimedes. Archimedes formuleerde de wet, maar heeft zelf nooit het bewijs ervan geleverd. Dat deed voor het eerst de in Brugge geboren geleerde Simon Stevin (figuur 33) in 1586 in zijn boek 'De begheinselen des Waterwichts'.

fig. 32

De opwaartse kracht zorgt ervoor dat het schip blijft drijven.



fig. 33

Simon Stevin (1548-1620) leverde als eerste het bewijs van de wet van Archimedes.



Uit proeven blijkt dat de grootte van de opwaartse kracht afhangt van:

- de vloeistof waarin het voorwerp zich bevindt;
- het volume van het voorwerp.

fig. 34  
Drijven in de Dode Zee.



De opwaartse kracht werd voor het eerst beschreven door Archimedes. De regel die geldt voor de opwaartse kracht noemen we dan ook de wet van Archimedes. Deze regel luidt: een voorwerp dat in een vloeistof is gedompeld, ondervindt een opwaartse kracht. Deze kracht is gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof.

De opwaartse kracht in gasen is op dezelfde manier te berekenen als de opwaartse kracht in vloeistoffen. Omdat het gewicht van het verplaatste gas meestal erg klein is ten opzichte van het gewicht van het voorwerp merken we niet veel van deze opwaartse kracht. De aanwezigheid van de opwaartse kracht kun je wel goed merken bij een groot voorwerp, zoals een heteluchtballon. Om het gewicht van ballast en ballonvaarders te kunnen dragen moet hij wel flink groot zijn. Alleen dan levert het verschil tussen het gewicht van de warme lucht in de ballon en de verplaatste koude lucht een opwaartse kracht op die groot genoeg is om de ballon op te laten stijgen. (In E2 staat hoe je zelf een kleine heteluchtballon kunt maken.)

Het zeer lichte waterstofgas wordt ook wel gebruikt in ballonnen. Het nadeel van waterstofgas is de grote brandbaarheid.

Om de opwaartse kracht te bepalen, moet je het gewicht van de verplaatste vloeistof berekenen.

De zwaartekracht bereken je met:

$$F_z = m \cdot g \text{ waarin } g = 10 \text{ m/s}^2.$$

Voor het berekenen van de opwaartse kracht maak je gebruik

van dezelfde regel, want volgens de wet van Archimedes geldt:

de opwaartse kracht = het gewicht van de verplaatste vloeistof.

Bij het berekenen van de opwaartse kracht gebruik je vaak de dichtheid. De dichtheid geeft aan hoeveel gram de massa van één  $\text{cm}^3$  van een stof is.

$$\text{Dichtheid} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \quad \text{In formulevorm: } \rho = \frac{m}{V}$$

fig. 35  
Dichtheden bij 20 °C.

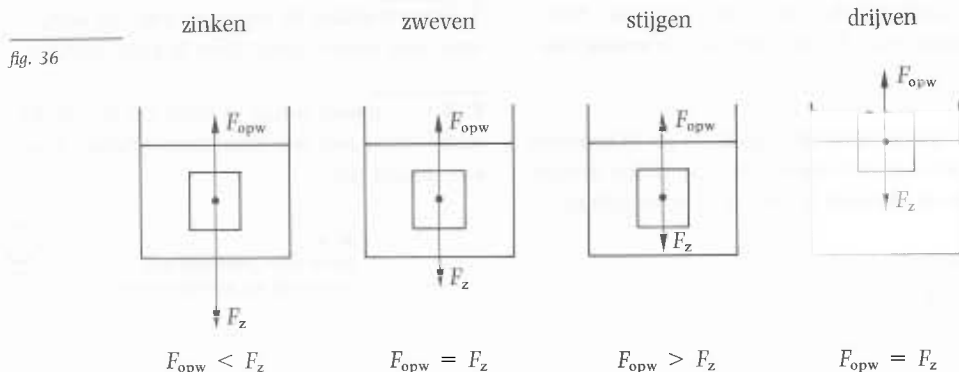
stof	dichtheid ( $\text{g/cm}^3$ )
aluminium	2,70
benzine	0,72
ebbehout	1,3
eikehout	0,8
glycerol	1,26
ijzer	7,87
ijs	0,917
koper	8,96
kurk	0,20
kwik	13,5
lood	11,35
lucht	0,0013
messing	8,5
nikkel	8,9
paraffine	0,85
perspex	1,2
slolie	0,92
spiritus	0,85
tetra	1,59
vurehout	0,60
water	1,00
zeewater	1,02
zilver	10,50
zink	7,13
zout water (sterk)	1,1

In figuur 36 zie je een overzicht van de situaties die voor kunnen komen bij drijven, zinken en zweven.

### Voorbeeld

Een blokje eikehout (dichtheid  $0,8 \text{ g/cm}^3$ ) met een volume van  $25 \text{ cm}^3$  wordt helemaal ondergedompeld in water (dichtheid  $1,00 \text{ g/cm}^3$ ).

- Bereken de zwaartekracht op het blokje.
- Bereken de opwaartse kracht.
- Wat gebeurt er als we het blokje loslaten? Verklaar je antwoord.



Oplossing:

a  $m = \rho \cdot V = 0,80 \cdot 25 = 20 \text{ g.}$

$F_z = m \cdot g = 0,020 \cdot 10 = 0,20 \text{ N.}$

b  $m_{\text{water}} = \rho \cdot V = 1,00 \cdot 25 = 25 \text{ g.}$

Het gewicht van het verplaatste water is gelijk aan de opwaartse kracht.

$F_{opw} = m \cdot g = 0,025 \cdot 10 = 0,25 \text{ N.}$

c Omdat de opwaartse kracht groter is dan de zwaartekracht gaat het blokje stijgen. (Zie ook het overzicht in figuur 36.) Doordat het blokje stijgt, komt het op een gegeven moment boven de vloeistofspiegel uit. Het blokje stijgt totdat de opwaartse kracht en de zwaartekracht op het blokje even groot zijn. Het blokje drijft dan (zie ook figuur 36). Het volume dat onder de vloeistofspiegel zit, is dan kleiner dan  $25 \text{ cm}^3$ .

In de nieuwe situatie geldt:  $F_z = F_{opw}$ . In deze situatie is de opwaartse kracht dus  $0,20 \text{ N}$ . Het gewicht van de verplaatste vloeistof is dus  $0,20 \text{ N}$ . De massa van de verplaatste vloeistof is dan  $20 \text{ g}$ , want  $20 \text{ g}$  weegt  $0,20 \text{ N}$ .

Je kunt nu ook het volume van de verplaatste vloeistof uitrekenen.

$$V = \frac{m}{\rho} \Rightarrow V = \frac{20}{1,00} = 20 \text{ cm}^3. \text{ Boven de vloeistof zit dan } 25 - 20 = 5 \text{ cm}^3 \text{ hout.}$$

We komen de opwaartse kracht in allerlei situaties tegen, zoals bij drijvende schepen, surfplanken en vloten, maar ook bij heteluchtballonnen, zeppelins en weerballonnen.

Enkele toepassingen van de opwaartse kracht in apparaten die we dagelijks tegenkomen, zijn: de vlotter in een carburateur en de vlotter in de stortbak van de w.c.

In de stortbak van het toilet zorgt de opwaartse kracht op de vlotter voor het afsluiten van de watertoevoer. Hoe hoger de vloeistofspiegel in de bak komt, des te groter wordt de opwaartse kracht, want de vlotter komt steeds dieper in het water. Op een gegeven moment is de opwaartse kracht zo groot geworden, dat de hefboom de door de vlotter bediende kraan afgesloten kan houden, zodat er geen water meer in de stortbak stroomt.

Bij de carburateur werken dezelfde krachten: de opwaartse kracht en de zwaartekracht op de vlotter. Als de vlotter de benzine-inlaat afsluit, zijn de krachten met elkaar in evenwicht.

Er geldt dan:  $F_{z,\text{vlotter}} = F_{opw}$ .

fig. 37

De stortbak van de w.c.

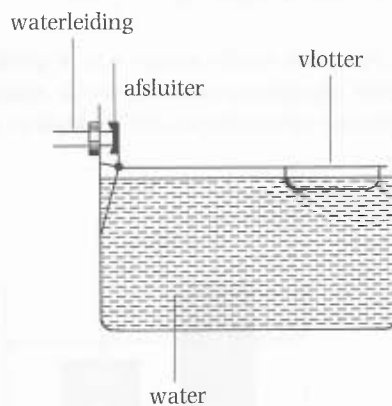
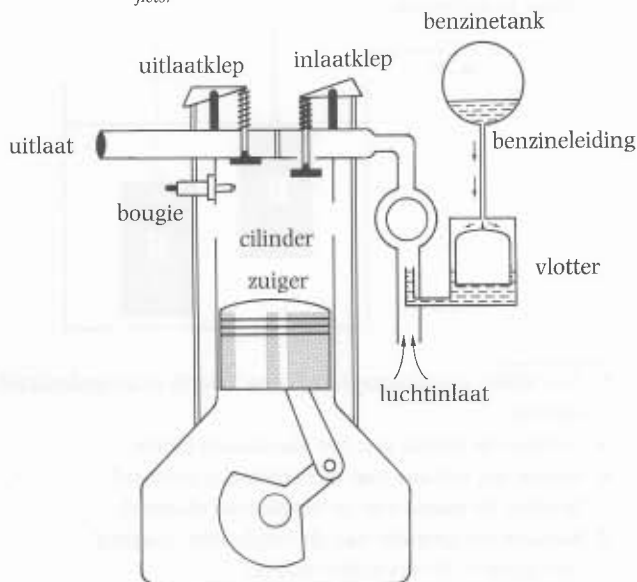


fig. 38

De carburateur van een bromfiets.



1 Een blokje koper heeft een dichtheid van  $9,0 \text{ g/cm}^3$ . Het blokje heeft een volume van  $25 \text{ cm}^3$ . Bereken de massa van het blokje.

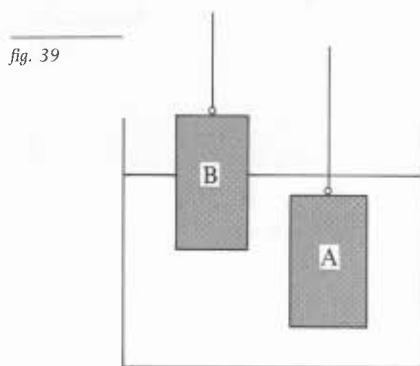
2 Leg met behulp van de tabel van figuur 35 uit of massieve voorwerpen, gemaakt van de volgende stoffen, zullen drijven, zinken of zweven in de vloeistof waarin ze worden gedompeld.

- Perspex in water.
- Eikenhout in spiritus.
- Paraffine in slaolie.

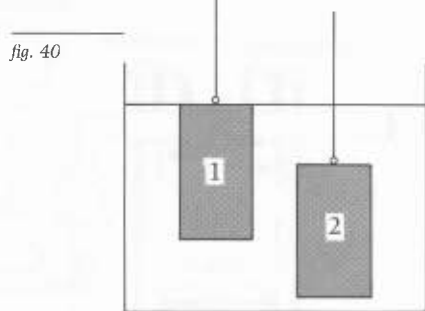
3a Bereken de zwaartekracht op een voorwerp met een massa van  $5000 \text{ kg}$ .

b Bereken de zwaartekracht op een voorwerp met een volume van  $50 \text{ cm}^3$  en een dichtheid van  $1,5 \text{ g/cm}^3$ .

4 In figuur 39 zie je twee gelijke blokjes A en B getekend, die in dezelfde vloeistof zijn gedompeld. Welk van de blokjes ondervindt de grootste opwaartse kracht? Verklaar je antwoord.



5 In figuur 40 zie je twee gelijke blokjes 1 en 2 getekend. Welk van de blokjes ondervindt de grootste opwaartse kracht? Verklaar je antwoord.



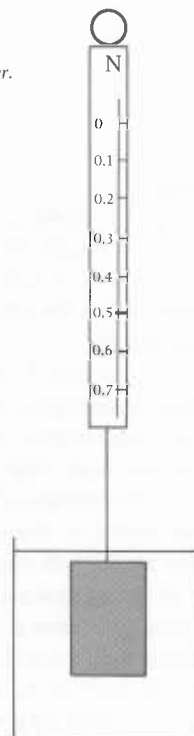
6 Een blokje aluminium van  $10 \text{ cm}^3$  wordt ondergedompeld in spiritus.

- Bereken de massa van het aluminium blokje.
- Bepaal het volume van de verplaatste vloeistof.
- Bereken de massa van de verplaatste vloeistof.
- Bereken het gewicht van de verplaatste vloeistof.
- Hoe groot is de opwaartse kracht?
- Wat gebeurt er met het blokje als we het loslaten?

7 Hoe verandert de diepgang van een schip, dat van zoet naar zout water vaart? Licht je antwoord toe.

8 Een voorwerp weegt in lucht  $1,5 \text{ N}$ . Als dat voorwerp onder water aan een krachtmeter hangt, wijst de meter  $0,5 \text{ N}$  aan (figuur 41).

fig. 41  
Een in water gedompeld voorwerp hangt aan een krachtmeter.



- Bereken de opwaartse kracht.
- Bereken de massa van het verplaatste water.
- Bereken de massa van het voorwerp.
- Bereken de dichtheid van het voorwerp.

9 Een blokje messing met een volume van  $5 \text{ cm}^3$  hangt aan een krachtmeter en is ondergedompeld in glycerol.

- Welke krachten werken er op het blokje messing?
- Hoe groot is het volume van de verplaatste vloeistof?
- Bereken de massa van de verplaatste vloeistof.
- Bereken het gewicht van de verplaatste vloeistof en de opwaartse kracht.
- Bereken de zwaartekracht op het blokje messing.
- Wat wijst de krachtmeter aan?

10 Een blokje ijzer heeft een volume van  $50 \text{ cm}^3$  en wordt ondergedompeld in benzine.

Bereken de opwaartse kracht die het blokje ondervindt.

11 Een ijsberg heeft een volume van  $1,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en drijft in zeewater met een dichtheid van  $1,05 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  (figuur 42).

- Bereken de zwaartekracht op de ijsberg.
- Bereken de opwaartse kracht.
- Bereken het volume van het verplaatste zeewater.
- Bereken hoeveel  $\text{m}^3$  van de ijsberg boven water uitsteekt.

fig. 42  
Een ijsberg.



- 12 Onder een heteluchtballon hangt een mand. De massa van de lege ballon en de mand is 250 kg. De lucht in de ballon wordt verwarmd tot  $100^\circ\text{C}$ . De dichtheid van lucht bij  $100^\circ\text{C}$  is  $0,9458\text{ kg/m}^3$ . Het volume van de ballon is  $1000\text{ m}^3$  en de temperatuur van de buitenlucht is  $30^\circ\text{C}$ . De dichtheid van lucht van  $30^\circ\text{C}$  is  $1,2045\text{ kg/m}^3$ .
- Bereken de opwaartse kracht op de ballon.
  - Bereken de zwaartekracht op de mand en de lege ballon, én de zwaartekracht op de hete lucht in de ballon.
  - Zal de ballon in deze situatie stijgen, zweven of dalen? Licht je antwoord toe.

- 13 In een duikboot zitten tanks. Daarin wordt water gepompt om de boot te laten duiken. Geef van de volgende grootheden aan of ze tijdens het duiken naar 20 m diepte wel of niet veranderen, en hoe ze eventueel veranderen.
- De massa van de duikboot.
  - Het volume van de duikboot.
  - Het gewicht van de duikboot.
  - De massa van het verplaatste zeewater.
  - De opwaartse kracht.

- 14 De Hindenburg (figuur 43) was een beroemde zeppelin, die in 1936 verongelukte tijdens een storm. Daarvoor was dit luchtschip al 36 keer de oceaan overgestoken. De massa van de Hindenburg (zonder waterstof) bedroeg 230 ton (1 ton = 1000 kg). Hij werd gevuld met  $198\,000\text{ m}^3$  waterstofgas en had 10 ton water aan boord als ballast. Verwaarloos het volume van de gondels en de dikte van het omhulsel.
- Bereken het gewicht van de verplaatste lucht bij  $20^\circ\text{C}$ . Gebruik de tabel met dichtheden op pagina 112.
  - Bepaal de opwaartse kracht bij een luchttemperatuur van  $20^\circ\text{C}$ .
  - Bepaal de zwaartekracht op het waterstofgas in de (zwevende) zeppelin. (Denk ook aan de ballast.)
  - Bereken uit deze gegevens de dichtheid van waterstof.

- 15 Twee onderzeeërs zijn volkomen gelijk van bouw. Ze zijn verschillend beladen, waardoor hun massa's niet even groot zijn. Onderzeeër A is zwaarder dan B. Beide boten drijven op water.
- Vergelijk de opwaartse kracht op beide boten. Ga na welke van de onderstaande beweringen juist is.
- Boot A ondervindt de grootste opwaartse kracht.
  - Boot B ondervindt de grootste opwaartse kracht.
  - De boten ondervinden een even grote opwaartse kracht.
  - De boten ondervinden geen opwaartse kracht omdat ze niet geheel onder water zitten.

- 16 Een hengelaar gebruikt een kurk uit een grote fles als dobber; de dobber is cilindervormig. De platte boven- en onderkant hebben elk een oppervlakte van  $4\text{ cm}^2$ . De visser heeft beet en ziet de dobber 3 cm dalen. Bereken de kracht die de vis op het haakje onder de dobber uitoefent.

fig. 43  
De Hindenburg.





Je hebt in dit blok een aantal nieuwe begrippen geleerd die te maken hebben met het begrip kracht. In deze herhaalstof worden deze begrippen nog een keer toegelicht.

### Kracht en richting

Een grootheid is een eigenschap die je kunt meten. Meten wil zeggen: vergelijken met de standardeenheid. Je gebruikt daarvoor een meetinstrument. Tijd is bijvoorbeeld een grootheid die je kunt meten met een stopwatch. Je drukt tijd uit in de eenheid seconde.

1 Wat is in het onderstaande rijtje geen grootheid en waarom niet?

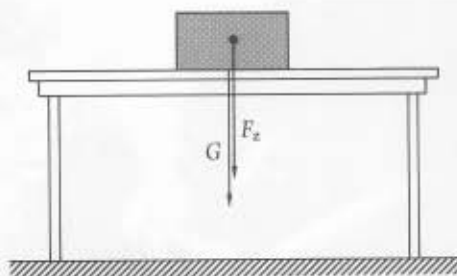
Massa, volume, geur, lengte, leeftijd, snelheid, kracht, dichtheid, smaak.

Je weet dat de aarde op voorwerpen een aantrekkingskracht uitoefent. Voorwerpen die in rust zijn, krijgen daardoor gewicht.

In figuur 44 oefent de aarde een kracht  $F_z$  uit op het voorwerp dat op de tafel ligt. De kracht  $G$  die het voorwerp daardoor uitoefent op de tafel noemen we het gewicht van het voorwerp.

Om het gewicht  $G$  (in newton) te berekenen, moet je de massa van het voorwerp (in kg) met 10 vermenigvuldigen.  $G = m \cdot g$ , waarbij  $g$  de valversnelling is.  $g = 10 \text{ m/s}^2$  (afgerond).

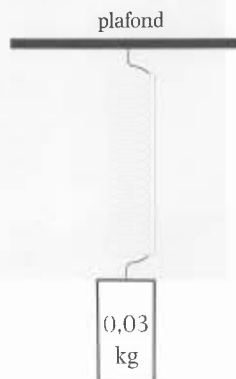
fig. 44



2 Een blokje hangt aan een veer (figuur 45). Bereken het gewicht van het blokje.

fig. 45

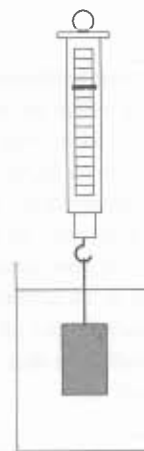
Een blokje hangt aan een veer.



3 Een blokje hangt aan een krachtmeter (figuur 46). De meter wijst 12 N aan. Bereken de massa van het blokje.

fig. 46

Een blokje hangt aan een krachtmeter.



Als je fietst, maakt het veel verschil uit of je wind mee hebt of wind tegen. De kracht die de wind uitoefent is belangrijk, maar ook de richting waarin die kracht wordt uitgeoefend is heel belangrijk.

Grootheden die én een grootte én een richting hebben, noemen we vectoren.

4 Welke grootheid in het onderstaande rijtje is geen vector en waarom niet?

Leeftijd, massa, kracht, snelheid, versnelling, lengte, dichtheid.



## Een kracht voorstellen door een vector

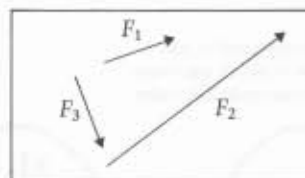
Als symbool voor kracht gebruiken we  $F$ . In een tekening stellen we een kracht voor door een pijl. De pijlpunt wijst in de richting waarin de kracht werkt, en de lengte van de pijl geeft aan hoe groot de kracht is.  
Hoe langer de pijl is, des te groter is de kracht. We geven dat aan met een krachtschaal. Bijvoorbeeld: 1 cm in de tekening komt overeen met 10 N, ofwel:  $1 \text{ cm} \cong 10 \text{ N}$ .

5 In figuur 47 geldt:  $1 \text{ cm} \cong 2 \text{ N}$ .

a Hoe groot zijn  $F_1$ ,  $F_2$  en  $F_3$ ?

b Is  $F_1$  gelijk aan  $F_3$ ? Licht je antwoord toe.

fig. 47

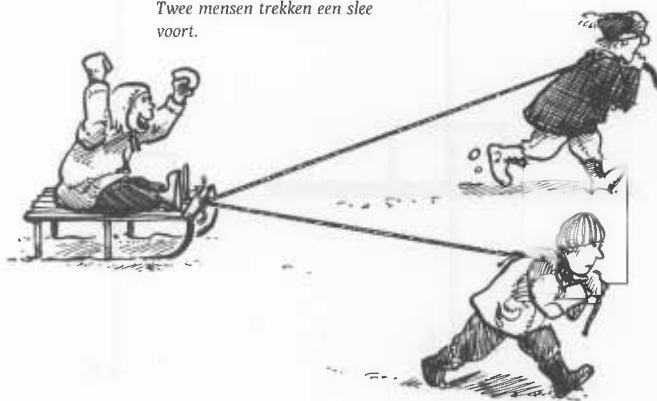


## Aangrijpingspunt en massamiddelpunt (zwaartepunt)

Wanneer je de deur van de koelkast dicht wilt duwen, moet je een kracht op de deur uitoefenen. Je pakt meestal het handvat vast. Je oefent de kracht uit en de deur gaat dicht. Het handvat noemen we dan het aangrijpingspunt van de kracht. Ook voor andere krachten geldt: het punt waar de kracht aangrijpt, heet het aangrijpingspunt van de kracht.

6 Twee mensen trekken samen aan een touw een slee voort (figuur 48). Neem de tekening schematisch over en geef aan waar het aangrijpingspunt ligt van de krachten, die de touwen op de slee uitoefenen.

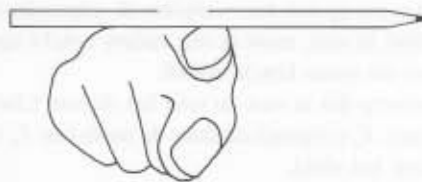
fig. 48  
Twee mensen trekken een slee voort.



Een kracht die we allemaal aan den lijve ondervinden is de zwaartekracht ( $F_z$ ). Je hebt allemaal wel eens een voorwerp op je vinger laten balanceren (figuur 49). De spierkracht van je vinger zorgt ervoor dat het potlood blijft liggen. Je spierkracht heft de zwaartekracht op.

fig. 49

Een potlood dat op je vinger balanceert.



7a Neem figuur 49 schematisch over en zet een S bij het aangrijpingspunt van de spierkracht.

b Teken de spierkracht in de tekening. Neem daarvoor een pijl van 3 cm lengte.

c Teken nu met een andere kleur de zwaartekracht in de tekening.

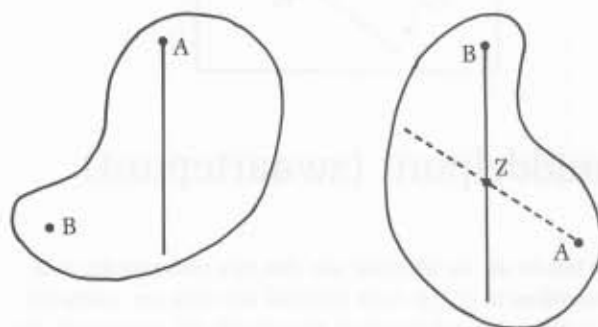
Zet er  $F_z$  bij.

Leg uit waarom je de zwaartekracht zo tekent.

De zwaartekracht grijpt aan in het zwaartepunt of massamiddelpunt van een voorwerp.

Je kunt de plaats van het zwaartepunt ongeveer vinden door het voorwerp te laten balanceren op je vinger. Nauwkeuriger kan dit door het voorwerp in twee verschillende punten op te hangen aan een touwtje; je tekent – als het voorwerp in rust hangt – beide keren een verticale lijn door het ophangpunt. Het snijpunt van de twee verticale lijnen geeft de ligging van het zwaartepunt Z (figuur 50).

fig. 50  
Een voorwerp wordt in punt A en daarna in punt B opgehangen om het zwaartepunt Z te vinden.

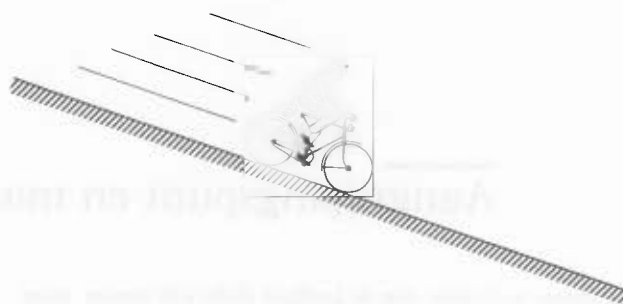


8 Bepaal de ligging van het zwaartepunt van je geodriehoek, je boek, een ringetje of van een ander voorwerp door het op je vinger te laten balanceren.

9 In figuur 51 rijdt een fietser een helling af. Punt Z is het zwaartepunt van de fietser en de fiets. De gezamenlijke massa van fietser en fiets is 75 kg.

Teken de zwaartekracht met de krachtschaal:  $1 \text{ cm} \cong 250 \text{ N}$ .

fig. 51  
Een fietser rijdt een helling af.



## De normaalkracht en de spankracht als reactiekrachten

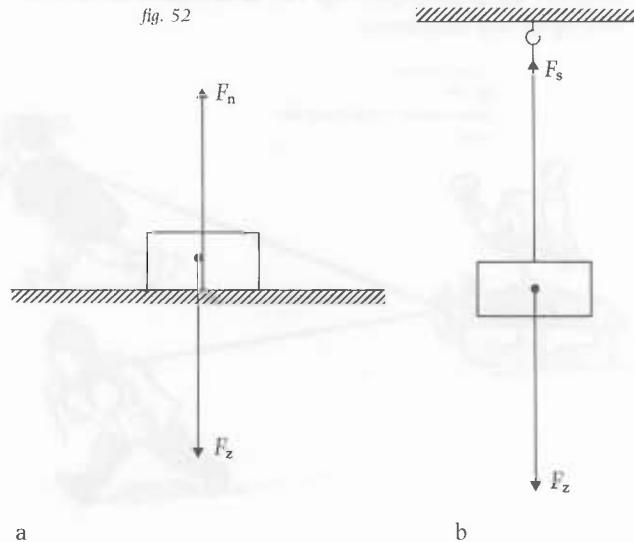
Als er een kracht op een voorwerp wordt uitgeoefend en het voorwerp blijft in rust, moet er een andere kracht zijn die de werking van die eerste kracht opheft.

Op een voorwerp dat in rust op tafel ligt (figuur 52a), werken twee krachten:  $F_z$  (uitgeoefend door de aarde) en  $F_n$  (uitgeoefend door het vlak).

De reactiekracht  $F_n$ , die het gevolg is van de kracht die het voorwerp op de tafel uitoefent, staat altijd loodrecht op de ondergrond, óók als dit vlak niet horizontaal is. We noemen deze reactiekracht daarom de *normaalkracht* ( $F_n$ ) van het vlak (*normaal* betekent *loodlijn*).

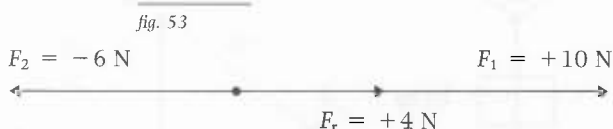
Als het voorwerp aan een koord hangt, oefent dat voorwerp een kracht op het koord uit. Deze kracht veroorzaakt een reactiekracht  $F_s$  (spankracht) in het touw. Je kunt zeggen dat  $F_z$  en  $F_s$  elkaar opheffen, want ze werken alle twee op het voorwerp, en zijn tegengesteld en even groot (figuur 52b). Het voorwerp hangt dus stil.

fig. 52



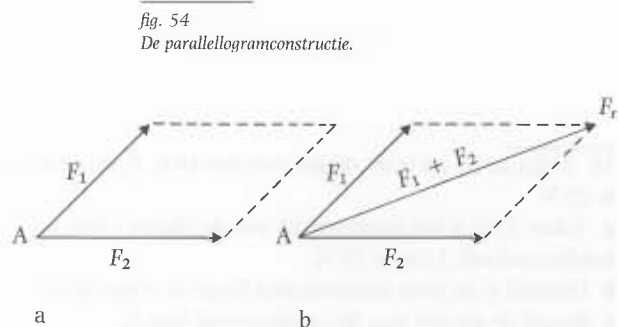
# Optellen van krachten

Als je een stuk klei met een massa van 10 kg samenknede met een stuk klei met een massa van 6 kg, krijg je een stuk klei met een massa van 16 kg. Maar als je een kracht van 10 N optelt bij een kracht van 6 N, krijg je meestal géén kracht van 16 N. Kijk maar eens naar de situatie in figuur 53.



Omdat beide krachten dezelfde werklijn hebben, geldt:  
 $F_1 = +10 \text{ N}$  (want naar rechts gericht);  $F_2 = -6 \text{ N}$  (want naar links gericht). De resultante van  $F_1$  en  $F_2$  is  $+4 \text{ N}$ .

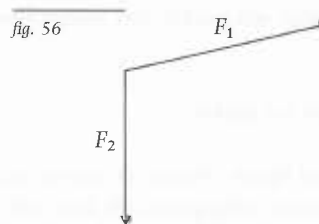
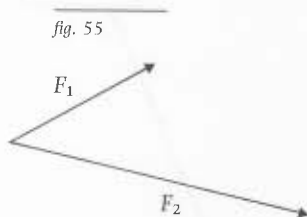
Om krachten (maar ook andere vectoren zoals snelheid en versnelling) op te tellen als hun werklijnen *niet* samenvallen, gebruik je de parallellogramconstructie. In figuur 54 grijpen  $F_1$  en  $F_2$  aan in punt A.  $F_1 = 3 \text{ N}$  en  $F_2 = 4 \text{ N}$ .



Om de resultante  $F_1 + F_2$  te vinden, teken je een parallellogram met  $F_1$  en  $F_2$  als zijden (figuur 54a). Teken de diagonaal vanuit A en je hebt de vectorsom  $F_1 + F_2$  gevonden. Let op de pijlpunt (figuur 54b)!

De som van  $F_1$  en  $F_2$  noemen we de resultante ( $F_r$ ).

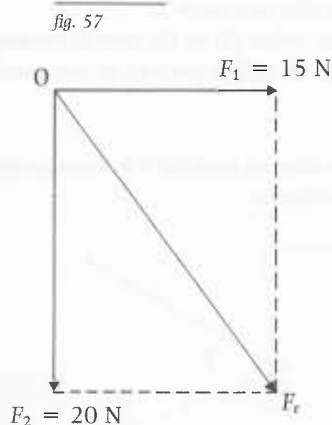
10 Neem figuur 55 over en teken  $F_1 + F_2$ , de resultante  $F_r$ .



11 In figuur 56 geldt:  $1 \text{ cm} \cong 10 \text{ N}$ .

- Neem de figuur over en teken de resultante van  $F_1$  en  $F_2$ .
- Bepaal de grootte van  $F_r$ .

Als de hoek tussen twee krachten  $90^\circ$  is, kun je de resultante met behulp van de stelling van Pythagoras uitrekenen. De resultante vormt de schuine zijde van een rechthoekige driehoek (figuur 57).  $F_1$  en  $F_2$  vormen de rechthoekszijden.



De berekening van de resultante gaat als volgt:

$$F_r^2 = F_1^2 + F_2^2 = 225 + 400 = 625 \Rightarrow F_r = 25 \text{ N}.$$

# Ontbinden van krachten

Aan een touw hangt een pakket. Het pakket heeft een massa van 10 kg.

12 Hoeveel weegt het pakket?

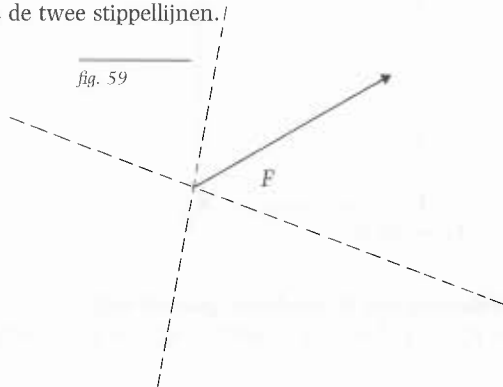
In de tekening van figuur 58a zijn de grootte en de richting van de zwaartekracht aangegeven. De doos valt niet naar beneden, omdat hij aan de touwen hangt. De zwaartekracht wordt dus gecompenseerd door een even grote kracht omhoog. Deze kracht is in de tekening met  $F_{\text{touw}}$  aangegeven.  $F_{\text{touw}}$  is de som van de twee spankrachten in het linker- en het rechtertouw. Om die krachten te tekenen, moet je  $F_{\text{touw}}$  dus ontbinden in twee componenten langs de touwen. Je gebruikt de parallellogramconstructie nu omgekeerd. Je weet immers de diagonaal ( $F_{\text{touw}}$ ) en je moet de zijden construeren (figuur 58b).

Trek zijde (1) evenwijdig aan touw 1.

Trek zijde (2) evenwijdig aan touw 2.

De snijpunten van de zijden (1) en (2) met de touwen geven de plaatsen aan waar de pijlpunten van de componenten komen.

12 Neem figuur 59 over en ontbind  $F$  in twee componenten langs de twee stippellijnen.



13a Neem figuur 60 over en ontbind  $F$  in twee componenten langs de twee stippellijnen. Teken nu langs de stippellijnen twee componenten die kracht  $F$  opheffen. (Teken eerst de tegenwerkende kracht van  $F$ .)

b Bepaal de grootte van die componenten. (1 cm  $\cong$  10 N.)

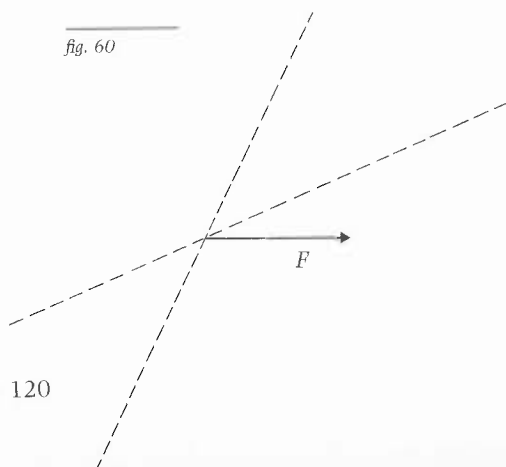
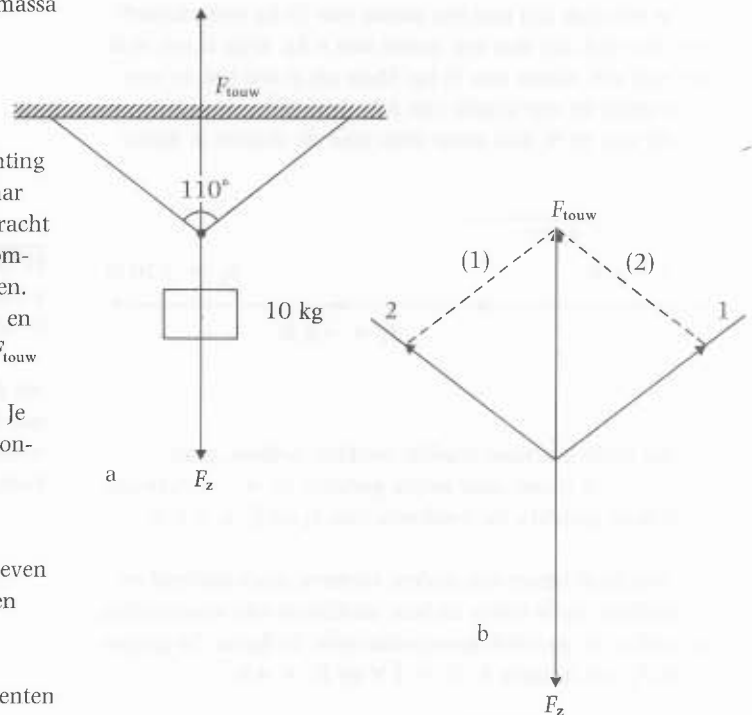


fig. 58

Een doos aan twee touwen.



14 In figuur 61 zie je de slinger van een klok.  $F_z$  op de slinger is 20 N.

a Teken  $F_z$  (Z is het zwaartepunt van de slinger.) Kies als krachterschaal: 1 cm  $\cong$  10 N.

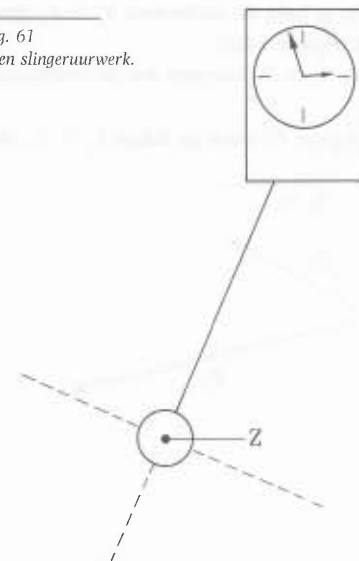
b Ontbind  $F_z$  in twee componenten langs de stippellijnen.

c Bepaal de grootte van de componenten van  $F_z$ .

d Welke component zorgt ervoor dat de slinger teruggaat naar de laagste stand?

fig. 61

Een slingeruurwerk.



In T3 heb je gezien dat de opwaartse kracht afhangt van het volume van de verplaatste vloeistof en van de soort vloeistof die je gebruikt. De opwaartse kracht hangt *niet* af van de soort stof van het voorwerp en ook niet van de diepte van het voorwerp onder de vloeistofspiegel.

Als een voorwerp drijft of zweeft, is er een evenwichtssituatie waarin de krachten die op het voorwerp werken elkaar opheffen.

Als je de grootte van de opwaartse kracht wilt bepalen, moet je de wet van Archimedes gebruiken. Deze wet zegt dat de opwaartse kracht even groot is als het gewicht van de verplaatste vloeistof.

Je moet het volume en de dichtheid van de verplaatste vloeistof weten. Met deze grootheden kun je de massa en vervolgens het gewicht van de verplaatste vloeistof berekenen.

Je maakt daarbij gebruik van de volgende regels.

$$m = \rho \cdot V \text{ (van de verplaatste vloeistof);}$$

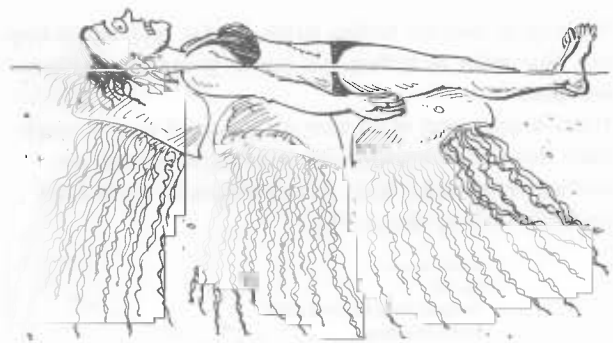
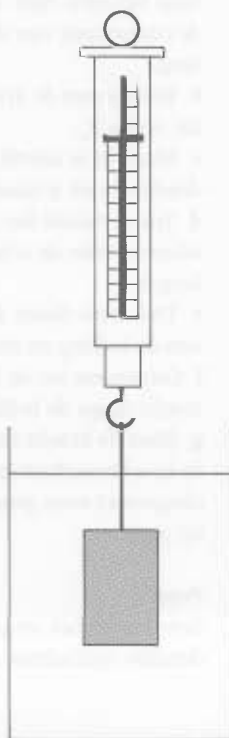
$$F_z = m \cdot g \text{ of } F_z = m \cdot 10.$$

In de volgende opgaven moet je deze regels en de wet van Archimedes toepassen. Gebruik zonodig de tabel met dichtheden op pagina 112.

1 Een blokje met een volume van  $8 \text{ cm}^3$  hangt aan een krachtmeter en is in water ondergedompeld (figuur 62). De krachtmeter wijst dan  $0,56 \text{ N}$  aan.

- Hoeveel  $\text{cm}^3$  water is er verplaatst?
- Hoe groot is de dichtheid van water?
- Bereken de massa van het verplaatste water.
- Bereken het gewicht van het verplaatste water.
- Hoe groot is de opwaartse kracht?
- Wat wijst de krachtmeter aan als we het blokje uit het water halen?

fig. 62  
Een ondergedompeld blokje hangt aan een krachtmeter.



Bij vraag 1 is stapje voor stapje aangegeven wat je uit moet rekenen. Bij de volgende vragen moet je de tussenstappen zelf maken. In principe kun je steeds op deze manier de opwaartse kracht of de uitslag van de krachtmeter uitrekenen.

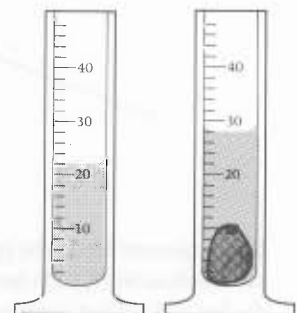
2 Een blokje van  $12 \text{ cm}^3$  wordt aan een krachtmeter gehangen en in slaolie ondergedompeld. De krachtmeter wijst dan  $0,92 \text{ N}$  aan.

Bepaal de opwaartse kracht en het gewicht van het blokje in lucht.

3 Een blokje van  $10 \text{ cm}^3$  laten we achtereenvolgens zakken in vier vloeistoffen. Bereken in elke situatie de opwaartse kracht.

- Water.
- Spiritus.
- Glycerol.
- Tetra.

fig. 63



4 Op een maatcilinder staat een schaalverdeling in  $\text{ml (cm}^3\text{)}$ . Iemand vult de maatcilinder met water (figuur 63). Daarna laat hij een steentje in de maatcilinder glijden.

- Lees in beide situaties de stand van het waterniveau af.
- Bepaal hieruit het volume van het steentje.
- Bereken volume en massa van het verplaatste water.
- Bereken de opwaartse kracht.

5 Hetzelfde steentje als in opgave 4 wordt nu in een maatcilinder gedompeld, die gevuld is met  $16 \text{ cm}^3$  spiritus.

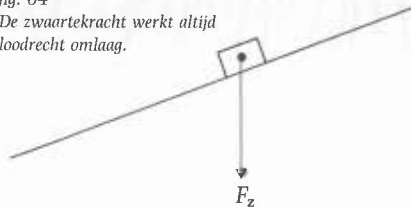
- Tot welke aanduiding stijgt het vloeistofpeil?
- Bereken de massa van de verplaatste spiritus.
- Bereken de opwaartse kracht.

Als je op de fiets een helling afrijdt, hoef je vaak niet te trappen. Hoe steiler de helling, hoe harder je vanzelf naar beneden gaat.

Welke kracht zorgt er nu voor dat je vanzelf naar beneden rijdt? Het is te verwachten dat de zwaartekracht de versnelling veroorzaakt. Maar de zwaartekracht werkt altijd loodrecht omlaag (figuur 64).

fig. 64

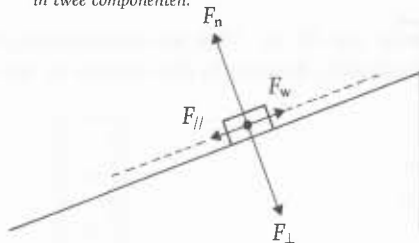
De zwaartekracht werkt altijd loodrecht omlaag.



Blijkbaar kan de zwaartekracht worden ontbonden in twee componenten (figuur 65). De ene component zorgt ervoor dat het voorwerp loodrecht op het vlak wordt gedrukt ( $F_{\perp}$ ) en de andere component zorgt voor de beweging langs het vlak ( $F_{\parallel}$ ).

fig. 65

De zwaartekracht is ontbonden in twee componenten.



De component loodrecht op de helling is in evenwicht met de normaalkracht ( $F_n$ ). De normaalkracht is immers de kracht die het vlak op het voorwerp uitoefent.

De kracht langs de helling kan soms worden opgeheven, bijvoorbeeld door de wrijving ( $F_w$ ). Wrijvingskracht werkt altijd tegengesteld aan de richting waarin een voorwerp beweegt (of wil gaan bewegen). Als je op een helling staat, zul je niet direct naar beneden glijden. De wrijving tussen het wegdek en je schoenzolen zorgt voor de tegengestelde kracht. Is de helling erg steil en ligt er zand op het wegdek, dan is er een grote kans dat de kracht omlaag, langs de helling, groter is dan de wrijvingskracht. Het resultaat kun je je wel voorstellen.

De kracht langs de helling omlaag kunnen we meten, als we een voorwerp hebben dat vrijwel zonder wrijving langs de helling kan bewegen (figuur 66). De kracht langs de helling kunnen we ook bepalen met behulp van een schematische

voorstelling waarin we de krachten tekenen. In de proeven 1 en 2 vergelijk je de kracht die je meet met de kracht die je via de tekening vindt.

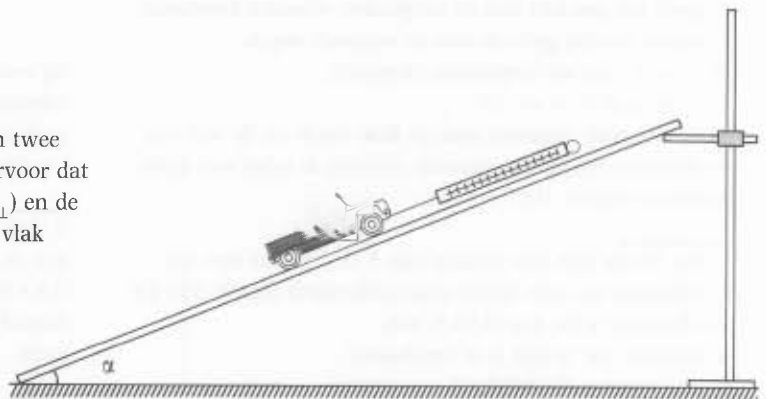
### Proef 1

Neem een plank van ongeveer 50 cm lang en zorg ervoor dat de plank een hoek  $\alpha$  maakt met de tafel. Gebruik hiervoor een klem en een statief (figuur 66).

Meet met een geodriehoek de hoek  $\alpha$  die de plank maakt met de tafel en noteer deze in je schrift.

fig. 66

Het meten van de kracht langs een helling.



Als je een wagentje op de plank zet, rijdt dit vanzelf naar beneden.

a Bevestig een krachtmeter aan het wagentje en meet de kracht die nodig is om ervoor te zorgen dat het wagentje niet naar beneden rijdt. (Deze kracht is de tegengestelde kracht van de component van de zwaartekracht langs de helling omlaag.)

b Bepaal met de krachtmeter het gewicht van het wagentje. Dit is dus  $F_z$ .

c Maak in je schrift een tekening van de opstelling, met dezelfde hoek  $\alpha$  tussen plank en tafel.

d Teken vanuit het zwaartepunt van het wagentje de zwaartekracht; kies de schaal zodanig dat de krachtvector 3 à 4 cm lang is.

e Trek twee lijnen door het zwaartepunt; de ene evenwijdig aan de helling en de andere loodrecht op de helling.

f Construeer nu de kracht loodrecht op de helling en de kracht langs de helling.

g Meet de kracht langs de helling en bereken met behulp van de krachtschaal hoe groot die kracht is. Deze kracht moet (ongeveer) even groot zijn als de kracht die je gemeten hebt bij punt a.

### Proef 2

Bevestig op het wagentje een massa van 100 g. Voer nu dezelfde opdrachten uit als bij proef 1. Daarbij heb je dus met

een andere waarde van de zwaartekracht te maken. Ga na of de gemeten kracht weer (ongeveer) gelijk is aan de kracht die je met de tekening vindt.

Het karretje dat we hebben gebruikt bij proef 1 en 2 onder- vond heel weinig weerstand. Als we in plaats van een kar- retje een blok hout nemen, is de wrijving veel groter. In de volgende proef bepaal je de maximale wrijving van een blok hout op de helling.

### Proef 3

**a** Plaats een blok hout op de plank. Maak de hoek die de plank maakt met de tafel steeds groter. Op een gegeven mo- ment gaat het blok hout schuiven. Op dat moment is de kracht langs de helling even groot als de maximale wrijvings- kracht.

**b** Meet in die situatie de hoek tussen de plank en de tafel en maak in je schrift een tekening (met dezelfde hoek) van de opstelling.

**c** Bepaal het gewicht van het blok hout.

**d** Teken de zwaartekracht op schaal in de figuur en con- strueer de kracht langs de helling en de kracht loodrecht op de helling.

**e** Teken ook de wrijvingskracht en bepaal de grootte van die kracht met behulp van de schaal die je hebt gekozen.

**f** Bepaal met een krachtmeter de maximale wrijvingskracht van het blok hout als de plank horizontaal ligt.

**g** Verklaar waarom de maximale wrijvingskracht van het blok hout op de helling (antwoord vraag e) kleiner is dan de wrijving in de horizontale situatie (antwoord vraag f).

## Blok 20

### E2 Zelf een heteluchtballon maken

Een stukje geschiedenis ter inleiding:

Met behulp van luchtballonnen probeert men al vanaf het einde van de 18<sup>e</sup> eeuw het luchtruim te kiezen. De eerste ballonvlucht vond plaats op 21 november 1783 in Parijs. In de middeleeuwen hadden al veel geleerden zich gebogen over de vraag of de mens, net als een vogel, door de lucht zou kunnen bewegen.

Twee broers met de naam Montgolfier merkten dat verwarm- de lucht en rook opstegen in de omringende lucht. Zij experi- menteerden met papieren zakken uit hun eigen papierfabriek. Ze vulden die zakken met rook en warme lucht. De zakken werden steeds groter gemaakt en er werden steeds hogere eisen gesteld aan het papier.

Het eerste grote experiment werd gedaan met een ballon die een diameter had van 11 meter. Deze ballon koos het lucht- ruim en kwam na een minuut of 10 weer op de grond te- recht. De ballon had een hoogte van ongeveer 300 meter bereikt. Enkele maanden later hingen de broers een mand onder de ballon. De ballon maakte met drie inzittenden – een schaap, een eend en een haan – een vlucht van 8 minuten. Het wachten was nu op de eerste door mensen bemande ballonvlucht. Dit gebeurde op 21 november 1783 in Parijs. Twee vrijwilligers, Pilâtre de Rozier en markies d'Arlandes, kozen als eerste mensen het luchtruim in de door de broers Montgolfier gemaakte ballon. Ze bleven bijna een half uur in de lucht en ontdekten dat niet de rook maar de verwarmde lucht de oorzaak was van het stijgen van de ballon. Kort na deze vlucht vond de Franse natuurkundige Charles een ballon uit van zijde en rubber, die werd gevuld met waterstofgas. Hij steeg op in Parijs en kwam ruim 40 km verder, in de buurt van Amiens, weer op de grond.

Na deze tijd van experimenteren kregen de ballonnen een

functie tijdens oorlogen. De ballonnen werden gebruikt als uitkijkpost en halverwege de 19<sup>e</sup> eeuw werden er zelfs bom- men uit een ballon afgeworpen. In de Tweede Wereldoorlog werden ballonnen gebruikt om laagvliegende vliegtuigen te hinderen. Bekend zijn de ballonnen die de Möhnedam in het Duitse Ruhrgebied beschermden tegen aanvliegende bommen- werpers.

Het hoogterecord voor luchtballonnen staat sinds 1961 op naam van Ross en Prather. Zij bereikten een hoogte van 34 667 m boven de Golf van Mexico.





## Een heteluchtballon maken

Als je een heteluchtballon wilt maken, heb je twee mogelijkheden.

1 Het maken van een eenvoudige heteluchtballon die maar eenmalig gebruikt kan worden. Je kunt dit op school in één extrastofles gemakkelijk uitvoeren.

2 Het maken van een grote heteluchtballon die voor meermalig gebruik geschikt is. Het is een groot gevaarte met een volume van  $1,77 \text{ m}^3$  en een oppervlakte van  $7,1 \text{ m}^2$ ! De handleiding voor het vervaardigen van deze ballon kun je van je leraar krijgen. Het kost nogal wat tijd en moeite om zo'n ballon te maken, maar als je van knutselen houdt, is het een leuk werkje.

Hier wordt dus alleen methode 1 beschreven.

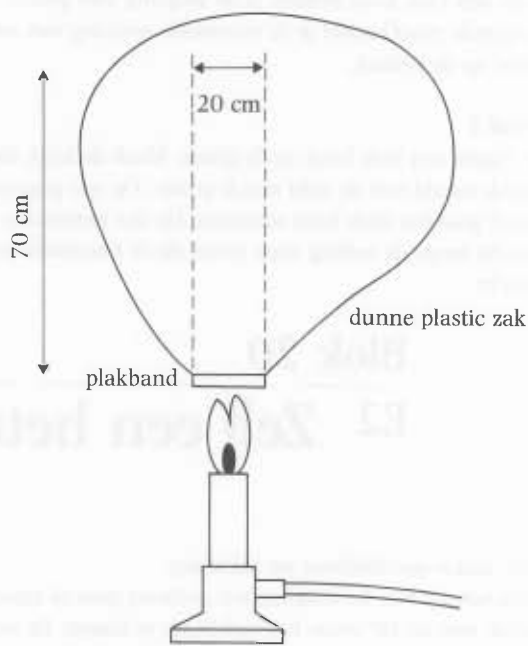
Als ballon gebruiken we een grote containerzak van dun plastic (dus géén grijze vuilniszak, want die is veel te zwaar). Je moet de opening van deze zak iets kleiner maken; maak plooien in de rand en plak die daarna met plakband vast.

Zorg dat de diameter van de opening ongeveer 20 cm wordt. Dat is het geval als de omtrek van de opening 63 cm is. Als je de geplooid rand plat vouwt, meet je dus de halve omtrek en die moet dus ongeveer 30 cm worden (figuur 67).

Het beplakken van de rand met plakband heeft tevens tot doel de opening van de ballon wat zwaarder te maken, zodat de ballon niet kantelt en leegloopt zodra hij de lucht in gaat. Als je dit gedaan hebt vraag je aan je leraar of hij de zak boven een gasbrander wil houden.

Deze ballon blijkt maar éénmalig bruikbaar, omdat het dunne plastic door de hete lucht gaat verschrompelen.

fig. 67  
Een zelfgemaakte heteluchtballon.



## Blok 20

### E3 Oefenen met examenopgaven

#### 1 Sleetje trekken (87-II D)

Vader en moeder gaan met hun kinderen sleetje rijden. Zij trekken ieder aan een touw dat met de slee is verbonden (figuur 68). Vader en moeder trekken allebei met een kracht van 45 N aan hun touw. In figuur 68 komt 1 cm overeen met 10 N.

a Neem de tekening over.

b Bepaal met de parallellogramconstructie de grootte van de resulterende trekkracht die op de slee werkt.

fig. 68  
Vader en moeder trekken de slee.

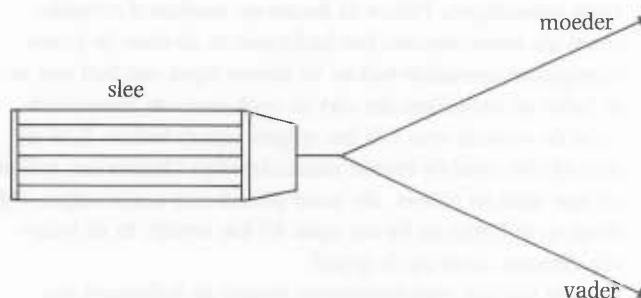
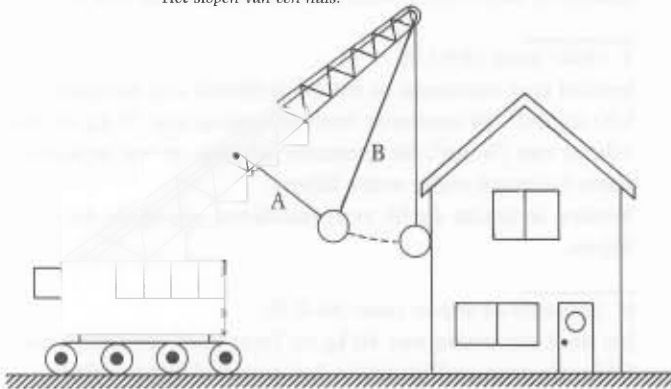
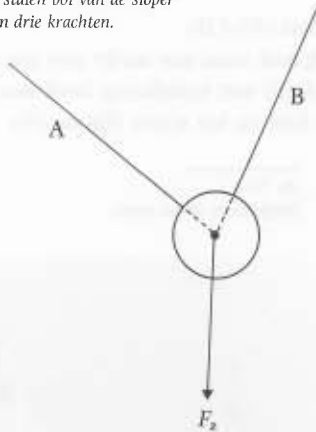


fig. 69  
Het slopen van een huis.



Na het ophijzen hangt de bol stil aan twee kabels A en B. De spankrachten in de kabels noemen we  $F_a$  en  $F_b$ . Op de bol werken nu drie krachten:  $F_a$ ,  $F_b$  en  $F_z$  (figuur 67).

fig. 70  
Op de stalen bol van de sloper werken drie krachten.



- Wat kun je zeggen over de grootte en de richting van de resultante van  $F_a$  en  $F_b$ ?
- Neem figuur 70 over en bepaal met de parallellogramconstructie de lengte van de vectoren  $F_a$  en  $F_b$ .
- Welke van de onderstaande beweringen is juist?
  - $F_a < F_b$ .
  - $F_b < F_z$ .

A Zowel 1 als 2.  
B Alleen 1.  
C Alleen 2.  
D Geen van beide.

### 3 Een schilderij (89-I D)

Een schilderij hangt scheef (figuur 71). Het gewicht van het schilderij is 20 N.  
In figuur 72 zijn de werklijnen van de beide spankrachten en de zwaartekracht getekend.  
Neem figuur 72 over en bepaal met de parallellogramconstructie de spankrachten in het linker- en het rechterkoord. Kies een geschikte krachtenschaal.

fig. 71  
Een scheefhangend schilderij.

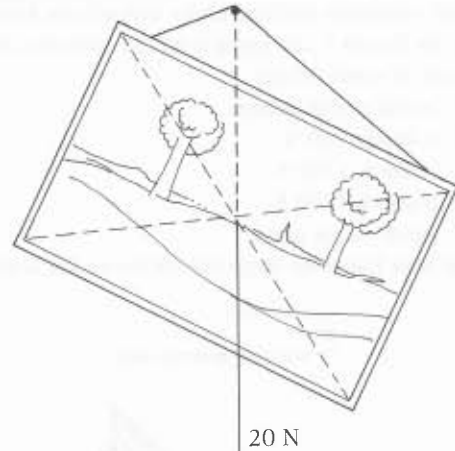
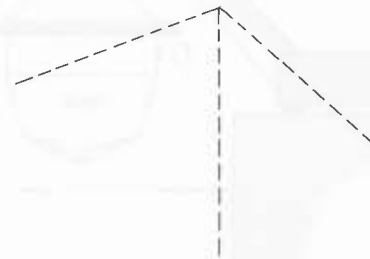


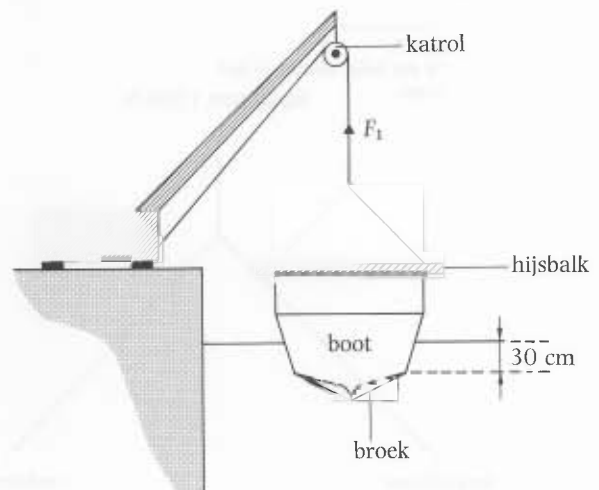
fig. 72  
De drie werklijnen waarlangs de krachten werken.



### 4 Het ophijzen van een boot (86-I D)

Bij het uit het water halen van boten wordt vaak gebruik gemaakt van een hijsinstallatie (figuur 73). De installatie bestaat uit een 'broek' die onder water om de boot wordt getrokken en met een hijskraan wordt opgehesen.

fig. 73  
Een boot wordt uit het water gehesen.



Het bootje in figuur 73 weegt 1200 N en ligt 30 cm diep in het water. De hijsbalk weegt 500 N. Het gewicht van de broek en de touwen mag je verwaarlozen. Het hijsen gaat met constante snelheid onder invloed van kracht  $F_1$ .

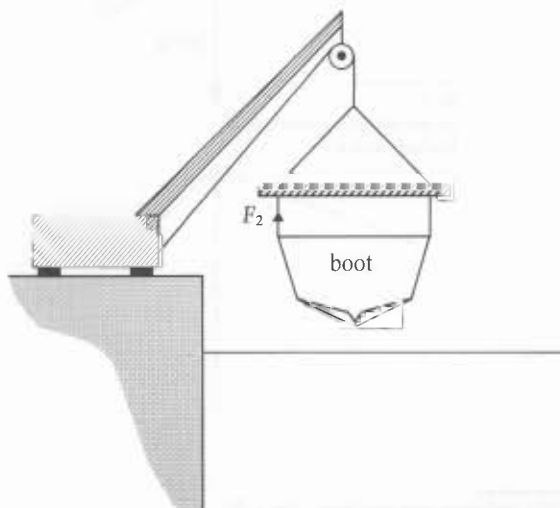
a De kracht  $F_1$  die nodig is bij het ophijzen van het bootje over de eerste 20 cm

- A wordt steeds kleiner.
- B is steeds 500 N.
- C is steeds 1200 N.
- D is steeds 1700 N.
- E wordt steeds groter.

De boot hangt na enige tijd stil boven het water (figuur 74).

fig. 74

De boot hangt boven het water.



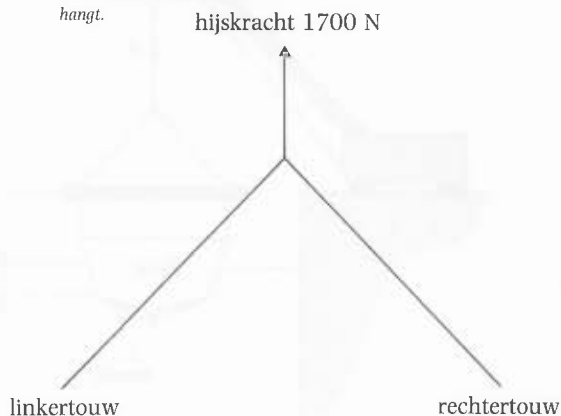
b Hoe groot is in figuur 74 de kracht  $F_2$  die op de linkerkant van de broek werkt? (De boot hangt nog steeds stil.)

c Hoe groot is in figuur 74 de resultante van alle krachten op de hijsbalk? Licht je antwoord toe.

De boot hangt nog steeds stil boven het water. In figuur 75 zijn de touwen nog eens getekend, evenals de hijskracht. In de tekening komt 1 cm overeen met 1000 N.

fig. 75

De drie kabels waaraan de boot hangt.



d Neem figuur 75 over en bepaal met de parallellogram-constructie de grootte van de kracht in het linkertouw bij een hijskracht van 1700 N. Laat 1 cm overeenkomen met 1000 N.

#### 5 Onder water (89-I D)

Iemand gaat zwemmen in zee. De dichtheid van zeewater is  $1,03 \text{ kg/dm}^3$ . De zwemmer heeft een massa van 70 kg en een volume van  $74 \text{ dm}^3$ . De zwemmer wil even op een bepaalde diepte helemaal onder water blijven.

Bereken de kracht die hij moet uitoefenen om op die diepte te blijven.

#### 6 Zwemmen en drijven (naar 90-II D)

Jan heeft een massa van 30 kg en Trees heeft een massa van 60 kg. Ze gaan op hun rug in het zwembad liggen drijven.

Vergelijk de opwaartse krachten die Jan en Trees tijdens het drijven ondervinden. De opwaartse kracht die Jan ondervindt is

- A kleiner.
- B even groot.
- C groter.

#### 7 De surfplank (85-I D)

Op een surfplank staat een surfer met een massa van 75 kg. De surfplank (P) met toebehoren heeft een massa van 25 kg. Het geheel drijft op het water (figuur 76).

fig. 76

Surfplanken op het water.



a Bereken de opwaartse kracht die het water uitoefent op de surfplank met de surfer.

De dichtheid van water is  $1 \text{ kg/dm}^3$ .

b Bereken in deze situatie het volume van het deel van de surfplank dat zich onder water bevindt.

De surfer heeft ook nog een tweede plank Q. Deze plank heeft ook een massa van 25 kg maar is gemaakt van een materiaal met een kleinere dichtheid dan het materiaal waaruit plank P bestaat. De surfer gaat nu met plank Q varen.

c Vergelijk de opwaartse kracht op plank Q met de opwaartse kracht op plank P (als de surfer ermee vaart).

A De opwaartse kracht op plank Q is groter dan de opwaartse kracht op plank P.

B De opwaartse kracht op plank Q is even groot als de opwaartse kracht op plank P.

C De opwaartse kracht op plank Q is kleiner dan de opwaartse kracht op plank P.

d Licht je antwoord op vraag c toe.

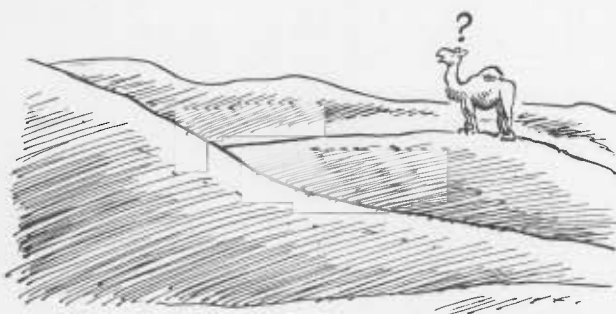
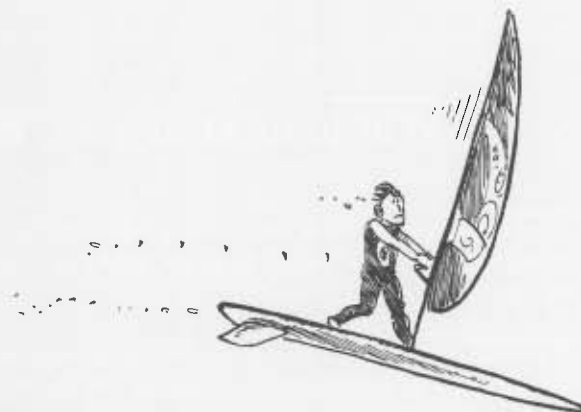
e Vergelijk van beide planken ook het volume dat zich onder water bevindt als ermee wordt gevaren.

A Van plank Q bevindt zich meer volume onder water dan van plank P.

B Van plank Q bevindt zich evenveel volume onder water als van plank P.

C Van plank Q bevindt zich minder volume onder water dan van plank P.

f Licht je antwoord op vraag e toe.



### 8 Twee boeien (88-I D)

Twee boeien drijven in een meer (figuur 77). Boei A is aan de onderkant verzwaard met een betonnen blok. Bij boei B is er beton in de boei aangebracht. Verder zijn beide boeien volkomen gelijk. Beide boeien steken even ver boven het water uit. Leg uit of er verschil is in de massa van het beton dat men bij boei A en bij boei B heeft gebruikt.

fig. 77  
Twee drijvende boeien.

