

Natuurkunde voor GGI 4

Rick Creemers



Uitgeverij Betabook
Schopenhauerstraat 215
7323 LZ Apeldoorn

Telefoon:	055 5050619
Fax:	055 3600598
E-mail:	info@betabook.nl
Internet:	www.betabook.nl www.betabase.nl

De uitgever heeft gestreefd de auteursrechten op afbeeldingen en foto's te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Iemand die ondanks dit menen rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich tot de uitgever wenden.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	pagina 3
1 Eenheden	pagina 6
1.1 Natuurwetenschappen	pagina 7
1.2 Waarnemen	pagina 7
1.3 Grootheden en eenheden	pagina 8
1.4 Enkele grootheden	pagina 9
1.5 Meten	pagina 11
1.5.1 wetenschappelijke schrijfwijze	pagina 12
1.5.2 vermenigvuldigen van machten	pagina 13
1.5.3 delen van machten	pagina 13
1.5.4 optellen en aftrekken van machten	pagina 14
1.5.5 bijzondere machten	pagina 14
1.5.6 machten van 10	pagina 15
1.5.7 rekenmachine en machten	pagina 16
1.5.8 gebroken vergelijkingen	pagina 17
1.6 Metriek stelsel.	pagina 18
1.6.1 lengtematen.	pagina 18
1.6.2 oppervlaktematen.	pagina 19
1.6.3 inhoudsmaten.	pagina 20
1.7 Samengestelde eenheden	pagina 22
2 Goniometrie	pagina 24
2.1 Verhoudingen	pagina 25
2.2 De eenheidscirkel	pagina 33
2.3 Enkele bijzondere hoeken	pagina 35
2.4 Tekenverloop van de goniometrische getallen.	pagina 35
2.5 Sinusregel	pagina 37
2.6 Cosinusregel	pagina 39
3 Krachten	pagina 42
3.1 Inleiding	pagina 43
3.2 Resultante	pagina 46
3.3 Soorten krachten.	pagina 48
3.3.1 zwaartekracht.	pagina 48
3.3.2 spierkracht.	pagina 48
3.3.3 elektrische kracht	pagina 49
3.3.4 magnetische kracht	pagina 49
3.3.5 veerkracht	pagina 49
3.3.6 wrijvingskracht	pagina 49
3.4 Versnelling	pagina 50
3.5 Reactiekracht	pagina 53
3.6 Samenstellen van krachten	pagina 56
3.7 Berekening van de grootte van de resultante.	pagina 59
3.8 Ontbinden van krachten.	pagina 60
3.9 Kracht en arbeid	pagina 70
3.10 Vermogen	pagina 74
4 Momenten	pagina 76
4.1 Momenten	pagina 77
4.2 Hefboomwet.	pagina 81
4.3 Momentenstelling	pagina 83

4.4 Evenwichtsvoorwaarden	pagina 85
4.4.1 een steunpunt	pagina 85
4.4.2 twee steunpunten	pagina 88
4.5 Koppel	pagina 94
5 Cirkelbeweging	pagina 98
5.1 Rotatie	pagina 99
5.2 Rotatiefrequentie en omtreksnelheid	pagina 99
5.3 Overbrengingen	pagina 101
5.3.1 frictieoverbrenging	pagina 101
5.3.2 riem- en snaaroverbrenging	pagina 102
5.3.3 tandwieloverbrenging	pagina 103
5.3.4 kettingoverbrenging	pagina 103
6 Warmte	pagina 110
6.1 Verbrandingswarmte	pagina 111
6.2 Rendement	pagina 112
6.3 Temperatuur	pagina 116
6.4 Fasen	pagina 119
6.4.1 de vaste fase	pagina 120
6.4.2 de vloeibare fase	pagina 121
6.4.3 de gasvormige fase	pagina 123
6.5 Faseovergangen	pagina 123
6.6 Warmtetransport	pagina 127
6.6.1 geleiding	pagina 127
6.6.2 stroming	pagina 128
6.6.3 straling	pagina 128
7 Weer en klimaat	pagina 138
7.1 Weer	pagina 139
7.2 Opbouw van de atmosfeer	pagina 139
7.2.1 troposfeer	pagina 139
7.2.2 stratosfeer	pagina 140
7.2.3 mesosfeer	pagina 140
7.2.4 thermosfeer	pagina 140
7.2.5 bestanddelen van de lucht in de atmosfeer.	pagina 141
7.3 Het weer	pagina 141
7.3.1 temperatuur	pagina 142
7.3.2 wind	pagina 142
7.3.3 weerkaart	pagina 145
7.3.3.1 fronten	pagina 146
7.3.3.2 drukgebieden	pagina 147
7.3.3.3 voorbeeld weerkaart	pagina 147
7.3.4 meetinstrumenten	pagina 147
7.4 Waterkringloop	pagina 150
7.5 Wolken	pagina 151
7.6 Klimaat en klimaatverandering	pagina 155
7.6.1 achtergronden	pagina 155
7.6.2 wat is klimaat?	pagina 156
7.6.3 klimaatinformatie	pagina 156
7.6.4 het klimaat in het verleden	pagina 156
7.6.4.1 ijstijden	pagina 156
7.6.4.2 de afgelopen duizend jaar	pagina 157
7.6.5 temperatuur-en neerslagveranderingen in Nederland.	pagina 158

7.6.6 veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer.	pagina 158
7.7 Hoe werkt het klimaat?	pagina 158
7.8 Het ontstaan van klimaatveranderingen	pagina 159
7.8.1 El Niño	pagina 159
7.8.2 de invloed van de zon	pagina 160
7.8.3 vulkaanuitbarstingen	pagina 160
7.8.4 abrupte veranderingen	pagina 161
7.8.5 de menselijke invloed: het versterkte broeikaseffect	pagina 161
7.8.6 andere beïnvloeding door mensen.	pagina 161
7.8.6.1 ozon en broeikas	pagina 162
7.8.6.2 opwarming en menselijke invloed	pagina 162
7.8.6.3 betrouwbare voorspellingen?	pagina 163
7.8.6.4 is het serieus?	pagina 164
7.8.6.5 hoe kan de menselijke invloed beperkt worden?	pagina 164
7.8.6.6 klimaatonderzoek	pagina 165
8 Druk	pagina 166
8.1 Druk en kracht	pagina 167
8.2 Vloeistofdruk	pagina 170
8.2.1 communicerende vaten	pagina 172
8.2.2 capillaire vaten	pagina 174
8.2.3 wet van Pascal	pagina 176
8.2.4 hydraulische pers	pagina 177

Eenheden

1

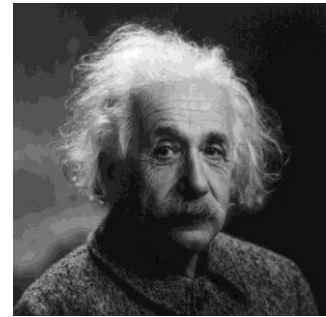


1 Eenheden

1.1 Natuurwetenschappen

Natuurwetenschappen bestuderen de natuur. Welke vakken zijn dit? Biologie, scheikunde en natuurkunde. Samen met wiskunde vormen ze de exacte vakken.

De natuurkunde is een exacte wetenschap, dat wil zeggen dat er wordt gestreefd naar wiskundige precisie in uitspraken over en voorspellingen van natuurkundige verschijnselen. Dit wil overigens niet zeggen dat erg geen enkele onzekerheid kan of mag zitten in kwantitatieve uitspraken. Integendeel, er worden bijna altijd bewust vereenvoudigende aannames gemaakt bij het opstellen van wiskundige modellen (voorbeeld: bij het berekenen van planeetbanen worden de planeetbanen voorgesteld als puntmassa's). Bovendien moet ook rekening gehouden worden met meetfouten. Natuurkundige theorieën kunnen zeer ingewikkeld worden, hoewel er in beginsel gestreefd wordt naar eenvoud. Een uitspraak van Albert Einstein luidt, dat een verklaring "zo eenvoudig mogelijk" moet zijn, "maar niet eenvoudiger".



1.2 Waarnemen

Waarnemen is gericht kijken hoe bv. de natuur zich gedraagt. Soms wordt er niet gewacht totdat er iets gebeurt, maar worden experimenteren of proeven gedaan. Bijvoorbeeld, als onderzocht wil worden wat er gebeurt als iets valt, dan gaat de wetenschapper niet zitten afwachten tot het moment dat de appel rijp is en van de boom valt, maar gaat hij een proefje doen waarbij hij zelf dingen laat vallen.

Kwalitatieve waarnemingen onderzoeken zaken als:

- Wat gebeurt er in een bepaalde situatie?
- In welke richting beweegt iets.
- Vallen zware voorwerpen sneller dan lichte?

Wat is meten? Meten is weten!!

Bij een kwantitatieve waarneming wordt gelet op:

- Om welke hoeveelheden (of aantallen) gaat het. Bijvoorbeeld in het valvoorbeeld, van welke hoogte valt een voorwerp en hoeveel tijd heeft dat voorwerp nodig om beneden te komen.



1.3 Grootheden en eenheden

Het SI-stelsel is het in 1960 ingevoerde internationale systeem van eenheden. De standaard wordt beheerd door het **Bureau international des poids et mesures** te Sèvres, Frankrijk. Frankrijk was ook het eerste land dat dit systeem (toen nog nationaal) invoerde op 10 december 1799. SI staat voor het Franse *Système international d'Unités* (internationaal eenhedenstelsel).



Elke natuurkundige of chemische grootheid kan worden uitgedrukt in eenheden (bijvoorbeeld: afstand in meter en tijd in seconden).

Het SI is bedoeld om internationaal gemakkelijk gegevens te kunnen uitwisselen. Oorspronkelijk hadden veel landen verschillende maatstelsels. De Britten en de Amerikanen gebruiken soms nog niet-SI-eenheden, zoals pound (voor massa), inch, foot, yard en mile (voor lengte of afstand). Ook in Liberia en Myanmar (het vroegere Birma) worden deze eenheden nog algemeen gebruikt. Deze zogeheten imperiale eenheden zijn ook gebruikelijk bij het meten van de diameter of diagonaal van een aantal dingen zoals fietswielen (verouderd), trommels, computermonitoren, de afmetingen van andere computeronderdelen, het raster van printplaten of de resolutie van o.a. digitale foto's.

Naast het imperiale stelsel zijn er ook niet-SI-eenheden die wél zijn goedgekeurd voor gebruik samen met SI-eenheden. Voorbeelden hiervan zijn de liter (voor inhoud), uur en minuut voor tijd en graden Celsius voor temperatuur (de SI-eenheden voor deze grootheden zijn respectievelijk kubieke meter voor inhoud, seconde voor tijd, kelvin voor temperatuur en joule voor energie). Ook hiervan afgeleide eenheden (zoals de kilowattuur die veel gebruikt wordt als eenheid van energie bij elektriciteitsleverantie) zijn geen SI-eenheden, maar wel toegestaan.

Het SI vormt een samenhangend geheel. Het is opgebouwd rond een aantal basiseenheden, die in combinatie met elkaar **afgeleide SI-eenheden** vormen. Door deze samenhang wordt het gebruik van constanten bij het omrekenen van bijvoorbeeld lengte, breedte en hoogte naar oppervlakte en gewicht zo veel mogelijk beperkt. Vanaf 1 januari 1978 werd in Nederland het gebruik van dit stelsel in beroep, handel en onderwijs wettelijk verplicht gesteld door de IJkwet.

Wat is een grootheid?

Wát gemeten wordt, heet een **grootheid**.

Voorbeelden zijn: lengte, tijd, snelheid en temperatuur.

Wat is een eenheid?

De maat waarin gemeten wordt, noem je een **eenheid**.

Voorbeelden zijn: bij lengte hoort meter, bij tijd hoort seconde, bij snelheid hoort meter per seconde, bij temperatuur hoort graden Celsius.

Eenheden

Een voorbeeld:

$$\text{snelheid} = \frac{\text{afstand}}{\text{tijd}}$$

of in formulevorm:

$$v = \frac{s}{t}$$

waarin:

v	=	snelheid, in meter per seconde
s	=	afstand, in meter
t	=	tijd, in seconde

Opgaven.

1. Een uur autorijles duurt in werkelijkheid 50 minuten.
 - a. Over welke grootheid gaat het in deze zin?
 - b. Welke 2 eenheden welke worden in deze zin gebruikt?
 - c. Reken de eenheden om naar de SI-eenheden.

1.4 Enkele grootheden

In de onderstaande tabel zijn de meest bekende basisgrootheden en hun symbolen opgenomen. Deze zeven basiseenheden zijn onderling onafhankelijk en hebben dus geen onderlinge relatie.

grootheid		SI-basiseenheid	
naam	symbool	naam	symbool
lengte	l	meter	m
massa	m	kilogram	kg
tijd	t	seconde	s
elektrische stroom	I	ampère	A
absolute temperatuur	T	kelvin	K
hoeveelheid stof	n	mol	mol
lichtsterkte	I	candela	cd

Alle andere SI-eenheden kunnen worden uitgedrukt in termen (combinaties) van deze basiseenheden en worden **afgeleide eenheden** genoemd.

Eenheden

Een voorbeeld.

Meter per seconde is een afgeleide SI-eenheid voor snelheid.

Het symbool is m/s of m.s⁻¹

Een snelheid van 1 m/s komt overeen met het afleggen van 1 meter in 1 seconde.

- 1 m/s = 3,6 km/h

Let op

De termen massa en gewicht worden in het dagelijks spraakgebruik door elkaar gehaald. Er is echter een wezenlijk verschil. Het gewicht van een voorwerp is onder 'aardse' omstandigheden de kracht die de aarde op een voorwerp uitoefent. Op de maan is het gewicht van hetzelfde voorwerp dus veel lager, terwijl de massa hetzelfde is! Gewicht is afhankelijk van de plaats en de hoogte ten opzichte van aardoppervlak.



Om te voorkomen dat er hele grote of juist hele klein getallen ontstaan, worden voorvoegsels gebruikt. In plaats van 85000 g wordt liever in de dagelijkse spraak 85 kg gebruikt.


Of liever 0,5 g in plaats van 0,0005 kg.

In de volgende tabel is een aantal voorvoegsels en de bijbehorende betekenis opgenomen.

10 ⁿ	voorvoegsel	symbool	naam	decimaal equivalent
10 ¹²	tera	T	biljoen	1 000 000 000 000
10 ⁹	giga	G	miljard	1 000 000 000
10 ⁶	mega	M	miljoen	1 000 000
10 ³	kilo	k	duizend	1 000
10 ²	hecto	h	honderd	100
10 ¹	deca	da	tien	10
10 ⁻¹	deci	d	tiende	0,1
10 ⁻²	centi	c	honderdste	0,01
10 ⁻³	milli	m	duizendste	0,001
10 ⁻⁶	micro	μ	miljoenste	0,000 001
10 ⁻⁹	nano	n	miljardste	0,000 000 001
10 ⁻¹²	pico	p	biljoenste	0,000 000 000 001

Eenheden

Opgaven.

2. Een agent spreekt een automobilist aan op zijn rijgedrag en zegt: 'Uw snelheid hier in de bebouwde kom bedroeg 72 km. U krijgt een bon.'
 - a. Wat is er onjuist aan deze uitspraak?
 - b. Welke eenheid bedoelt de agent?
 - c. Wat zijn de ~~grondeenheden~~  waarop de bedoelde eenheid is gebaseerd?
3. Op een fles frisdrank staat: inhoud 1 l.
Op een blik verf staat: inhoud 1 kg.
Welke grootheden worden eigenlijk met inhoud bedoeld?
4. De eenheden voor oppervlak en inhoud zijn resp. m^2 en m^3 .
 - a. Hoe worden deze eenheden uitgesproken?
 - b. Hoe komt men aan deze eenheden?
5. Geef van de volgende begrippen aan welke basis grootte wordt bedoeld.
 - a. omtrek
 - b. diameter
 - c. doorsnede
 - d. vracht/lading
6. Iemand zakt niet door een dunne laag ijs, wanneer er een ladder op gelegd wordt.
Geef hiervoor een verklaring.
7. Waarom snijdt een scherp mes beter dan een bot mes?
Geef de verklaring.



1.5 Meten

1.5 METEN

Meten is het vergelijken van een grootte met de bijbehorende eenheid. Het getal dat gevonden wordt bij de meting, heet de **waarde** van de meting.

Om een meting te kunnen verrichten is een meetinstrument nodig. Een meetinstrument met een schaalverdeling, heet een **analoog** meetinstrument. Een meetinstrument dat meteen de waarde in een getal weergeeft, is een **digitaal** meetinstrument. Elke meting bevat een **onzekerheid**. Deze onzekerheid hangt samen met de nauwkeurigheid van de waarnemer en het instrument.

De eenheden waarmee gerekend wordt moeten waar mogelijk gelijk aan elkaar zijn, meter en cm kunnen niet zonder meer met elkaar vermenigvuldigd of bij elkaar opgeteld worden.

De eenheden waarmee gerekend wordt moeten bij voorkeur eenheden zijn uit het SI.

1.5.1 wetenschappelijke schrijfwijze

In veel gevallen is het handig om de wetenschappelijke schrijfwijze te gebruiken. Dit betekent dat je getallen opschrijft als een product van een getal met één cijfer voor de

1.5.1 wetenschappelijke schrijfwijze

Op de rekenmachine kan worden ingesteld hoeveel cijfer achter de komma (decimalen) zichtbaar moeten zijn.

Bij het wetenschappelijk rekenen gelden de volgende regels:

- $10^a \times 10^b = 10^{a+b}$
- $10^a / 10^b = 10^{a-b}$
- $(10^a)^b = 10^{ab}$



Voorbeeld:

$$4^3 = 4 \times 4 \times 4 = 64$$

In de macht 4^3 noemen we 4 het grondtal en 3 de exponent

4^3 wordt uitgesproken als: “4 tot de derde macht”, “4 tot de macht 3” of “vier tot de derde”.

Let op voor het verschil tussen de volgende machten, wat is het grondtal en wat is de exponent?

5^2	=	5×5	=	25	5 is hier het grondtal
$(-5)^2$	=	-5×-5	=	25	-5 is hier het grondtal
-5^2	=	-5×5	=	-25	5 is hier het grondtal

Opgaven.

8. Bereken de volgende machten.

- 4^3
- -6^2
- 2^5
- $(-2)^4$

Eenheden

1.5.2 vermenigvuldigen van machten

Voorbeeld:

$$7^3 \times 7^2 = 7 \times 7 \times 7 \times 7 \times 7 = 7^5$$

of

$$7^3 \times 7^2 = 7^5$$

Opgaven.

9. Schrijf als een macht

- a. $6^3 \times 6^4$
- b. $8^6 \times 8^8$
- c. $-4^5 \times 4^{12}$
- d. $-9^5 \times -9^3$

1.5.3 delen van machten

Voorbeeld:

$$7^6 : 7^2 = 7 \times 7 \times 7 \times 7 \times 7 \times 7 : 7 \times 7 = 7^4$$

of

$$7^6 : 7^2 = 7^4$$

Opgaven.

10. Schrijf het antwoord als een macht.

- a. $6^5 : 6^3$
- b. $9^{13} : 9^7$
- c. $8^4 : 8^2$
- d. $(-4)^6 : (-4)^3$

Eenheden

1.5.4 optellen en aftrekken van machten

Zoals ook bij het optellen en aftrekken van allerlei wiskundige uitdrukkingen geldt, geldt ook hier dat alleen gelijksoortige termen kunnen worden samengenomen.

Dus $9^5 + 9^5 = 2 \cdot 9^5$

en $3^5 + 7^4 =$ is niet op dezelfde manier samen te nemen of te vereenvoudigen.

1.5.5 bijzondere machten

Opgaven.

11. Vul onderstaande tabel van boven naar beneden in en zoek daarbij naar een regelmaat. Met behulp van deze regelmaat kun je dan ook de onderste 5 machten berekenen.

2^4	$2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$
2^3	
2^2	
2^1	
2^0	
2^{-1}	
2^{-2}	
2^{-3}	
2^{-4}	

Doe hetzelfde met de onderstaande tabel

3^4	
3^3	
3^2	
3^1	
3^0	
3^{-1}	
3^{-2}	
3^{-3}	
3^{-4}	

Eenheden

12. Uit bovenstaande tabel blijkt dat $2^0 = \dots$
en $3^0 = \dots$
- a. Wat zijn de antwoorden van:
 $4^0 =$ en $5^0 =$ en $-6^0 =$
13. Uit bovenstaande tabel blijkt dat $2^3 = \dots$
en $2^{-3} = \dots$
- a. Wat is de relatie tussen de antwoorden van 2^3 en 2^{-3} .
14. Uit bovenstaande tabel blijkt dat $3^4 = \dots$
en $3^{-4} = \dots$
- b. Wat is de relatie tussen de antwoorden van 3^4 en 3^{-4} .
c. $5^2 = 25$, bereken 5^{-2} .
15. Schrijf als een gewone breuk:
- a. 6^{-2}
 - b. 4^{-1}
 - c. 3^{-3}
 - d. $(-3)^{-2}$
 - e. 10^{-4}
 - f. -4^2

1.5.6 machten van 10

Opgaven.

16. Schrijf als decimaal (komma-) getal.
- a. 10^3
 - b. 10^5
 - c. 10^{15}
 - d. 10^{-4}
 - e. 10^{-2}
 - f. 10^{-12}

Eenheden

17. Schrijf als decimaal (komma-) getal.

- a. $7,1 \times 10^4$
- b. $-6,4 \times 10^6$
- c. $6,9 \times 10^{-3}$
- d. $-4,3 \times 10^{-5}$

18. Geef aan wat er telkens bij de volgende berekeningen met de komma gebeurt.

- a. $8,1 \times 10^{11}$
- b. $-2,6 \times 10^{-9}$

Lange getallen worden door elektronische rekenmachines omgezet in de zogenaamde **wetenschappelijke notatie**.

19. De massa van de aarde is $6,595 \times 10^{24}$ kg
(Het x teken wordt in de wiskunde vaak vervangen door een punt.)
a. Schrijf dit getal uit, wat gebeurt er met de komma?
20. De middellijn van een waterstofkern is 5×10^{-19} meter.
a. Schrijf dit getal uit, wat gebeurt er met de komma?

Bij deze notatie ligt het getal voor de macht van 10 tussen 1 en 10 of -1 en -10.

1.5.7 rekenmachine en machten

De berekening van 15^{12} hangt af van het type rekenmachine:

Toets in: $15 \text{ y}^x 12 =$ of $15 \wedge 12 =$

opmerking: als de y^x toets niet op de rekenmachine voorkomt moet je de x^y of a^x toets nemen

Het antwoord is 1.2975×10^{14} dit betekent $1,2975 \cdot 10^{14}$

of uitgeschreven 129.750.000.000.000

Het aantal decimalen kan worden ingesteld op de rekenmachine.

Eenheden

Opgaven.

21. Bereken met je rekenmachine en schrijf het antwoord op in de wetenschappelijke notatie.

- a. 12^{17}
- b. 25^{-9}
- c. -8^{13}

De berekening van $-4 \cdot 10^{17} \times 3 \cdot 10^{-6} =$
Toets in: $(-4 \times 10^{17} \times 3 \times 10^{-6}) =$
Antwoord: $-1.2 \times 10^{12} = -1200000000000$

22. Bereken met de rekenmachine:

- a. $4,2 \cdot 10^{15} \times 7,6 \cdot 10^{16} =$
- b. $4,2 \cdot 10^{-15} : 7,6 \cdot 10^{16} =$
- c. $-4,2 \cdot 10^{15} + 7,6 \cdot 10^{16} =$
- d. $-4,2 \cdot 10^{15} - 7,6 \cdot 10^{-16} =$

1.5.8 gebroken vergelijkingen

Het oplossen van zogenaamde gebroken vergelijkingen gaat m.b.v. de oplostechiek **kruislings vermenigvuldigen**.

Dit kruislings vermenigvuldigen mag alleen bij een gebroken vergelijking waarbij zowel links als rechts van het = teken één breuk staat.

Voorbeelden van dit soort vergelijkingen:

$$\frac{4}{p} = \frac{3}{7}$$

$$\frac{1 - 2x}{x} = \frac{3}{5}$$

Voorbeeld:

Bereken de waarde van x

De gebroken vergelijking $\frac{4}{p} = \frac{3}{7}$ kan worden opgelost door $5 \cdot x = 3 \cdot 7$ op te lossen.

$$x = \frac{3 \cdot 7}{5} = 2,2$$

Deze techniek heet kruislings vermenigvuldigen.

Eenheden

Opgaven.

23. Bereken de waarde voor x:

a. $\frac{2}{x} = \frac{3}{4}$

b. $\frac{1}{x} = 3\frac{1}{2}$

c. $\frac{2}{x-1} = -1$

24. Bereken telkens de waarde van de onbekende.

a. $\frac{1}{x} = \frac{1}{3}$

e. $\frac{3}{t} = 0$

b. $\frac{1}{t} = \frac{2}{7}$

f. $\frac{5}{2a} = -\frac{1}{3}$

c. $\frac{2}{p} = 1\frac{2}{3}$

g. $\frac{2}{x} = -2\frac{1}{3}$

d. $\frac{5}{x} = 3$

h. $\frac{1}{2x} = \frac{2}{9}$

1.6 Metriek stelsel.

1.6.1 lengtematen.

De onderverdeling van de meter vindt plaats door de voorvoegsels **deci**, **centi** en **milli**.
De veelvouden hebben de voorvoegsels **deca**, **hecto** en **kilo**.

1 mm = 0,001 m

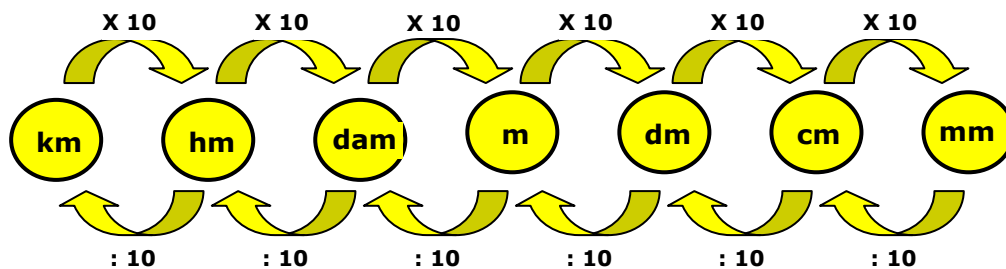
1 cm = 0,01 m

1 dm = 0,1 m

1 dam = 10 m

1 hm = 100 m

1 km = 1000 m



Eenheden

1.6.2 oppervlaktematen.

Met oppervlaktematen wordt bedoeld de oppervlakte van een voorwerp. Oppervlaktematen krijgen de toevoeging "vierkante", bijvoorbeeld vierkante meter m^2 . De toevoeging "vierkante" zie je als een tweetje ² schuin boven de m staan.

Als deze maat moet worden omgerekend van m^2 naar dm^2 dan moet het getal voor de m^2 met 100 worden vermenigvuldigd.

$$\begin{aligned} 1 \text{ m}^2 &= 100 \text{ dm}^2 \\ 1 \text{ m}^2 &= 0,01 \text{ dam}^2 \end{aligned}$$

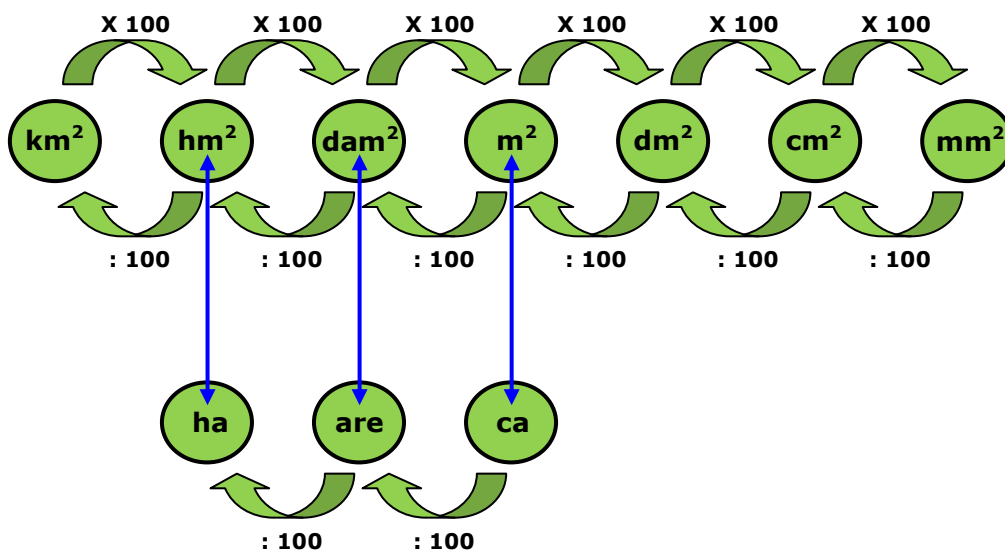
Bij de verkoop van een huis wordt de oppervlakte van de grond niet in m^2 uitgedrukt maar in een andere eenheid namelijk de **are**.

Het verband tussen are en m^2 is dan:

$$1 \text{ are} = 100 \text{ m}^2$$

Andere eenheden die bij de are horen zijn centiare (ca) en de hectare (ha).

$$\begin{aligned} 1 \text{ ca} &= 0,01 \text{ a} = 1 \text{ m}^2 \\ 1 \text{ ha} &= 100 \text{ a} = 10000 \text{ m}^2 \end{aligned}$$



Eenheden

1.6.3 inhoudsmaten.

Met inhoudsmaten wordt bedoeld de inhoud van een voorwerp.

Inhoudsmaten krijgen de toevoeging "kubiek", bijvoorbeeld kubieke centimeter cm^3 .

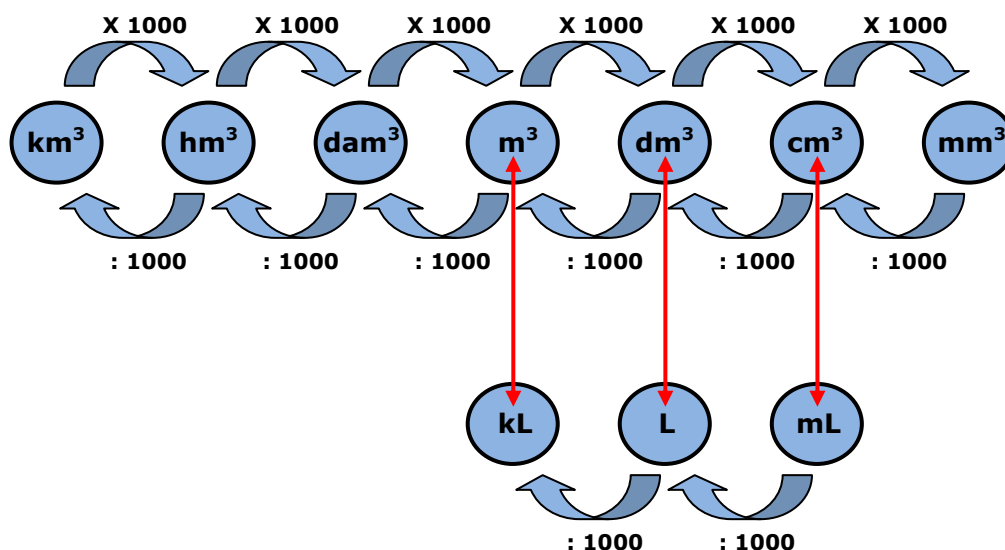
De toevoeging "kubieke" zie je als een drietje 3 schuin boven de cm staan.

Als deze maat moet worden omgerekend van cm^3 naar dm^3 dan moet het getal voor de cm^3 door 1000 worden gedeeld.

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$$

$$1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$$

De inhoudsmaat 1 dm^3 is gelijk aan 1 liter (1 L)



Opgaven.

25. $1 \text{ m} = \text{mm}$
 $16 \text{ dam} = \text{dm}$
 $12 \text{ km} = \text{dam}$
 $986 \text{ hm} = \text{dam}$
 $3500 \text{ mm} = \text{m}$

26. $100 \text{ mg} = \text{dg}$
 $88 \text{ dag} = \text{kg}$
 $0,09 \text{ cg} = \text{dg}$
 $34 \text{ hg} = \text{mg}$
 $0,08 \text{ kg} = \text{g}$

Eenheden

27. 127 cL = mL
0,78 hL = kL
0,056 L = daL
12 kL = L
345 L = cL

28. 8000 mm² = cm²
5673 dm² = m²
443 mm² = dm²
8 cm² = mm²
5600 mm² = dm²

29. 2,5 a = m²
1 ha = m²
150 ca = a
525 ca = m²
10 are + 37 ca = m²

30. 500 m³ = dam³
0,486 m³ = dm³
668 mL = dm³
0,05 hm³ = m³
560 cL = cm³

31. Een bouwka­vel is groot 9 are en 23 ca
Hoe­veel m² is dat?

32. In de verkoopakte van een woonhuis staat vermeld dat het grondoppervlak 296 are en 45 ca bedraagt.
Hoe­veel m² is dat?

1.7 Samengestelde eenheden

De dichtheid water = $1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Willen we weten hoeveel kg/dm^3 of hoeveel g/cm^3 dat is, dan moeten we het volgende doen.

$$1 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{1 \cdot 10^3 \text{ kg}}{1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}} = \frac{1 \cdot 10^3 \text{ kg}}{10 \text{ dm} \cdot 10 \text{ dm} \cdot 10 \text{ dm}} = \frac{1 \cdot 10^3 \text{ kg}}{1 \cdot 10^3 \text{ dm}^3} = 1 \text{ kg/dm}^3$$

Op die manier kunnen we ook uitrekenen dat 1 kg/dm^3 overeenkomt met 1 g/cm^3 .

Dus :

$$1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$$

Voorbeeld.

De eenheid van druk is N/m^2 .

Een andere eenheid van oppervlakte is cm^2 .

Voor het omrekenen geldt het volgende :

$$1 \text{ N/m}^2 = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} = \frac{1 \text{ N}}{10000 \text{ cm}^2} = \frac{1 \text{ N}}{1 \cdot 10^4 \text{ cm}^2} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ N/cm}^2$$

$$5 \text{ N/m}^2 = \frac{5 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} = \frac{5 \text{ N}}{10000 \text{ cm}^2} = \frac{5 \text{ N}}{1 \cdot 10^4 \text{ cm}^2} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ N/cm}^2$$

Voorbeeld.

Hoeveel m/s is gelijk aan 72 km/h ?

$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$

$1 \text{ h (uur)} = 3600 \text{ s}$

$$72 \text{ km/h} = \frac{72 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{72000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{20 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$$

Eenheden

Opgaven.

33. $750 \text{ mg/mm} = \text{kg/m}$
 $95 \text{ N/cm}^2 = \text{kN/m}^2$
 $35 \text{ g/ml} = \text{kg/m}^3$
 $38 \text{ J/cm} = \text{J/m}$
 $4,2 \text{ g/cm}^3 = \text{kg/m}^3$

34. $15 \text{ N/m} = \text{N/cm}$
 $4 \text{ mg/mm}^3 = \text{kg/dm}^3$
 $40 \text{ kg/m}^2 = \text{kg/cm}^2$
 $0,2 \text{ kN/cm} = \text{N/m}$
 $8 \text{ g/cm}^3 = \text{g/dm}^3$

35. $108 \text{ km/h} = \text{m/s}$
 $1 \text{ kg/dm}^3 = \text{g/cm}^3$
 $25 \text{ m/s} = \text{km/h}$
 $37 \text{ kg/m}^3 = \text{g/cm}^3$
 $56 \text{ m/s} = \text{km/h}$

Goniometrie

2



2 Goniometrie

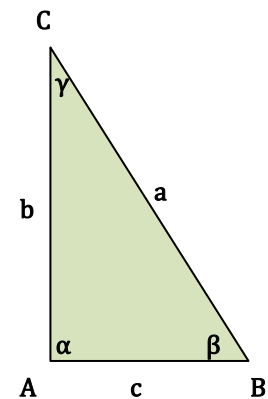
2.1 Verhoudingen

In iedere rechthoekige driehoek bestaat een vaste verhouding tussen de zijden.

De snijpunten van een driehoek geven we aan met een hoofdletter, tegenover het snijpunt geven we de lijnlengte weer met een kleine letter, de hoek zelf geven we aan met een Griekse letter. We maken dan gebruik van de volgende Griekse letters:

Alfa	α
Beta	β
Gamma	γ

In de volgende driehoek staat lijnstuk a tegenover hoek A (α), lijnstuk b tegenover hoek B (β) en lijnstuk c tegenover hoek C (γ).



Deze combinatie is zo gekozen en is tevens een vaste afspraak, omdat het nu duidelijk is welk lijnstuk in combinatie staat met welke hoek.

Er zijn nog een aantal afspraken:

- Het lijnstuk tegenover een bepaalde hoek (bijvoorbeeld β in de tekening) en die tevens met een ander lijnstuk een rechte hoek vormt noemen we de **overstaande** rechthoekzijde (in de tekening is dat voor hoek α het lijnstuk b).
- Het lijnstuk dat ligt aan een bepaalde hoek en die tevens met een ander lijnstuk een rechte hoek vormt noemen we de **aanliggende** rechthoekzijde (in de tekening is dat voor hoek β het lijnstuk c).
- Het lijnstuk dat ligt tegenover de rechte hoek wordt de **schuine** zijde genoemd (in de tekening ligt tegenover hoek α de schuine zijde a).

Goniometrie

Zoals reeds eerder vermeld is, heeft iedere rechthoekige driehoek een vaste verhouding tussen de hoeken en de zijden.

Die verhoudingen duiden we aan met:

Sinus, afgekort sin
Cosinus afgekort cos
Tangens, afgekort tan

Sinus:

$$\sin = \frac{\text{overstaande rechthoekzijde}}{\text{schuine zijde}}$$

$$\sin \beta = \frac{AC}{BC} = \frac{b}{a}$$

$$\sin \gamma = \frac{AB}{BC} = \frac{c}{a}$$

Cosinus:

$$\cos = \frac{\text{aanliggende rechthoekzijde}}{\text{schuine zijde}}$$

$$\cos \beta = \frac{AB}{BC} = \frac{c}{a}$$

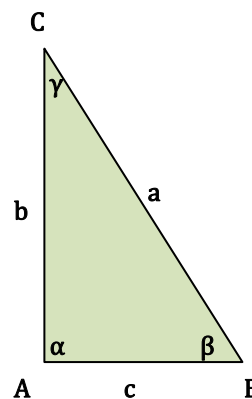
$$\cos \gamma = \frac{AC}{BC} = \frac{b}{a}$$

Tangens:

$$\tan = \frac{\text{overstaande rechthoekzijde}}{\text{aanliggende rechthoekzijde}}$$

$$\tan \beta = \frac{AC}{AB} = \frac{b}{c}$$

$$\tan \gamma = \frac{AB}{AC} = \frac{c}{b}$$



Goniometrie

Een ezelsbruggetje om te onthouden:

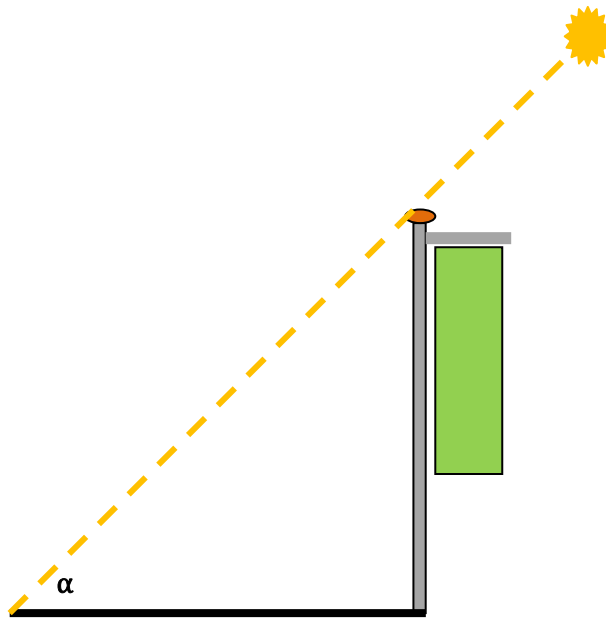
Voor de Sinus deel je Overstaande rechthoekzijde door de Schuine zijde. (SOS)

Voor de Cosinus deel je de Aanliggende rechthoekzijde door de Schuine zijde. (CAS)

Voor de Tangens deel je de Overstaande rechthoekzijde door de Aanliggende rechthoekzijde. (TOA)

Voorbeeld.

In de tekening is een vlaggenmast te zien en men wil weten hoe hoog deze mast is.



De zon maakt een schaduw van 6 m op de grond van de mast en de hoek α die de lichtstraal maakt met de grond bedraagt 50° .

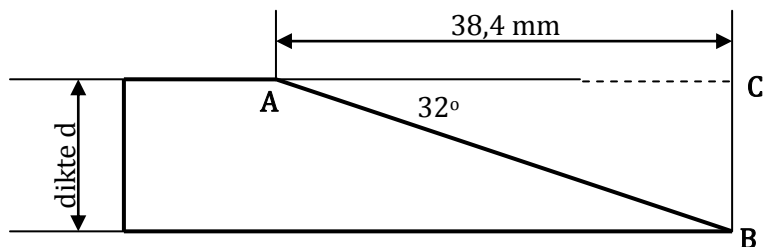
$$\tan \alpha = \frac{\text{overstaande rechthoekzijde}}{\text{aanliggende rechthoekzijde}} = \frac{\text{hoogte mast}}{\text{lengte schaduw}}$$

$$\tan 50^\circ = \frac{\text{hoogte mast}}{6} \quad \rightarrow \quad \text{hoogte mast} = 6 \cdot \tan 50^\circ = 7,15 \text{ m}$$

Goniometrie

Voorbeeld.

Een wig heeft de volgende afmetingen:



Bereken de dikte d van de wig.

In driehoek ABC geldt:

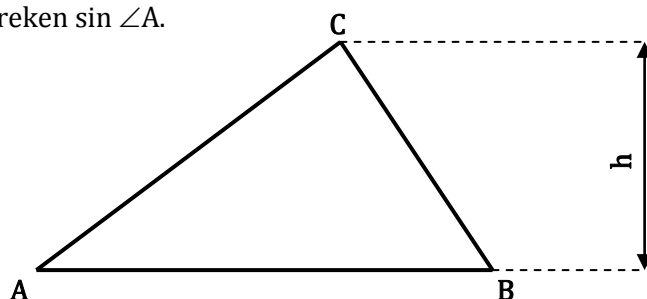
$$\tan \angle A = \frac{CB(= \text{dikte})}{AC} \quad \rightarrow \quad CB(= \text{dikte}) = AC \cdot \tan \angle A = 38,4 \cdot \tan 32^\circ = 24 \text{ mm}$$

Opgaven.

1. In driehoek ABC is de zijde $AB = 3$, de zijde $BC = 5$ en de zijde $AC = 4$. Bereken de drie goniometrische verhoudingen van hoek B.

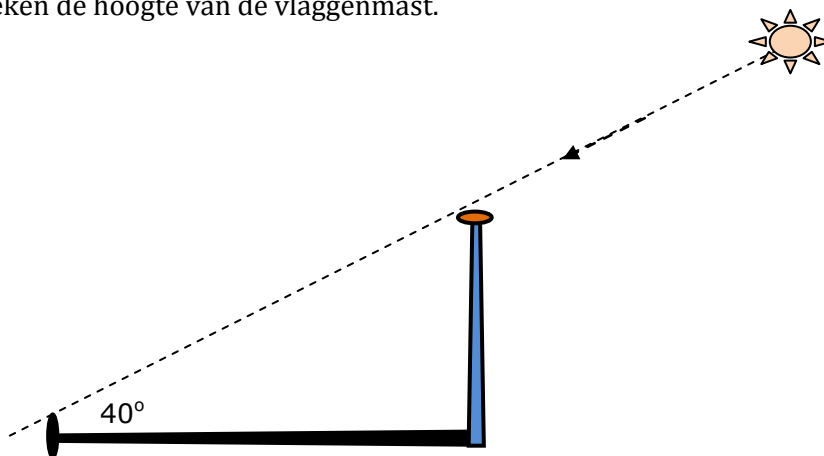
2. Van onderstaande driehoek is gegeven:
 $AB = 6 \text{ cm}$
 $AC = 5 \text{ cm}$
 $h = 3 \text{ cm}$

Bereken $\sin \angle A$.

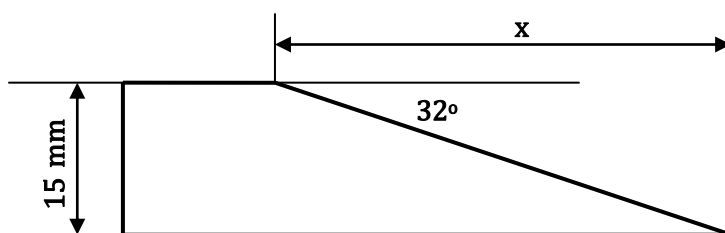


Goniometrie

3. De getekende zonnestraal bereikt de grond onder een hoek van 40° . De schaduw van de vlaggenmast is dan 5,75 m. Bereken de hoogte van de vlaggenmast.

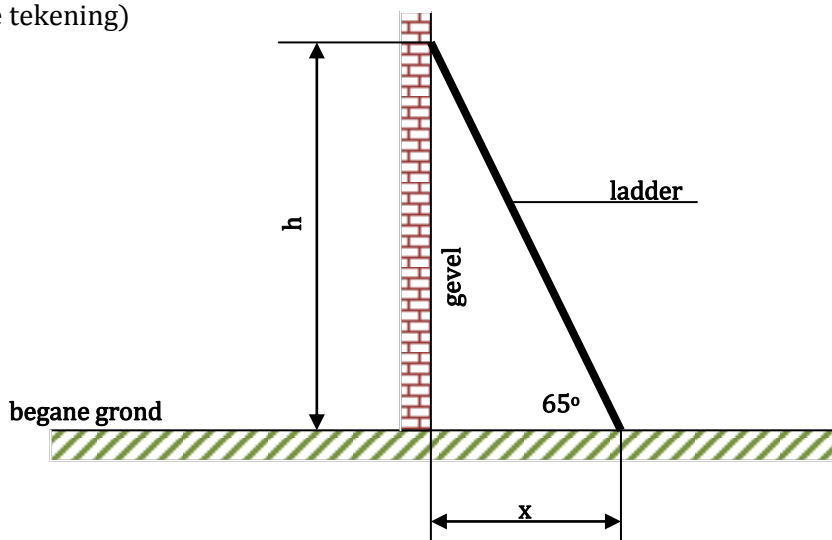


4. Een voorwerp heeft de volgende afmetingen:



Bereken de lengte x .

5. Een ladder heeft een lengte van 7,2 m en wordt tegen de gevel van een huis gezet onder een hoek van 65° . (zie tekening)



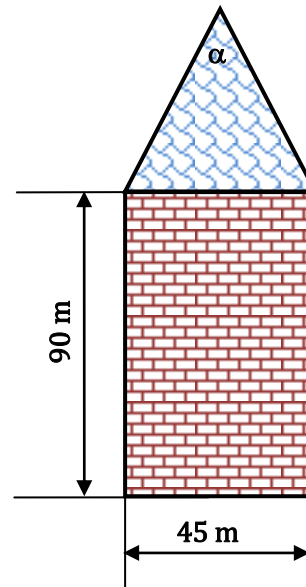
Goniometrie

- a. bereken de hoogte h
- b. bereken de afstand x

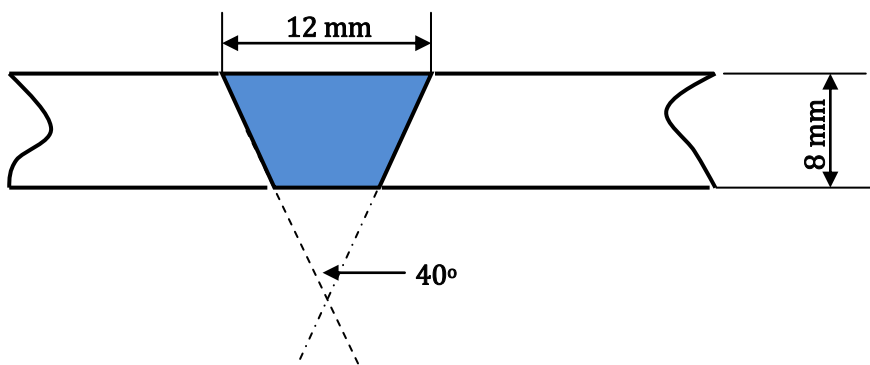
De afstand x wordt 0,75 m kleiner gemaakt door de ladder wat dichterbij het huis te zetten.

- c. Bereken onder de hoek die de ladder nu met grond maakt.
- d. bereken ook nu de hoogte h

6. Een kerktoren heeft een totale hoogte van 138 m. De toren wordt heel eenvoudig in de volgende tekening voorgesteld. Bereken de tophoek α .



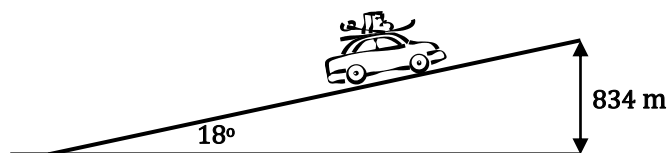
7. Twee platen met een dikte van 8 mm worden aan elkaar gelast. De doorsnede van de las heeft de volgende afmetingen:



Bereken de lengte van de las aan de onderzijde

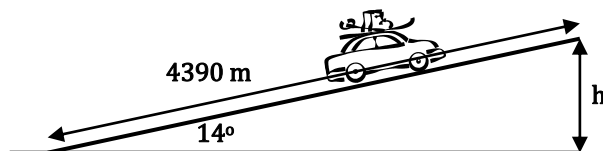
Goniometrie

8. Een weg voert naar de top van een berg onder een hellingshoek van 18° . De top van de berg ligt op 834 m hoogte.



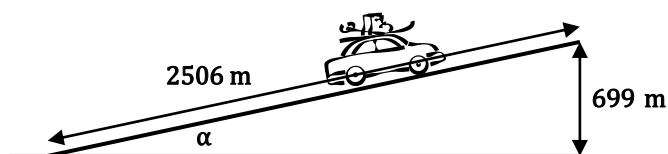
Bereken de afstand over de weg naar de top van de berg.

9. Een weg voert naar de top van een berg onder een hellingshoek van 14° . De afstand over de weg naar de top van de berg bedraagt 4390 m.



Bereken de hoogte h van de top van de berg.

10. Een weg voert naar de top van een berg onder een hellingshoek α . De afstand over de weg naar de top van de berg bedraagt 2506 m. De top van de berg ligt op een hoogte van 699 m.



Bereken de hellingshoek α .

11. In Nederland kom je veel ophaalbruggen tegen. Bij één van de bruggen gelden de volgende maten:

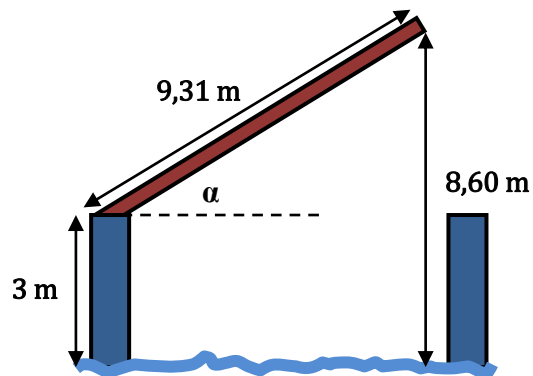
Lengte brugdek 9,31 m
Afstand van brugdek tot waterniveau: 3 m
Afstand bij openstaande brug van brugdek tot waterniveau: 8,60 m



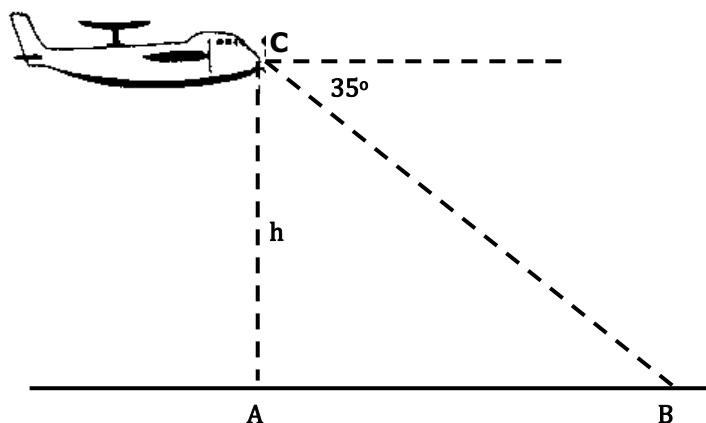
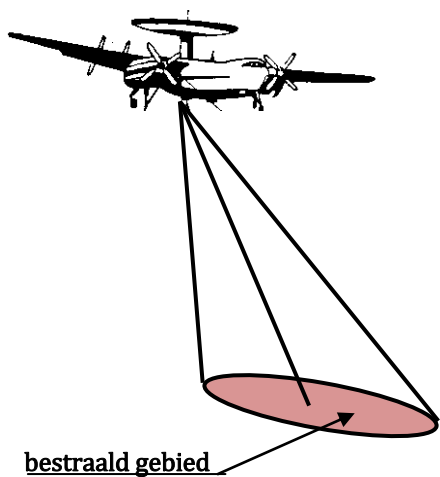
Goniometrie

In de tekening is de brug schematisch weergegeven

Bereken de hellingshoek α .



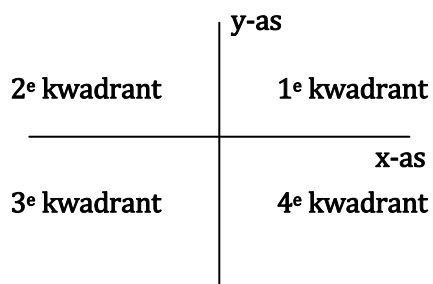
12. Het onderstaand afgebeelde vliegtuig is uitgerust met een speciale radarantenne. Hiermee kunnen heel nauwkeurig gronddoelen bepaald worden.



De afstand BC die door de radarapparatuur bepaald wordt, bedraagt 12200 m.
De hoek van de antenne met de horizon is 35° .
Bereken op welke hoogte het vliegtuig vliegt.

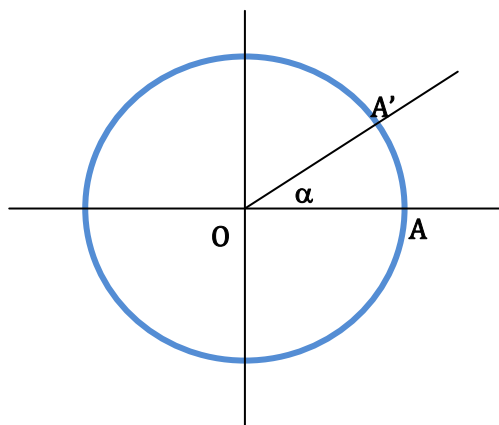
2.2 De eenheidscirkel

Bij een assenstelsel met een x-as en een y-as verdelen deze assen het vlak in vier delen, die kwadranten worden genoemd.



Er wordt nu een punt A gekozen op de x-as, zodanig dat de afstand tot het snijpunt van de x-as en de y-as (O) gelijk is aan 1.

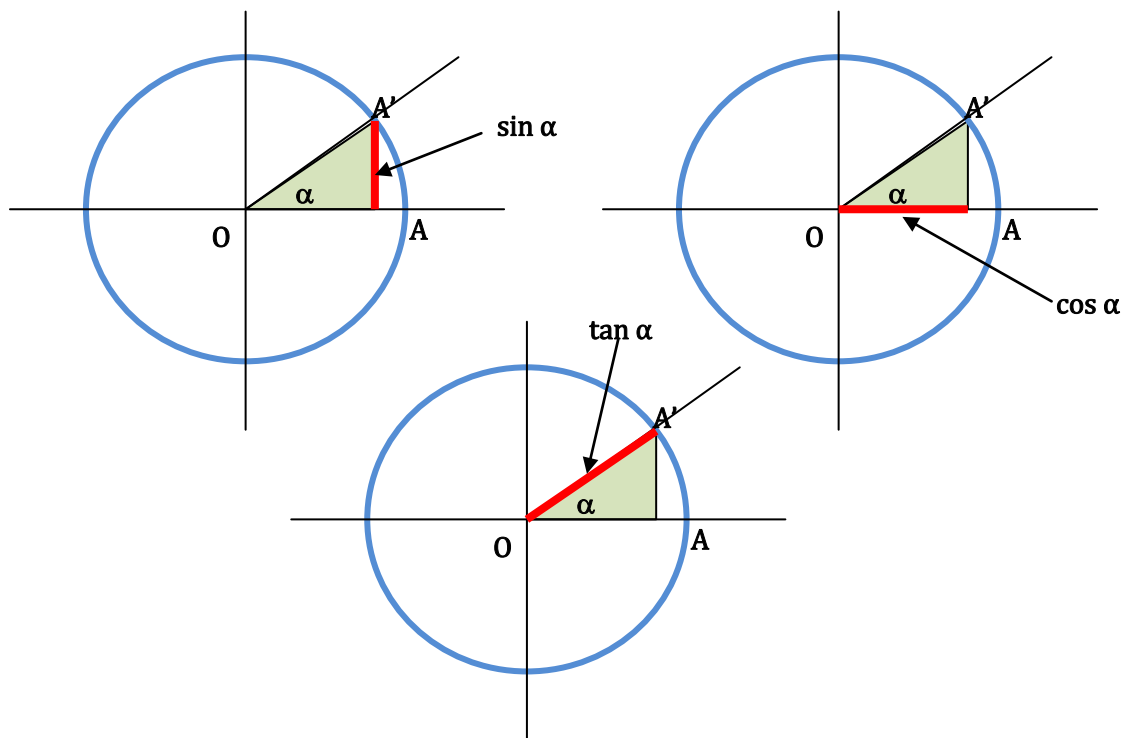
Dan wordt een cirkel getekend met als straal de lengte OA en als middelpunt O. Dit wordt de **eenheidscirkel** genoemd.



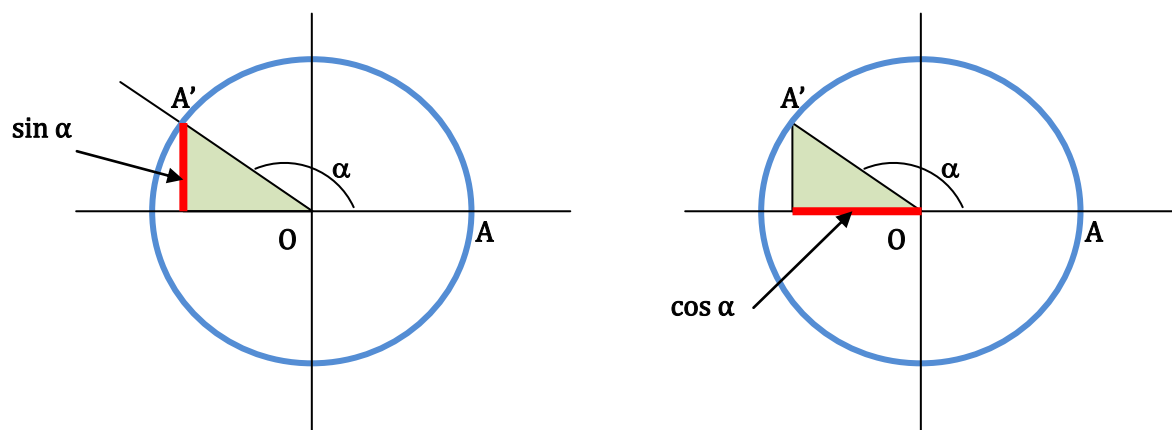
Door de lijn OA te draaien in het eerste kwadrant kunnen alle hoeken tussen 0° en 90° gevormd worden. Het vaste been van hoek α ligt dan altijd op de positieve x-as.

Goniometrie

Omdat de straal van de cirkel één is, kunnen we de sinus, cosinus en tangens van α voor stellen door één lijnstuk.



Draaien we het lijnstuk OA' verder naar het tweede kwadrant dan kunnen we alle hoeken vormen tussen 90° en 180° .



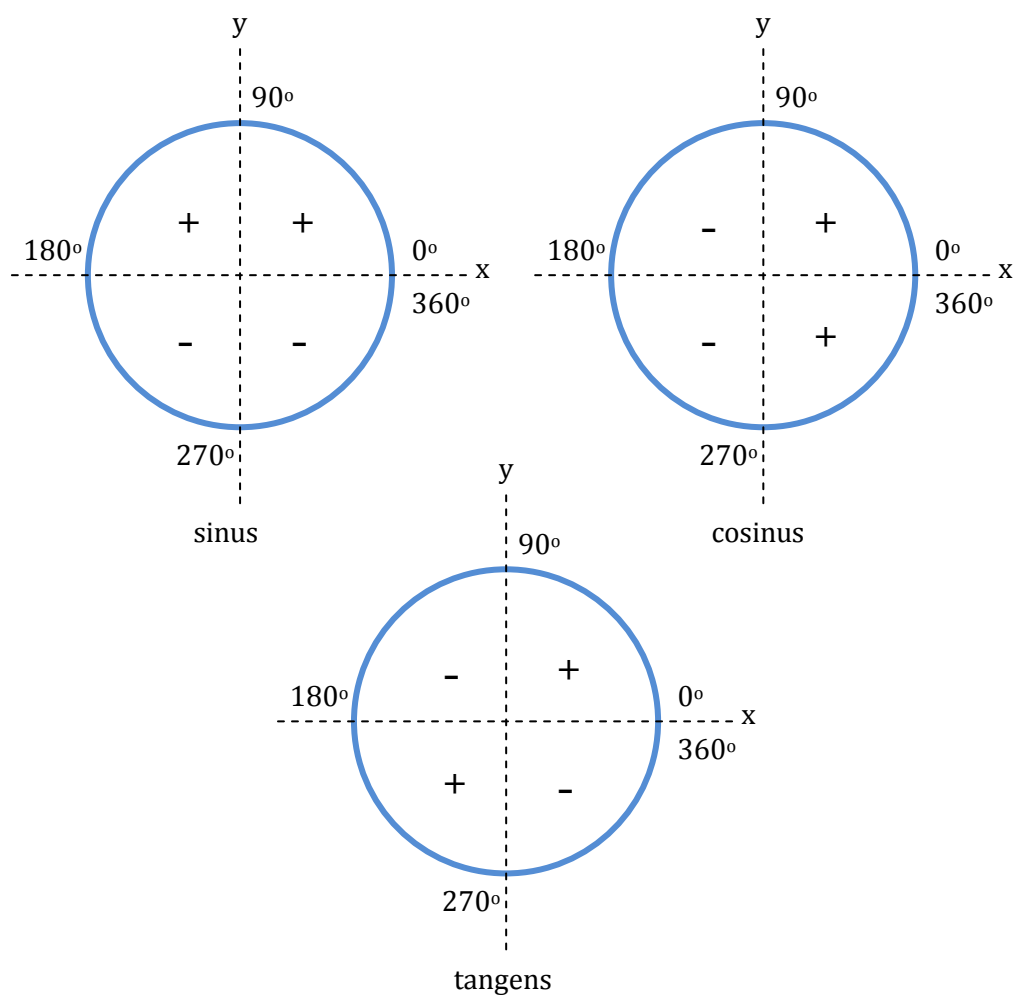
In de tekeningen is af te lezen dat de $\sin \alpha$ positief is en dat $\cos \alpha$ negatief is.

2.3 Enkele bijzondere hoeken

α	0°	30°	45°	60°	90°	180°	270°
$\sin \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	1	0	-1
$\cos \alpha$	1	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}$	0	-1	0
$\tan \alpha$	0	$\frac{1}{3}\sqrt{3}$	1	$\sqrt{3}$	∞	0	∞

2.4 Tekenverloop van de goniometrische getallen.

Binnen een kwadrant behouden de goniometrische getallen hetzelfde teken.



Goniometrie

Uit de tekeningen van de eenheidscirkel is ook af te lezen dat het volgende geldt:

$$\sin 45^\circ = \sin 135^\circ$$

$$\cos 30^\circ = -\cos 150^\circ$$

$$\cos 45^\circ = -\cos 135^\circ$$

In het algemeen geldt:

$$\sin \alpha = \sin (180^\circ - \alpha) \text{ en } \cos \alpha = -\cos(180^\circ - \alpha)$$

Voor de hoeken in het derde kwadrant geldt:

$$\sin (180^\circ + \alpha) = -\sin \alpha \text{ en } \cos(180^\circ + \alpha) = -\cos \alpha$$

Voor hoeken in het vierde kwadrant geldt:

$$\sin (360^\circ - \alpha) = -\sin \alpha \text{ en } \cos(360^\circ - \alpha) = \cos \alpha$$

Voorbeeld.

Hiernaast is getekend de cirkel met middelpunt O

en straal 1, het punt A(1,0) en B($\frac{3}{5}$, $\frac{4}{5}$)

$\angle AOB = \alpha$

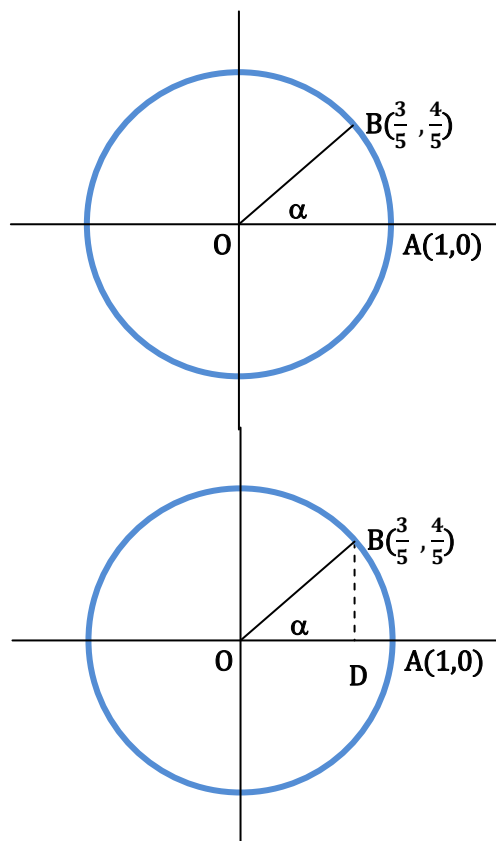
Bereken de grootte van α .

Om een rechthoekige driehoek te krijgen wordt een loodlijn getekend vanuit B op de as OA, hierbij ontstaat punt D.

OD is dan $\frac{3}{5}$ en BD is $\frac{4}{5}$

$$\sin \alpha = \frac{BD}{OB} = \frac{\frac{4}{5}}{1} = \frac{4}{5}$$

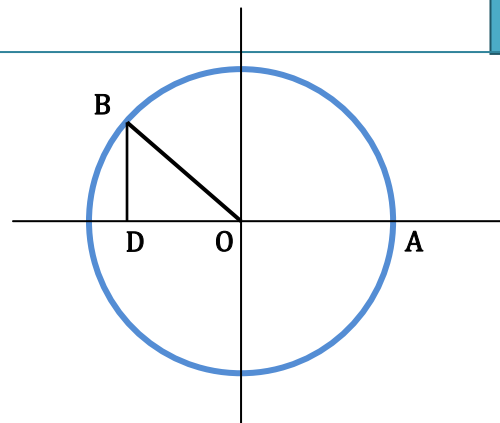
$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{4}{5}\right) = 53,1^\circ$$



Opgaven

13. Hiernaast is getekend de cirkel met middelpunt O en straal 1, het punt $A(1,0)$ en $B(-\frac{4}{5}, \frac{3}{5})$
 $\alpha = \angle AOB$

Bereken de grootte van α



2.5 Sinusregel

Goniometrie kunnen we ook gebruiken om de lengte van een lijn of de grootte van een hoek te berekenen in **niet-rechthoekige** driehoeken.

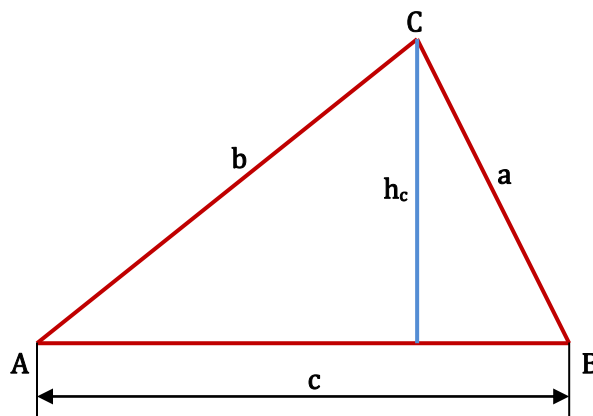
In de driehoek geldt:

$$\sin \angle A = \frac{h_c}{b} \quad \rightarrow \quad h_c = b \cdot \sin \angle A$$

$$\sin \angle B = \frac{h_c}{a} \quad \rightarrow \quad h_c = a \cdot \sin \angle B$$

Hieruit volgt:

$$a \cdot \sin \angle B = b \cdot \sin \angle A \quad \rightarrow \quad \frac{a}{\sin \angle A} = \frac{b}{\sin \angle B}$$



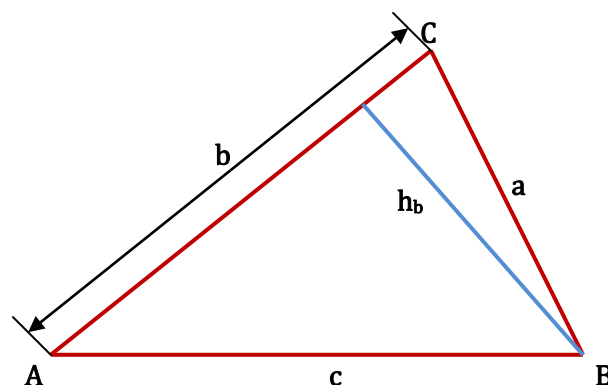
In de volgende driehoek geldt:

$$\sin \angle A = \frac{h_c}{c} \quad \rightarrow \quad h_c = c \cdot \sin \angle A$$

$$\sin \angle C = \frac{h_c}{a} \quad \rightarrow \quad h_c = a \cdot \sin \angle C$$

Hieruit volgt:

$$a \cdot \sin \angle C = c \cdot \sin \angle A \quad \rightarrow \quad \frac{a}{\sin \angle A} = \frac{c}{\sin \angle C}$$



Uit bovenstaande volgt de sinusregel:

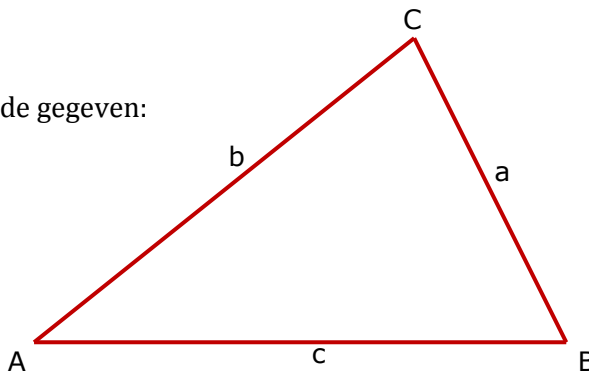
$$\frac{a}{\sin \angle A} = \frac{b}{\sin \angle B} = \frac{c}{\sin \angle C}$$

Goniometrie

Voorbeeld.

Van de driehoek is het volgende gegeven:

$$\begin{aligned}\angle A &= 38^\circ \\ \angle B &= 64^\circ \\ AB &= 15 \text{ cm}\end{aligned}$$



Bereken van deze driehoek de grootte van $\angle C$ en de lengten van de zijden AC en BC.

De som van de drie hoeken in een driehoek is 180°

$$\angle C = 180^\circ - 38^\circ - 64^\circ = 78^\circ$$

$$\frac{BC}{\sin \angle A} = \frac{AB}{\sin \angle C} \quad \rightarrow \quad \frac{BC}{\sin 38^\circ} = \frac{15}{\sin 78^\circ}$$

Kruislings vermenigvuldigen levert:

$$BC \cdot \sin 78^\circ = 15 \cdot \sin 38^\circ \quad \rightarrow \quad BC = \frac{15 \cdot \sin 38^\circ}{\sin 78^\circ} = 9,44 \text{ cm}$$

$$\frac{AC}{\sin \angle B} = \frac{AB}{\sin \angle C} \quad \rightarrow \quad \frac{AC}{\sin 64^\circ} = \frac{15}{\sin 78^\circ}$$

Kruislings vermenigvuldigen levert:

$$AC \cdot \sin 78^\circ = 15 \cdot \sin 64^\circ \quad \rightarrow \quad AC = \frac{15 \cdot \sin 64^\circ}{\sin 78^\circ} = 13,78 \text{ cm}$$

De sinusregel kan dus gebruikt worden als van een driehoek het volgende bekend is:

- Eén zijde en twee hoeken
- Twee zijden en een hoek tegenover één van die zijden

2.6 Cosinusregel

In driehoek ACD geldt volgens de wet van Pythagoras:

$$b^2 = h_c^2 + (c - x)^2$$

$(c-x)^2$ kan uitgewerkt worden tot:

$$(c - x)^2 = (c - x)(c - x) = c^2 - 2cx + x^2$$

Ingevuld in de wet van Pythagoras:

$$b^2 = h_c^2 + c^2 - 2cx + x^2$$

In driehoek BCD geldt volgens de wet van Pythagoras:

$$a^2 = h_c^2 + x^2 \quad \rightarrow \quad h_c^2 = a^2 - x^2$$

Vullen we dit in bij de vorige vergelijking dan wordt dat:

$$b^2 = a^2 - x^2 + c^2 - 2cx + x^2 = a^2 + c^2 - 2cx$$

Verder geldt in driehoek BDC:

$$\cos \angle B = \frac{x}{a} \quad \rightarrow \quad x = a \cdot \cos \angle B$$

Vullen we deze waarde van x in dat wordt de vergelijking:

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cdot \cos \angle B$$

Deze laatste regel wordt de **cosinusregel** genoemd.

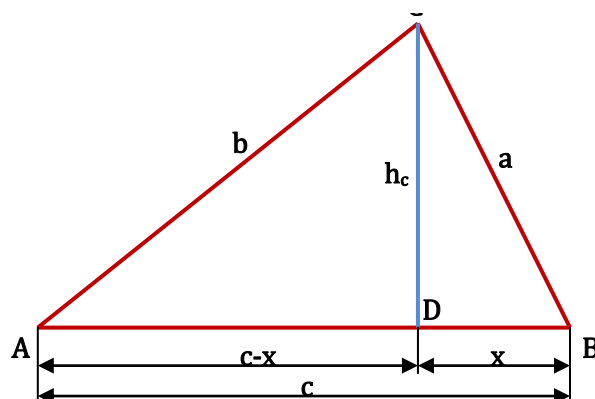
Andere vormen voor deze cosinusregel zijn:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \angle A$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \angle C$$

De cosinusregel kan dus gebruikt worden als van een driehoek het volgende bekend is:

- Twee zijden en de ingesloten hoek
- Drie zijden



Goniometrie

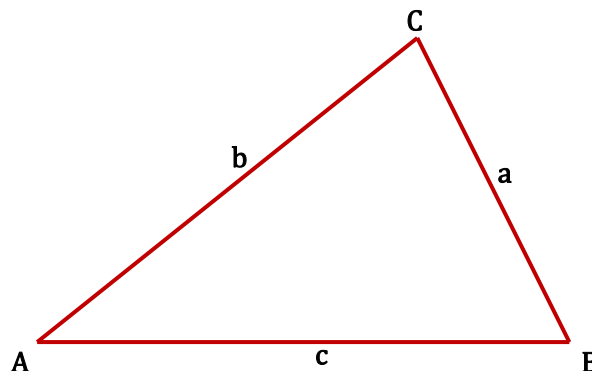
Voorbeeld

Van een driehoek ABC is gegeven:

$$\angle A = 38^\circ$$

$$c = 15 \text{ cm}$$

$$b = 14 \text{ cm}$$



Bereken van deze driehoek de grootte van $\angle B$ en $\angle C$ en de lengte van zijde a.

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \angle A$$

$$a^2 = 14^2 + 15^2 - 2 \cdot 14 \cdot 15 \cdot \cos 38^\circ = 196 + 225 - 331 = 90$$

$$a = \sqrt{90} = 9,5 \text{ cm}$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cdot \cos \angle B$$

$$14^2 = 9,5^2 + 15^2 - 2 \cdot 9,5 \cdot 15 \cdot \cos \angle B$$

$$196 = 90,25 + 225 - 285 \cdot \cos \angle B$$

$$\cos \angle B = \frac{196 - 90,25 - 225}{-285} = 0,418$$

$$\angle B = \cos^{-1}(0,418) = 65,3^\circ$$

$$\angle C = 180^\circ - \angle A - \angle B = 180^\circ - 38^\circ - 65,3^\circ = 76,7^\circ$$

Opgaven

14. Van driehoek ABC is gegeven:

$$\angle A = 60^\circ$$

$$\angle B = 40^\circ$$

$$c = 4$$

Bereken in twee decimalen nauwkeurig de zijde b.

15. Van driehoek ABC is gegeven:

$$a = 7$$

$$b = 6$$

$$c = 5$$

Bereken $\cos \angle A$.

16. Gegeven is driehoek ABC met $\angle A = 50^\circ$, $\angle B = 25^\circ$ en $BC = 7$

Bereken de lengte van AC.

17. De hoeken van een driehoek zijn 45° , 60° en 75° .

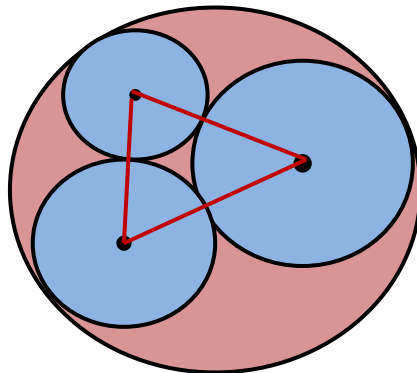
De lengte van de kleinste zijde is 10 cm en de lengte van de grootste zijde is p cm.

Bereken p.

18. Gegeven is een tekening van een ondergrondse kabel. De aders zijn verschillend van dikte. Bij het verbinden van de middelpunten van de aders ontstaat een driehoek

De gegevens zijn: $R_1 = 7$ mm; $R_2 = 9,5$ mm en $R_3 = 10,5$ mm

Bereken de grootste hoek van de driehoek.



Krachten

3



3 Krachten

3.1 Inleiding

Het is een gewoonte om de krachten zo te benoemen dat we de invloed van de kracht op een voorwerp duidelijk kunnen voorstellen.

Krachten zijn niet zichtbaar, maar de gevolgen van een kracht meestal wel.

Wanneer een kracht werkt op een voorwerp heeft dit als gevolg :

- het voorwerp komt vanuit stilstand in beweging
- het voorwerp komt vanuit beweging tot stilstand
- het voorwerp blijft met dezelfde snelheid bewegen
- het voorwerp gaat versnellen
- het voorwerp gaat vertragen
- het voorwerp ondergaat een blijvende vormverandering
- het voorwerp ondergaat een tijdelijke vormverandering

Een voorwerp zal dus niet zonder meer in beweging komen. Er zal tegenaan moeten worden geschopt, getrokken, geblazen of iets degelijks.

Een bekend voorbeeld is de verandering van beweging van een voetbal als er tegenaan wordt geschopt. De kracht tegen de voetbal zorgt voor de beweging van de voetbal.



Het symbool voor kracht F en de eenheid is newton N .

Een kracht moet toch vaak worden voorgesteld in een tekening. Dit gebeurt dan met behulp van een vector.

Een vector is een lijnstuk met een pijl en een aangrijpingspunt.

Als je een vector wilt tekenen heb je een aantal gegevens nodig:

- het aangrijpingspunt van de kracht (het beginpunt van de pijl)
- de richting van de kracht (de stand van de pijl)
- de grootte van de kracht (de lengte van de pijl)



De stippellijn waar de kracht (vector) zich op bevindt noemt men de **werklijn** van de kracht. De kracht mag altijd op zijn werklijn verplaatst worden.

Krachten

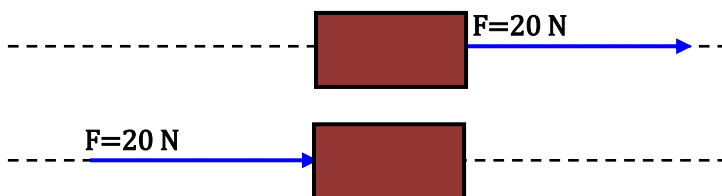
Een kracht wordt altijd op een voorwerp uitgeoefend. Bijvoorbeeld de duwkracht op een tafel die verschoven moet worden of de trekkracht die een lamp op het plafond uitoefent. De kracht heeft een **aangrijpingspunt**.

De kracht heeft een bepaalde richting in zijn werking. Afhankelijk van die werking gaat de deur van een koelkast open of dicht. De kracht heeft dus een **richting**.

We kunnen de deur van de auto normaal dicht doen of met een grote kracht dichtslaan. De kracht heeft een **grootte**.

Als we aan een touw trekken dat aan een muur is bevestigd, wordt de kracht via het touw overgebracht naar de muur. Het maakt voor de muur niets uit of het touw nu lang of kort is. De kracht heeft een werklijn en mag op die werklijn worden verplaatst.

In de volgende tekening is de kracht op zijn werklijn verplaatst.



Als we een kracht in een figuur willen aangeven, moeten we gebruik maken van een krachtenschaal.

Staat bij een tekening dat de krachtenschaal : $1 \text{ cm} = 100 \text{ N}$
dan betekent dit dat :

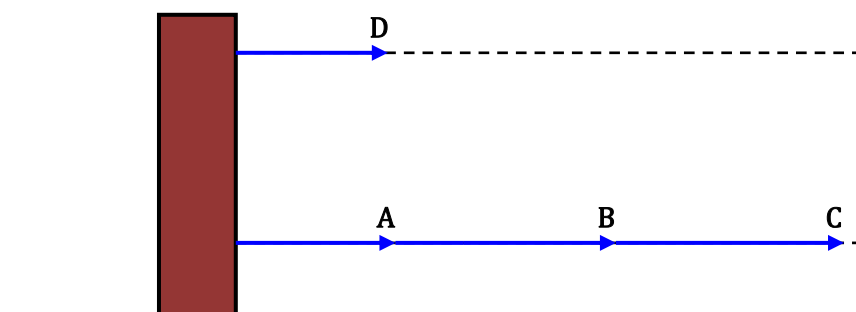
1 cm lengte van de vector overeenkomt met een kracht van:
 $1 \times 100 \text{ N} = 100 \text{ N}$

5 cm lengte van de vector overeenkomt met een kracht van:
 $5 \times 100 \text{ N} = 500 \text{ N}$

Het aangrijpingspunt van een kracht mag men willekeurig op de werklijn kiezen, maar niet daarbuiten, want dan zou de beweging veranderen.

Krachten

Trekt men bijvoorbeeld een voorwerp over een horizontaal vlak voort aan een touw, dan zal het er niet toe doen of men dit bij A, B of C vastpakt (zie onderstaande tekening).



Maar anders wordt het geval, als het touw bij D is vastgemaakt. Het voorwerp zal waarschijnlijk omver worden getrokken, zodat een geheel andere beweging ontstaat.

Opgaven.

1. Maak onderstaande tabel compleet. Neem de tabel over in een werkboek.

kracht	krachtenschaal	pijlengte
150 N	1 cm = 15 N	
300 N	1 cm = 50 N	
8 kN		4 cm
200 N		5 cm
	1 cm = 150 N	5 cm
	1 cm = 60 N	2,5 cm
750 N	1 cm = 50 N	
0,8 N		4 cm
4,5 kN	1 cm = 1000 N	
1000 N		2,5 cm

2. Door welke drie gegevens wordt een kracht bepaald?

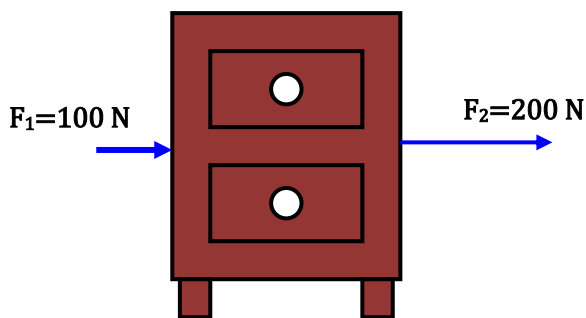
3.2 Resultante

Hoeveel krachten er ook op een voorwerp werken, we zien alleen **het totale resultaat**. Dit is in de praktijk ook het enige belangrijke. De ene kracht die een aantal andere krachten kan vervangen en hetzelfde resultaat te zien geeft, noemen we de **resultante** (F_R).

Bij het bepalen van de resultante onderscheiden we de volgende gevallen :

Twee in dezelfde richting werkende krachten op dezelfde werklijn.

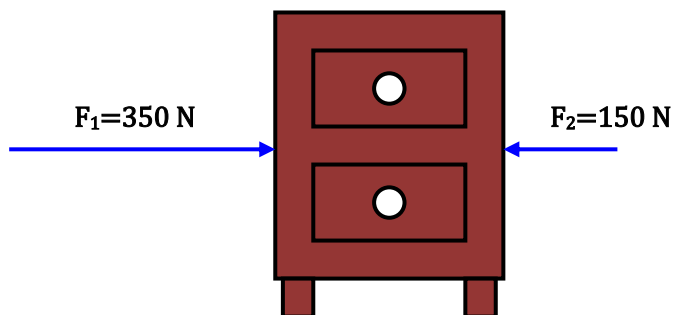
De resultante is dan de som van de afzonderlijke krachten, terwijl de richting hetzelfde blijft.



Het resultaat in dit voorbeeld is $F_R = F_1 + F_2 = 100 + 200 = 300\text{ N}$ en heeft een richting naar rechts.

Twee in tegengestelde richting werkende krachten op dezelfde werklijn.

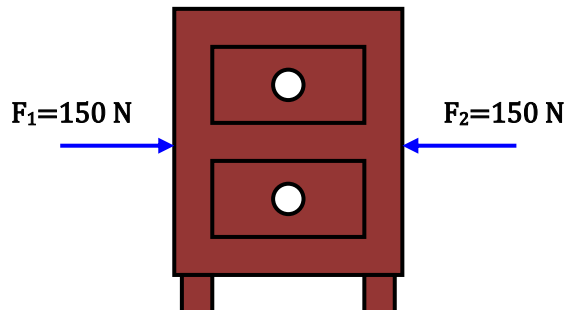
De resultante is het verschil van de afzonderlijk krachten, terwijl de richting van de resultante dezelfde is als de richting van de grootste kracht.



Het resultaat in dit voorbeeld is $F_R = F_1 - F_2 = 350 - 150 = 200\text{ N}$ en heeft een richting naar rechts.

Krachten

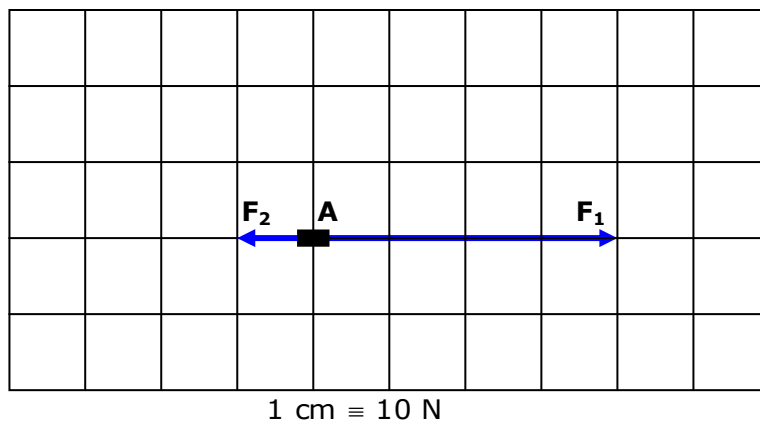
Krachten kunnen elkaars werking ook geheel opheffen. Dat is het geval als twee krachten even groot zijn en tegengesteld gericht langs dezelfde werklijn werken



De resultante $F_R = 0 \text{ N}$

Opgaven.

- Op een kist werkt naar rechts een kracht van 350 N en naar links een kracht van 180 N. Bereken de resultante.
- Op een voorwerp A werken twee krachten F_1 en F_2 .



- Teken de resultante.
 - Bereken de resultante
- Op een auto wordt door de motor een kracht op de wielen uitgeoefend van 750 N. De wrijvingskracht van de banden met het wegdek bedraagt 600 N. Bereken de aandrijvende kracht.

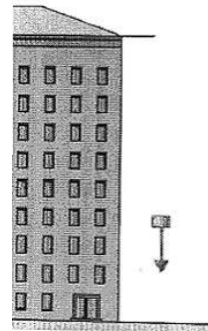
6. Op een voorwerp werken 3 krachten langs dezelfde werklijn.
 $F_1 = 800 \text{ N}$ en $F_2 = 3 \text{ kN}$ beide naar rechts.
 $F_3 = 4000 \text{ N}$ naar links.
Bereken de resultante.

3.3 Soorten krachten.

Uit het feit dat ten gevolge van een kracht een snelheid kan ontstaan of veranderen kan het bestaan van verschillende krachten aangetoond worden.

3.3.1 zwaartekracht.

Als een steen boven de grond wordt losgelaten, valt deze naar beneden.
Er ontstaat snelheid.
Er werkt dus een kracht: de zwaartekracht F_z .



3.3.2 spierkracht.

Als men een speer vastpakt en weggooit, krijgt deze speer een snelheid.
Er werkt dus een kracht: de spierkracht F_{sp} .



Krachten

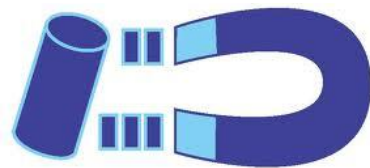
3.3.3 elektrische kracht

Als een kunststof staaf met een wollen doek wordt gewreven, trekt deze staaf papiersnippers aan. De snippers krijgen snelheid. Er werkt dus een kracht: de elektrische kracht F_{el} .



3.3.4 magnetische kracht

Het voorwerp krijgt een snelheid naar de magneet toe. Er werkt dus een kracht: de magnetische kracht F_{mag} .



3.3.5 veerkracht

Een pijl staat op een gespannen pees van een boog. Als de pijl wordt losgelaten schiet de pijl weg. De oorzaak van de snelheid van de pijl is een kracht: de veerkracht F_v . Elk voorwerp dat van vorm verandert, geeft een veerkracht. Voorbeelden zijn de bufferveren van een trein en een bal tegen een muur.



3.3.6 wrijvingskracht

Als men tijdens het stappen stopt met trappen, komt men binnen de kortste keren tot stilstand. Deze verandering van de snelheid wordt toegeschreven aan een kracht die optreedt bij het contact tussen de band en het wegdek. Deze kracht wordt de wrijvingskracht F_w genoemd.

De wrijvingskracht treedt altijd op als twee voorwerpen met verschillende snelheden langs elkaar bewegen. De wrijvingskracht werkt altijd tegengesteld aan de bewegingsrichting. Het gevolg van de wrijvingskracht is dat de snelheid van het voorwerp afneemt.



Er nog veel meer andere krachten, dan alleen die hier boven genoemd zijn.
Denk maar windkracht, atoomkracht, trekkracht, duwkracht, enz.

3.4 Versnelling

Als een kracht op een voorwerp werkt, dan krijgt dat voorwerp een snelheidsverandering. De Engelse natuurkundige Isaac Newton heeft dat geformuleerd als:

Als op een voorwerp maar één kracht werkt, verandert de snelheid van dat voorwerp in grootte en/of richting.

Uit deze formulering kan dan de definitie van kracht worden afgeleid:

Eén Newton is de kracht die aan een al of niet stilliggend voorwerp met een massa van 1 kg in 1 seconde een snelheidsverandering geeft van 1 m/s².

Deze snelheidsverandering per seconde wordt **versnelling** genoemd.

Neemt de snelheid van een voorwerp in 1 seconde toe met 1 meter per seconde dan is de versnelling 1 meter per seconde kwadraat (m/s²)

Het symbool voor de versnelling is a en de eenheid m/s².

De versnelling die een voorwerp ondervindt kan positief of negatief zijn.

Een positieve versnelling betekent dat het voorwerp een groter snelheid krijgt. Bij een negatieve versnelling neemt de snelheid van het voorwerp af.

Negatieve versnellingen worden ook wel vertragingen genoemd en worden veroorzaakt door krachten die tegengesteld aan de bewegingsrichting werken, zoals de wrijvingskrachten.

Voorbeeld.

Een voorwerp krijgt in 7 seconde een snelheidsverandering van 28 m/s.

Bereken de versnelling.

Per 7 seconde neemt de snelheid 28 m/s toe.

Per 1 seconde neemt de snelheid $\frac{28}{7} = 4$ m/s toe.

De versnelling $a = 4$ m/s²

Een kracht van één Newton geeft aan een massa van 1 kg een versnelling van 1 m/s²

Een grotere kracht geeft een grotere versnelling.

Een kracht van 7 N geeft dus aan een massa van 1 kg een versnelling van 7 m/s².

Een grotere massa krijgt moeilijker een snelheidsverandering, dus een grotere massa geeft een kleinere versnelling.

Krachten

Een kracht van 1 N geeft aan een massa van 5 kg een versnelling van $\frac{1}{5}$ m/s².

Dit geeft in formule:

$$F = m \cdot a$$

Hierin is

F	=	de kracht die op het voorwerp werkt, in N
m	=	de massa van het voorwerp, in kg
a	=	de versnelling, in m/s ²

Voorbeeld.

Een kast met een massa van 150 kg moet verplaatst worden.

De kracht F waarmee getrokken wordt is 300 N.

Bereken de versnelling die de kast krijgt.

$$F = m \cdot a \quad \rightarrow \quad a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{300}{150} = 2 \text{ m/s}^2$$

De aarde oefent op elk voorwerp op aarde een aantrekkende kracht uit. Dit wordt de zwaartekracht F_z genoemd.

In het luchtledige vallen alle voorwerpen even snel en krijgen dan een versnelling g.

De valversnelling g wordt ook wel de **gravitatieconstante** genoemd.

Een voorwerp met massa m ondervindt een zwaartekracht van:

$$F_z = m \cdot g$$

Hierin is

F_z	=	de zwaartekracht die op het voorwerp werkt, in N
m	=	de massa van het voorwerp, in kg
g	=	de gravitatieconstante, in m/s ²

De valversnelling is in Nederland 9,813 m/s²

De grootte van g is variabel. Aan de beide polen is de waarde het grootst en aan de evenaar het kleinst.

In het algemeen gebruiken we voor de valversnelling de waarde 10 m/s².

Dit betekent dat een voorwerp per seconde een snelheidstoename van 10 m/s krijgt.

Krachten

Voorbeeld.

Een stilliggend voorwerp valt gedurende 7 seconden.

Wat is de snelheid na die 7 seconden?

Per seconde neemt de snelheid met 10 m/s toe.

Na 7 seconden is de snelheid met $7 \times 10 = 70$ m/s toegenomen.

De snelheid na 7 seconden is dus 70 m/s.

Voorbeeld

Een man weegt 85 kg. Daarmee wordt bedoeld dat de massa van de man 85 kg is.

Wat is de zwaartekracht die deze man ondervindt?

$$F_z = m \cdot g = 85 \cdot 9,813 = 834,105 \text{ N}$$

Er zijn in werkelijkheid maar weinig situaties te noemen waarbij er maar één kracht werkt op een voorwerp. Meestal werken er een aantal krachten tegelijkertijd. De resultante van die krachten bepaald in dit geval dan de versnelling die het voorwerp krijgt.

Voorbeeld.

Een fietser met een massa van 50 kg rijdt op zijn fiets. De fiets heeft een massa van 10 kg.

De kracht die wordt uitgeoefend op de trappers bedraagt 90 N.

Er is een wrijvingskracht van 60 N.

Welke versnelling krijgt die fietser?

$$F_R = F - F_{\text{wrijving}} = 90 - 60 = 30 \text{ N}$$

$$m_{\text{totaal}} = m_{\text{fietser}} + m_{\text{fiets}} = 50 + 10 = 60 \text{ kg}$$

$$a = \frac{F_R}{m} = \frac{30}{60} = 0,5 \text{ m/s}^2$$

3.5 Reactiekracht

Als een voorwerp A een kracht uitoefent op een ander voorwerp B, dan zal voorwerp B een even grote, maar tegengestelde kracht uitoefenen op voorwerp A.

We kennen deze wet als 'actie = reactie'.

Dit betekent dat er altijd een reactiekracht optreedt als er een kracht wordt uitgeoefend.

Deze reactiekracht is in grootte gelijk aan de actiekracht maar tegengesteld van richting.

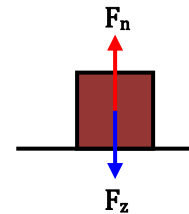
Als een voorwerp op de grond wordt gezet, oefent het voorwerp een kracht uit op de grond, omdat de aarde aan het voorwerp blijft trekken.

De grond gaat tegelijkertijd een even grote kracht uitoefenen op het voorwerp.

Dit wordt de **normaalkracht** genoemd.

Normaal betekent loodrecht. De kracht die een voorwerp ondervindt van een ondergrond, staat namelijk loodrecht op die ondergrond.

Ligt het voorwerp op een horizontaal vlak dan is $F_n = F_z$



Voorbeeld.

Een skateboarder met een massa van 55 kg duwt met een kracht van 100 N tegen een muur. Bereken de reactiekracht en de versnelling.

$$F_{\text{actie}} = -F_{\text{reactie}}$$

$$100 = -F_{\text{reactie}}$$

$$F_{\text{reactie}} = -100 \text{ N (richting: van de muur af gericht)}$$

$$a = \frac{F_{\text{reactie}}}{m} = \frac{-100}{50} = -2 \text{ m/s}^2 \quad (\text{richting: van de af muur gericht})$$

Opgaven.

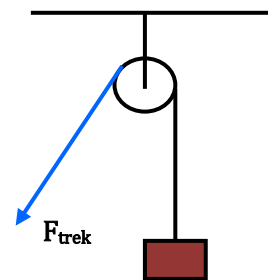
5.
 - a. Noem een vijftal soorten krachten.
 - b. Hoe ontstaat veerkracht?
 - c. Hoe ontstaat wrijvingskracht?

6. Een auto rijdt 72 km/h. De auto remt in 5 seconden tot stilstand. Bereken de vertraging.

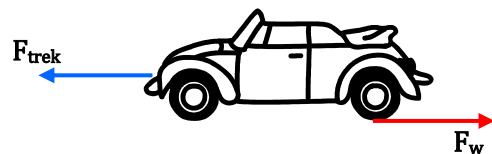
Krachten

7. Een steen met een massa van 600 g valt gedurende 4 seconden. Wat wordt de snelheid van de steen?
8. Een parachutist heeft (samen met zijn parachute) een massa van 88 kg. De opwaartse kracht en de wrijvingskracht omhoog zijn samen 800 N. Welke versnelling krijgt de parachutist en hoe is deze gericht?
9. Bereken de versnelling die een voorwerp van 0,5 kg krijgt als er een kracht opwerkt van 8 N.

10. Men een katrol wordt een last met een massa van 15 kg omhoog gehesen. De trekkracht is 195 N. Als de wrijving kan worden verwaarloosd, wat is dan de versnelling waarmee die last omhoog gaat?

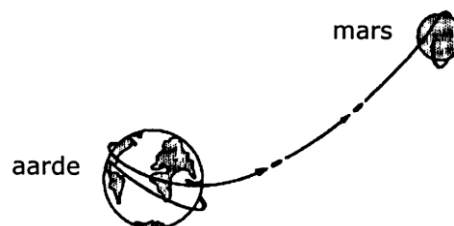


11. Een auto ondervindt een wrijvingskracht van 120 N. De massa van de auto bedraagt 800 kg. De auto rijdt met een constante snelheid. Hoe groot is de trekkracht?



12. De valversnelling op de maan bedraagt $1,6 \text{ m/s}^2$. Bereken de zwaartekracht op een steen van 2 kg op de maan.

13. Een astronaut met een massa van 80 kg reist van de aarde naar mars. Op aarde is de valversnelling $9,83 \text{ m/s}^2$ en op mars $3,74 \text{ m/s}^2$. Bereken de zwaartekracht op de astronaut op aarde en op mars.



Krachten

14. Op de maan geldt een andere valversnelling, de waarde voor g bedraagt hier $1,63 \text{ m/s}^2$.
- Wat 'weegt' de man uit de vorige opgave op de maan.
 - Waarom is 'hij weegt 85 kg ' eigenlijk een verkeerde uitdrukking?
 - Wat kan er gezegd worden over de massa van deze persoon als een vergelijking gemaakt wordt tussen 'aardse' en 'maanse' omstandigheden?
15. Op de grond ligt een massa van 7 kg met daar bovenop een massa van 5 kg .
- Bereken de resulterende F_z .
 - Bereken de resulterende F_n van de grond.
16. Een staalkabel is opgebouwd uit 20 gevlochten staaldraden. Aan de staalkabel hangt een massa van 120 kg .
Bereken de trekkracht in één staaldraad.
17. Een meisje met een massa van 60 kg staat op rolschaatsen en duwt met een kracht van 90 N tegen een muur.
- Hoe groot is de reactiekracht van de muur?
 - Bereken de versnelling waarmee het meisje op rolschaatsen van de muur afgaat.



3.6 Samenstellen van krachten

Als krachten verschillende werklijnen hebben, kan men ze samenstellen met behulp van de **parallellogram-constructie**.

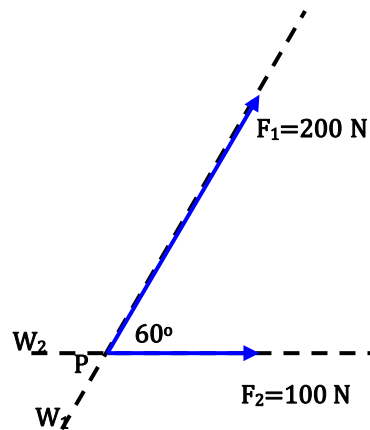
Voorbeeld.

Op een voorwerp met een massa van 53 kg werken twee krachten ($F_1 = 200 \text{ N}$ en $F_2 = 100 \text{ N}$) onder een hoek van 60° met elkaar.

Hoe groot is de resulterende kracht F_R en welke versnelling krijgt het voorwerp.

Vanuit het punt P van het voorwerp worden de krachten F_1 en F_2 op schaal op de werklijnen getekend. De werklijn van kracht F_1 wordt W_1 genoemd en de werklijn van kracht F_2 wordt W_2 genoemd.

De krachten schaal bedraagt $1 \text{ cm} = 50 \text{ N}$.



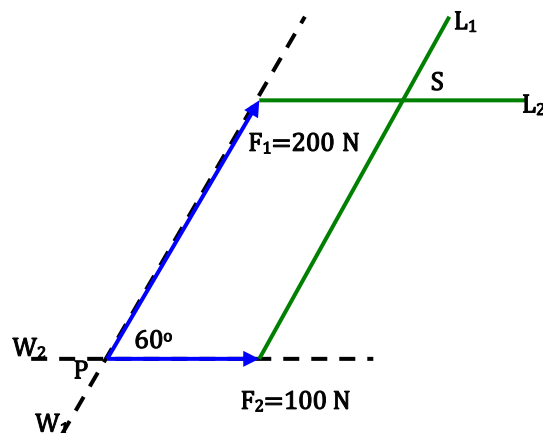
Nu moet een lijn getekend worden evenwijdig aan W_2 vanuit de pijlpunt van F_1 .

Dit wordt de lijn L_2 .

Dit doen we ook evenwijdig aan W_1 vanuit de pijlpunt van F_2 .

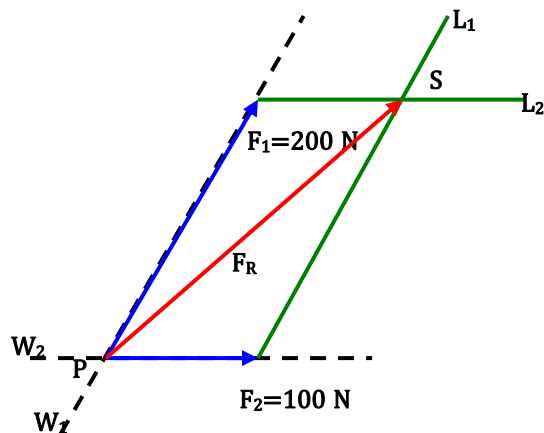
Dit wordt de lijn L_1 .

Er ontstaat nu het snijpunt S.



Krachten

Nu wordt de lijn PS getrokken. Dit wordt de resultante F_R genoemd.



De lengte van de lijn PS kan nu gemeten worden.
De lengte van de lijn bedraagt 5,3 cm.

Met behulp van de krachtenschaal is dan de grootte van F_R te berekenen:

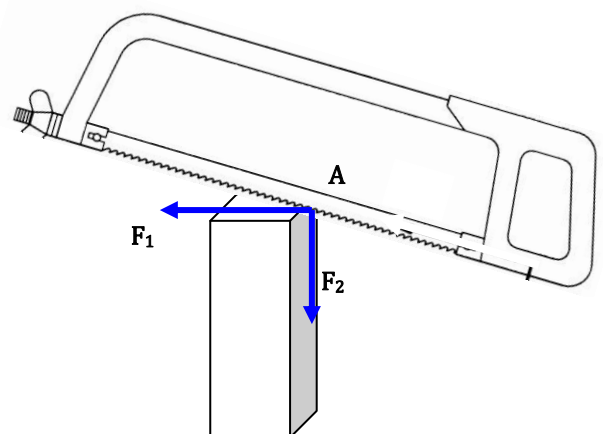
$$5,3 \text{ cm} \times 50 \text{ N} = 265 \text{ N} \rightarrow F_R = 265 \text{ N}$$

De versnelling die het voorwerp krijgt is dan:

$$a = \frac{F_R}{m} = \frac{265}{53} = 5 \text{ m/s}^2$$

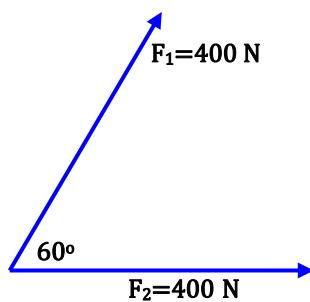
Opgaven.

18. Op een punt A van een handzaag werken twee krachten:
 $F_1 = 80 \text{ N}$
 $F_2 = 60 \text{ N}$
Bepaal door een parallellogramconstructie de grootte van de resulterende kracht.

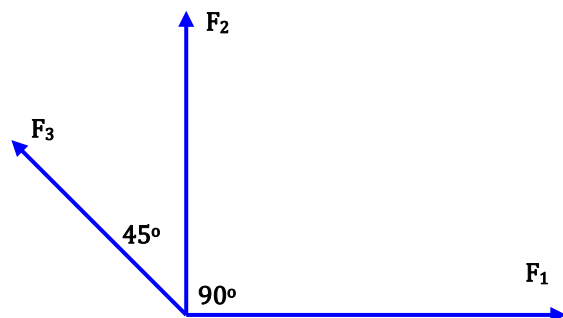


Krachten

19. Bepaal de resultante van de twee krachten. Kies een krachtenschaal en maak eerst een tekening.
Meet de resultante op en reken deze met behulp van de gekozen krachtenschaal om.
- $F_1 = 10 \text{ N}$ horizontaal naar rechts en $F_2 = 20 \text{ N}$ verticaal naar beneden
 - $F_1 = 3 \text{ N}$ verticaal omhoog en $F_2 = 6 \text{ N}$ horizontaal naar links
20. Bepaal de resultante van de volgende twee krachten.
 $F_1 = 400 \text{ N}$ en $F_2 = 400 \text{ N}$

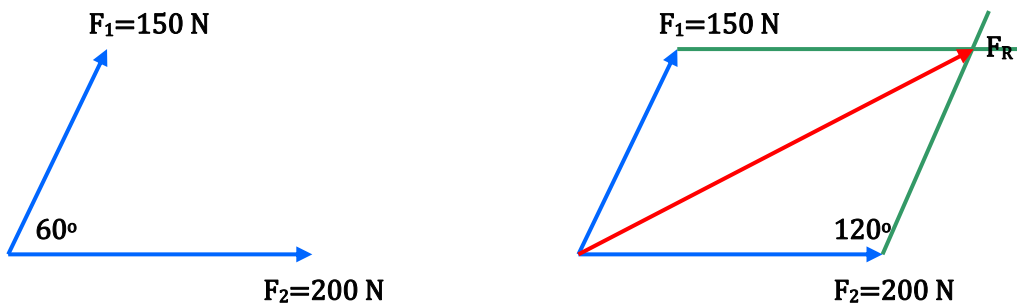


21. Op punt A werken 3 krachten:
 $F_1 = 10 \text{ N}$
 $F_2 = 8 \text{ N}$
 $F_3 = 6 \text{ N}$
- Teken F_R op schaal.
 $1 \text{ cm} = 2,5 \text{ N}$
 - Bereken F_R door middel van meten en omrekenen



3.7 Berekening van de grootte van de resultante.

Hoe groot is F_R van onderstaande krachten?

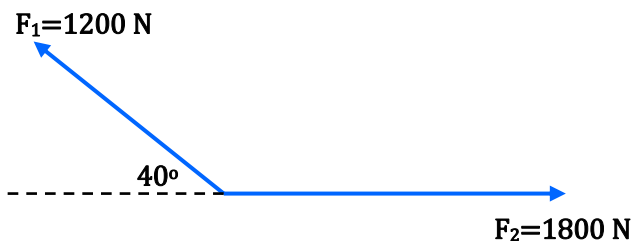


Om de grootte van de resultante te berekenen maken we gebruik van de cosinusregel.

$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos 120^\circ = 150^2 + 200^2 - 2 \cdot 150 \cdot 200 \cdot \cos 120^\circ$$
$$F_R = \sqrt{22500 + 40000 + 30000} = 304,1 \text{ N}$$

Opgaven.

22. Bereken de grootte van F_R .



23. Twee even grote krachten maken een hoek van 70° met elkaar. Hoe groot zijn beide krachten wanneer de resultante 36 N bedraagt?

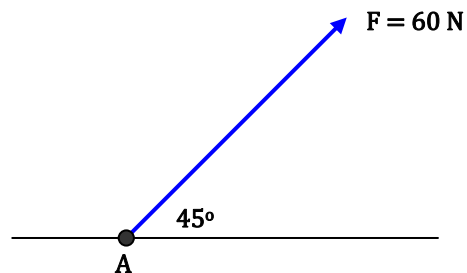
3.8 Ontbinden van krachten.

Als twee krachten kunnen worden samengesteld tot één kracht dan is het omgekeerde ook mogelijk.

Dat wil zeggen dat één kracht ontbonden kan worden in twee andere krachten. Ook hier wordt gebruik gemaakt van de parallellogram-constructie.

Voorbeeld.

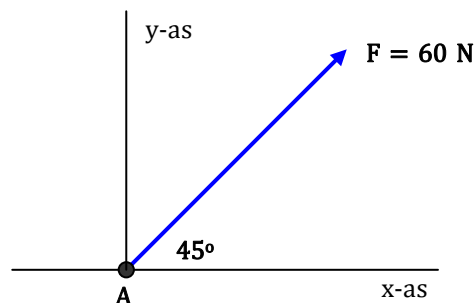
Op een punt A werkt een kracht van 60 N onder een hoek van 45° schuin omhoog. Wat is het resultaat van deze kracht in horizontale richting?



1 cm = 15 N

De richting waarlangs het resultaat werkt noemen we de x-as.

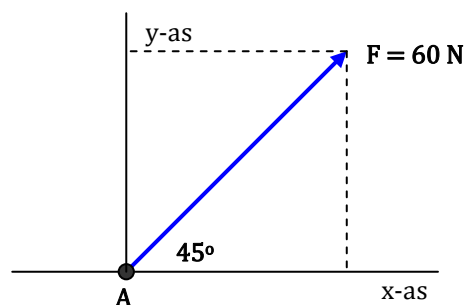
De lijn daar loodrecht op wordt de y-as genoemd.



Trek vanuit de punt van de krachtenpijl een stippellijn loodrecht op de x-as.

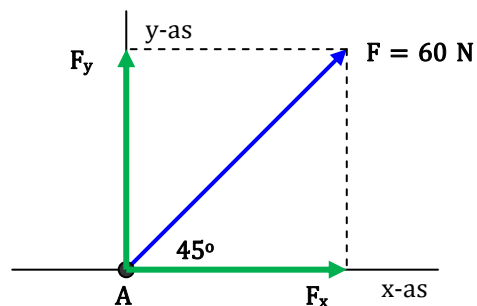
Trek vanuit de punt van de krachtenpijl een stippellijn loodrecht op de y-as.

Het parallellogram is nu getekend.



Krachten

Teken nu de krachten F_x en F_y waarin $F = 80 \text{ N}$ ontbonden kan worden.



De grootte van F_x en F_y wordt bepaald door te meten en met behulp van de krachten schaal om te rekenen.

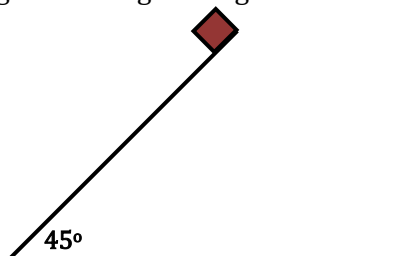
$$F_x = 2,8 \text{ cm} \text{ dus } F_x = 2,8 \times 15 = 42 \text{ N}$$

$$F_y = 2,8 \text{ cm} \text{ dus } F_y = 2,8 \times 15 = 42 \text{ N}$$

Voorbeeld.

Op helling van 45° ligt een voorwerp met een massa van 80 kg .

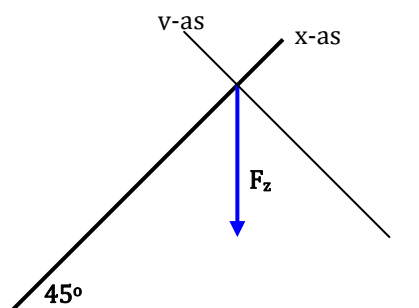
Hoe groot is de kracht die langs de helling omlaag werkt?



Op het voorwerp met een massa van 80 kg werkt een zwaartekracht F_z van 800 N

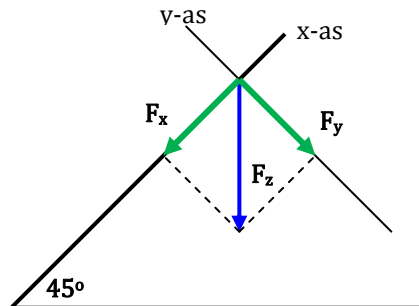
De helling wordt als x-as gekozen en de y-as staat dan loodrecht op de helling.

$$1 \text{ cm} = 400 \text{ N}$$



Krachten

Laat vanuit de pijlpunt weer loodlijnen neer op de x-as en de y-as.
Het parallellogram is nu weer getekend.
Teken F_x en F_y daarin.



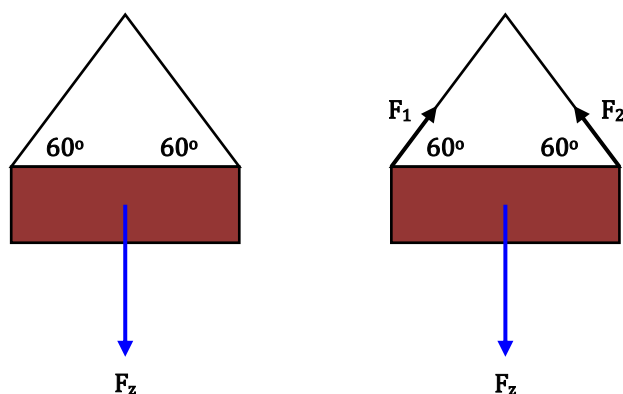
De grootte van F_x en F_y wordt bepaald door te meten en met behulp van de krachten schaal om te rekenen.

$$F_x = 1,4 \text{ cm} \text{ dus } F_x = 1,4 \times 400 = 560 \text{ N}$$
$$F_y = 1,4 \text{ cm} \text{ dus } F_y = 1,4 \times 400 = 560 \text{ N}$$

Voorbeeld.

Een voorwerp met een massa van 100 kg hangt aan twee kabels.
Bepaal de trekkracht in de kabels.

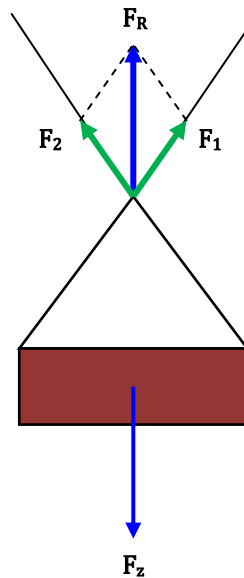
Op het voorwerp werkt de zwaartekracht $F_z = 1000 \text{ N}$
Omdat het voorwerp in evenwicht is, werken in de kabels twee trekkrachten F_1 en F_2 omhoog.
Samen houden deze F_z in evenwicht.



$$1 \text{ cm} = 500 \text{ N}$$

Krachten

Verplaats de trekkrachten F_1 en F_2 langs hun werklijnen naar het snijpunt van de werklijnen.
De resultante van F_1 en F_2 wordt bepaald met de parallellogram-constructie.
Deze resultante F_R moet even groot zijn als F_z en recht omhoog gericht.

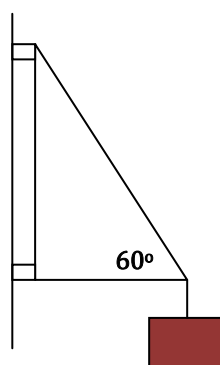


De grootte van F_1 en F_2 wordt bepaald door te meten en met behulp van de krachten schaal om te rekenen.

$$F_1 = 1,2 \text{ cm dus } F_1 = 1,2 \times 500 = 600 \text{ N}$$
$$F_2 = 1,2 \text{ cm dus } F_2 = 1,2 \times 500 = 600 \text{ N}$$

Voorbeeld.

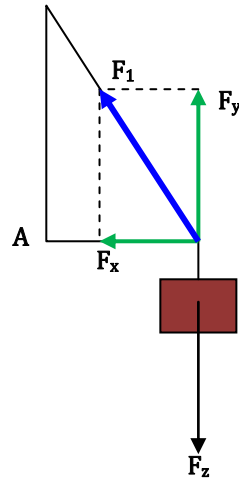
Aan een wandkraan hangt een voorwerp met een massa van 200 kg.
Bepaal de krachten F_1 en F_2 in de staven.



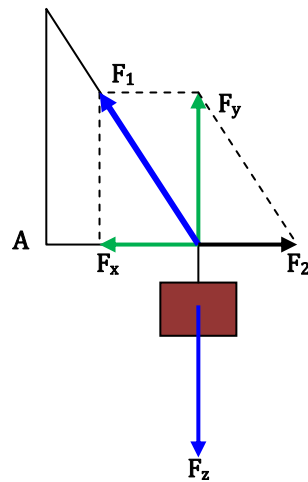
$$1 \text{ cm} = 1000 \text{ N}$$

Krachten

F_1 is een trekkracht omhoog in de staaf. Deze kan ontbonden worden in F_x en F_y .
 F_y compenseert F_z en is dus 2000 N.
 F_x duwt punt A in de muur.



De muur geeft een reactiekracht. Deze reactiekracht F_2 is in de staaf van de muur af gericht en is gelijk aan F_x



De grootte van F_1 en F_2 wordt bepaald door te meten en met behulp van de krachten schaal om te rekenen.

$$F_1 = 2,4 \text{ cm} \text{ dus } F_1 = 2,4 \times 1000 = 2400 \text{ N}$$

$$F_2 = 1,2 \text{ cm} \text{ dus } F_2 = 1,2 \times 1000 = 1200 \text{ N}$$

Krachten

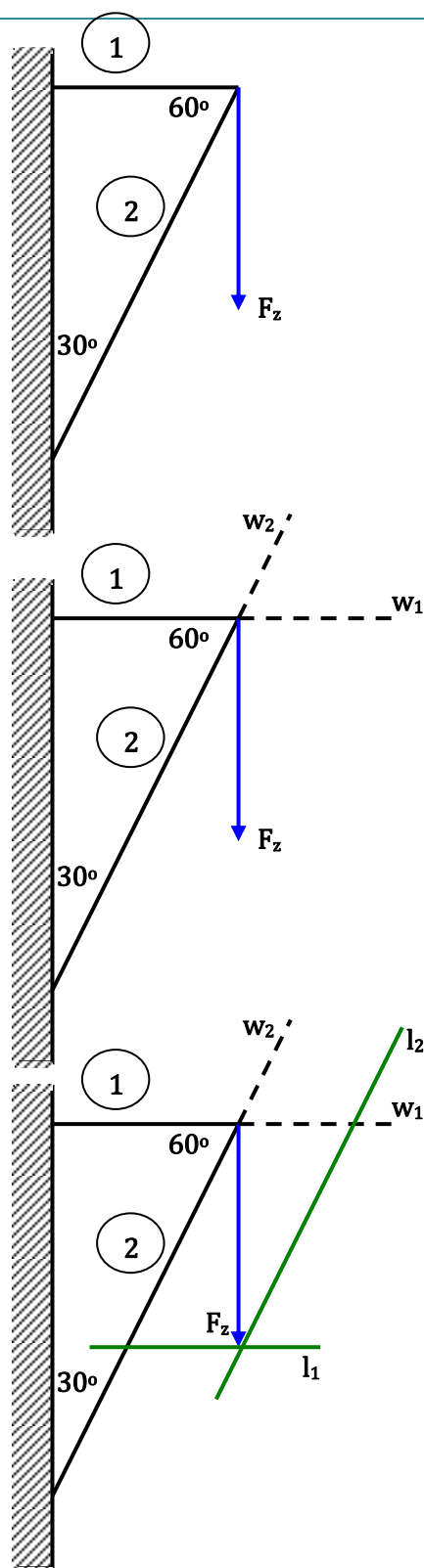
Voorbeeld van een berekening.
Een wandkraan zoals is afgebeeld,
wordt belast door een gewicht van 600 N.

Hoe groot zijn de krachten die
op de twee stangen werken?

We gaan de gegeven kracht F_z
ontbinden in twee krachten
(componenten) F_1 en F_2 ,
die werken volgens de staven 1 en 2.
De twee staven zijn dus eigenlijk
de twee werklijnen van de twee
componenten F_1 en F_2 .

Teken nu de hulplijnen l_1 en l_2
door de pijlpunt van F_z en wel zo dat :

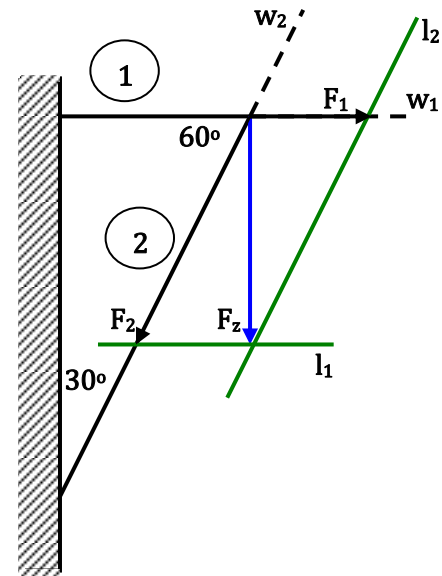
- l_1 evenwijdig is aan w_1
- l_2 evenwijdig is aan w_2



Krachten

De snijpunten van l_1 en w_2 geeft de pijlpunt aan van de component F_2 in stang 2 en het snijpunt van l_2 en w_1 is het pijlpunt van de component F_1 in stang 1

Uit de tekening is te zien dat F_1 een **trekkracht** is en F_2 een **drukkracht**.



Voor de berekening van de grootte van de componenten maken we gebruik van de volgende driehoek uit bovenstaande tekening:

Dit is een rechthoekige driehoek met hoeken van 30° , 60° en 90° .

De verhoudingen van de zijden van deze driehoek is: $1 : \sqrt{3} : 2$

De grootte van de verschillende componenten F_1 en F_2 kan dan berekend worden:

$$F_1 = \frac{F_z}{\sqrt{3}} = \frac{600}{\sqrt{3}} = 346,4 \text{ N}$$

$$F_2 = 2 \cdot F_1 = 2 \cdot 346,4 = 692,8 \text{ N}$$

Een andere mogelijkheid was het gebruik van de sinusregel.

$$\frac{F_z}{\sin 60^\circ} = \frac{F_1}{\sin 30^\circ} \quad \rightarrow \quad \frac{600}{\sin 60^\circ} = \frac{F_1}{\sin 30^\circ}$$

$$F_1 = \frac{600 \cdot \sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} = 346,4 \text{ N}$$

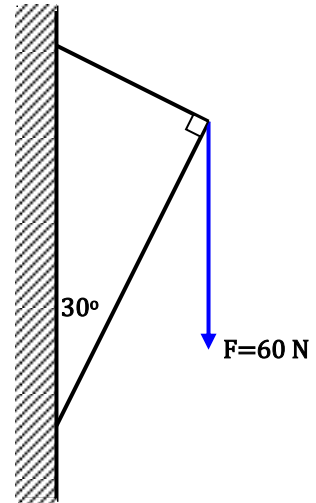
Om F_2 te berekenen gebruiken we de stelling van Pythagoras:

$$F_2 = \sqrt{F_1^2 + F_z^2} = \sqrt{346,4^2 + 600^2} = 692,8 \text{ N}$$

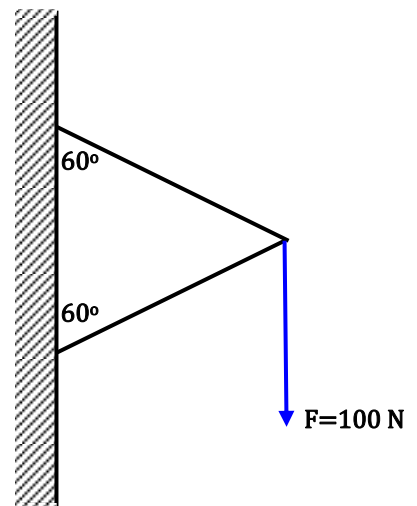
Krachten

Opgaven.

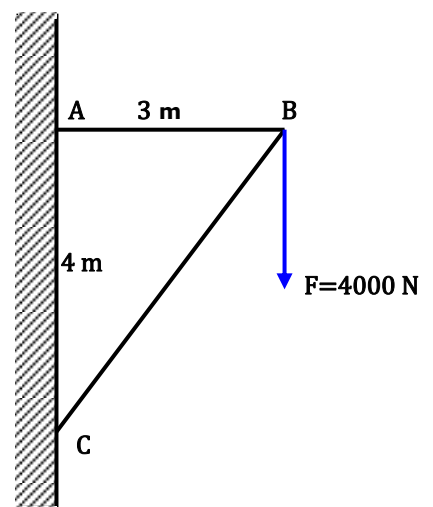
24. Construeer en bereken de krachten in beide stangen.



25. Construeer en bereken de krachten in beide stangen.

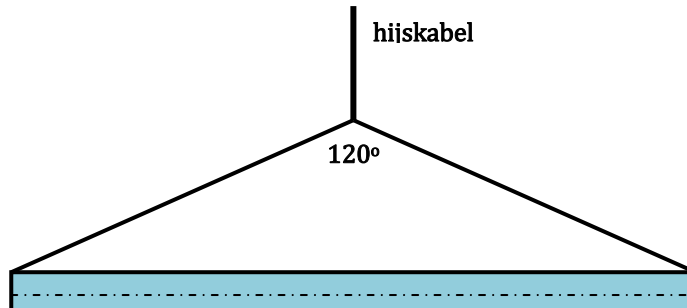


26. Bepaal de kracht in stang AB en geef aan wat voor soort kracht dit is.

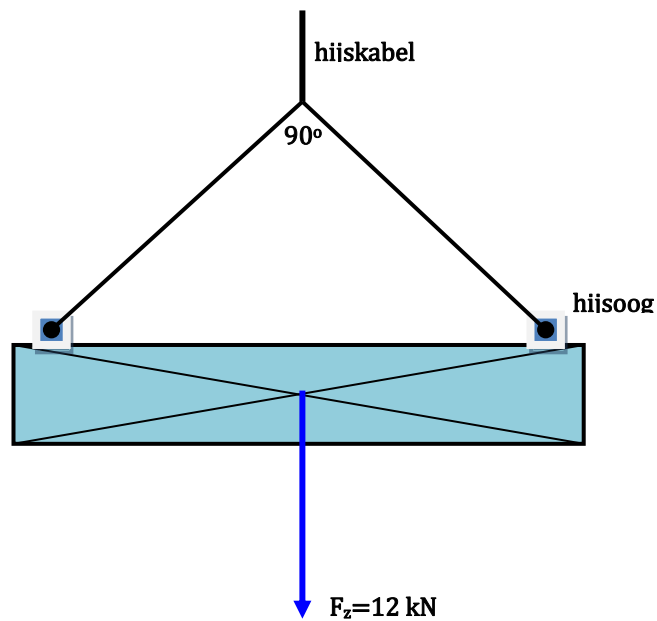


Krachten

27. Een stalen balk met een massa van 100 kg wordt gehesen. Bepaal de spankrachten in de twee stroppen.

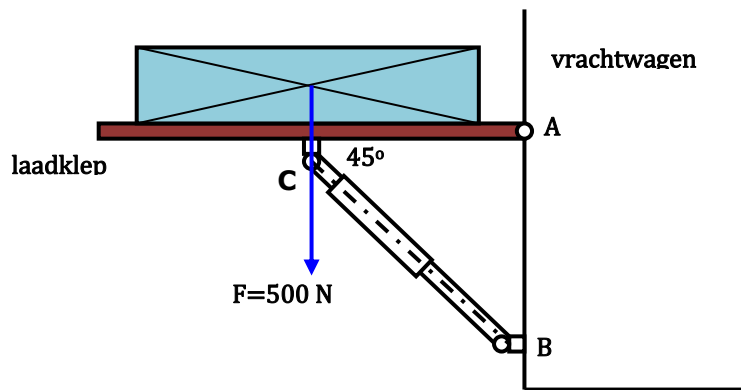


28. Een kist met een gewicht van 12 kN wordt middels een strop door een hijskraan gehesen. De hoek tussen de stropdelen is 90° . Bepaal de krachten in de twee stropdelen.



Krachten

29. Op een laadklep van een vrachtwagen staat een kist met een gewicht van 500 N. De laadklep is met een scharnier A aan de vrachtwagen bevestigd. De klep wordt horizontaal gehouden door een hydraulische cilinder. De cilinder is bevestigd in de punten B en C.



Bepaal de grootte van de krachten die op de scharnieren A en B werken.

30. Op een helling met een hellingshoek van 30° bevindt zich een voorwerp met een massa van 8 kg. De wrijving langs de helling bedraagt 3 N.
- Maak een tekening en bepaal zelf een krachtenschaal.
 - Bepaal F_x en F_y
 - Schuift het voorwerp naar beneden?
Zo ja, bereken dan de resulterende kracht langs de helling.

3.9 Kracht en arbeid

Iedereen is wel eens gevraagd om te helpen bij het aanduwen van een auto. Hoe langer de weg waarover je de auto moet aanduwen des te meer arbeid je moet verrichten.

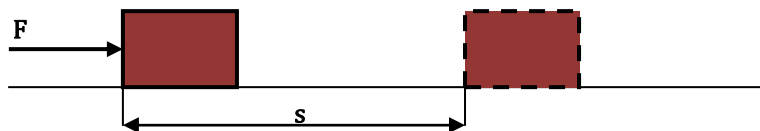
Ook het gewicht van de auto speelt een rol bij de verrichte arbeid. Hoe zwaarder de auto, hoe groter de te oefenen kracht, hoe groter de arbeid die verricht moet worden.



De te verrichten arbeid hangt af van het volgende:

- de grootte van de kracht
- de richting van de kracht
- de afstand waarover de kracht werkt

De grootte van die arbeid is het product van de kracht F en de verplaatsing s in de richting van die kracht.



In formule

$$W = F \cdot s$$

Hierin is

W	=	de verrichte arbeid, in Nm of Joule;
F	=	de kracht, in N
s	=	de verplaatsing, in m

De eenheid van de arbeid N.m, dit is hetzelfde als J(oule).

Voorbeeld.

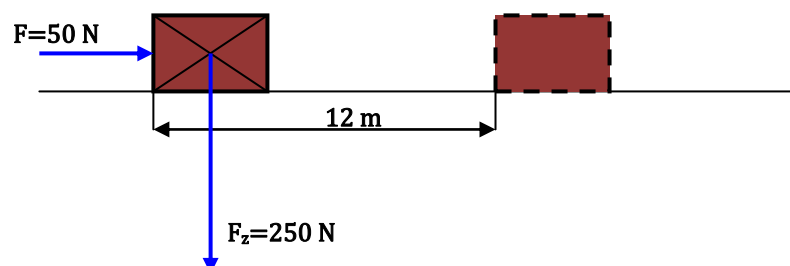
Een kist met een massa van 25 kg wordt door een horizontale kracht van 50 N over een horizontaal vlak geduwd.

Bereken de verrichte arbeid als de kist 12 m wordt verplaatst.

$$W = F \cdot s$$

$$W = 50 \cdot 12$$

$$W = 600 \text{ J}$$



Krachten

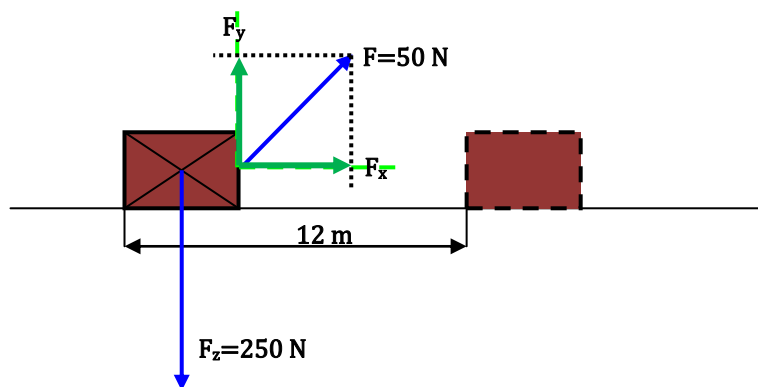
Werkt de kracht niet in de verplaatsingsrichting, maar onder een hoek met de verplaatsingsrichting, dan moet de kracht F ontbonden worden in twee componenten, één in de richting van de verplaatsing en de ander daar loodrecht op.

De grootte van de component in de verplaatsingsrichting kan dan door opmeting en met behulp van de krachtenschaal berekend worden.

alleen de component van de kracht in de verplaatsingsrichting verricht arbeid.

Voorbeeld.

Een kist met een massa van 25 kg wordt door een kracht van 50 N over een horizontaal vlak geduwd. De kracht trekt onder een hoek van 45° schuin omhoog, de kist vooruit. Bereken de verrichte arbeid als de kist 12 m wordt verplaatst.



Na opmeting van F_x en omrekening via de krachtenschaal blijkt de trekkende kracht F_x gelijk te zijn aan 35 N.

$$W = F \cdot s$$

$$W = 35 \cdot 12$$

$$W = 420 \text{ J}$$

Krachten

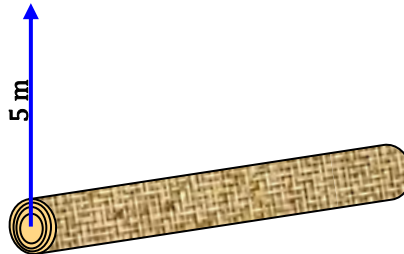
Voorbeeld krachtenbesparing.

Een rol tapijt heeft een massa van 91 kg en moet 5 m omhoog gebracht worden. Hoeveel arbeid moet hiervoor verricht worden?

$$W = F \cdot s$$

$$W = 910 \cdot 5$$

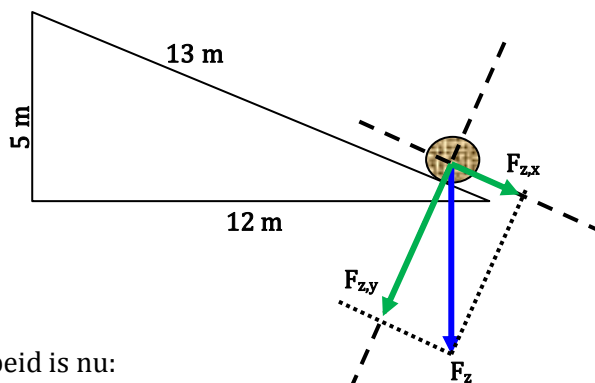
$$W = 4550 \text{ J}$$



Een andere oplossing is om de rol tapijt langs een helling omhoog te rollen.

De lengte van de helling is 13 m. Als we het gewicht weer gaan ontbinden in de bekende componenten $F_{z,x}$ en $F_{z,y}$, dan moet er een duwkracht ontwikkeld worden die minstens gelijk is aan $F_{z,x}$.

De benodigde duwkracht om de rol tapijt tegen de helling op te rollen is dan 350 N



De benodigde arbeid is nu:

$$W = F \cdot s$$

$$W = 350 \cdot 13$$

$$W = 4550 \text{ J}$$

Er is dus geen verschil in arbeid tussen beide systemen om de rol tapijt omhoog te brengen.

Er is echter wel een verschil in de benodigde kracht.

Bij de helling is een kracht nodig van 350 N en bij het hijsen een kracht van 910 N.

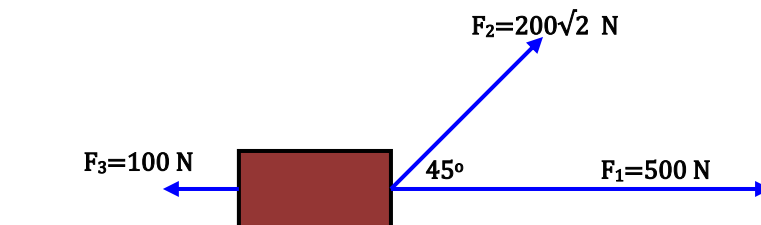
De afgelegde weg langs de helling is echter wel weer groter namelijk 13 m in plaats van 5 m.

De helling levert geen arbeidsbesparing op maar wel een krachtbesparing.

Krachten

Opgaven.

31. Een voorwerp beweegt eenparig door een horizontale kracht van 120 N. De afgelegde weg bedraagt 5,5 m.
Bereken de geleverde arbeid.
32. Op een voorwerp werkt een kracht van 400 N. Deze kracht verricht een arbeid van 5200 J
Bereken de afgelegde weg in de richting van de kracht.
33. Op een voorwerp werkt een kracht F. Door deze kracht legt het voorwerp een weg af van 15 m. De kracht F verricht hierbij een arbeid van 120 kJ.
Bereken de grootte van de kracht F.
34. Een slede heeft een massa van 80 kg en wordt door een kracht F van 120 N over een horizontale weg van 50 m voortgetrokken. F maakt met de weg een hoek van 45° met de horizon en is schuin omhoog gericht.
Bereken de arbeid die door F wordt verricht.
35. Bereken de arbeid die nodig om onderstaand voorwerp 12 m te verplaatsen.



3.10 Vermogen

Tot nu toe is er geen rekening gehouden met de factor tijd. Dit betekent de tijd waarin de arbeid geleverd is.

De arbeid W , die geleverd wordt in een bepaalde tijd t , noemt men het vermogen P .

In formule:

$$P = \frac{W}{t}$$

Hierin is

P = het vermogen in J/s of W;
 W = de verrichte arbeid, in J;
 t = de tijd, in s.

De eenheid van vermogen is J/s ook wel *Watt* (W) genoemd.

Hoe korter de tijd waarin een hoeveelheid arbeid geleverd wordt, des te groter is het vermogen.

De formule kan ook geschreven worden als:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v$$

Hierin is

P = het vermogen in J/s of W;
 W = de verrichte arbeid, in J;
 t = de tijd, in s;
 F = de kracht, in N;
 s = de verplaatsing, in m;
 v = de snelheid, in m/s.

Voorbeeld.

Met een kraan wordt een last van 100 kN in 25 seconden 3 m gehesen.

Hoe groot is het daarvoor benodigde vermogen?

$$P = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{100000 \cdot 3}{25} = 12000 \text{ W} = 12 \text{ kW}$$

Krachten

Opgaven.

36. Een man met een massa van 80 kg loopt in 5 s de trap op naar de eerste verdieping in het huis. De vloer van deze verdieping ligt 2,8 m boven de begane grond.
Bereken de arbeid die door de man verricht wordt en het geleverde vermogen.
37. Een hijskraan heeft een vermogen van 20 kW. Een massa van 400 kg wordt over een afstand van 10 m gehesen.
Hoeveel tijd is hiervoor nodig?
38. Een automotor ontwikkelt een vermogen van 90 kW. De auto heeft een constante snelheid van 90 km/h.
Welke kracht is nodig om de auto op snelheid te houden?
39. Een auto beweegt zich eenparig rechtlijnig voort met een snelheid van 20 m/s en ondervindt een weerstand van 900 N.
Bereken het ontwikkelde vermogen van de auto.
40. Op 800 m diepte in een mijn bevindt zich een liftkooi. De massa van de liftkooi bedraagt 120 kg. In de kooi bevinden zich 5 personen, elk met een gemiddeld gewicht van 80 kg. De liftkabel heeft een gewicht van 10 kg per meter. De lift bereikt de begane grond in 4 minuten.
Hoe groot is het vermogen van de aandrijvende elektromotor minimaal?



Momenten

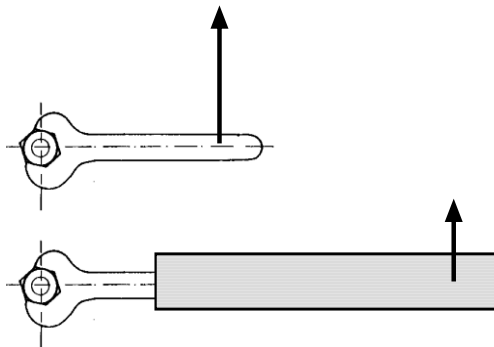
4



4 Momenten

4.1 Momenten

In de tekening wordt geprobeerd met een steeksleutel een moer los te draaien. Het komt voor dat dit met de grootste krachtinspanning niet lukt. Als er echter een stuk pijp over de steel van de steeksleutel wordt gedaan of er wordt gebruik gemaakt van een passende steeksleutel met een langere steel dan kan de moer zelfs met een kleinere kracht worden losgedraaid. Er is dus een verband tussen de kracht en de lengte van de sleutel.



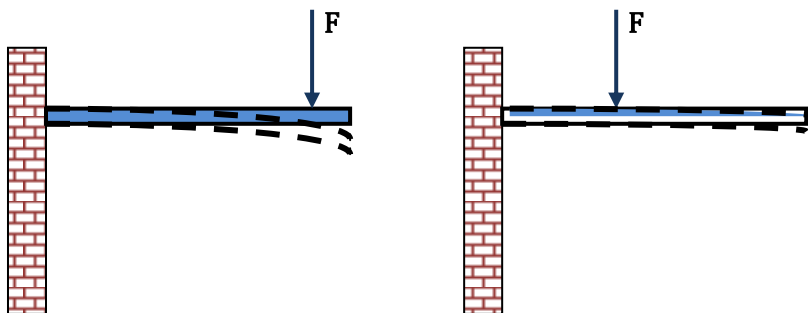
De samenwerking van kracht en afstand van de kracht tot het draaipunt noemen we **moment**.

Een ander voorbeeld.

Een metalen staaf wordt aan één zijde ingeklemd. De andere zijde wordt belast met een verticale kracht.

Als gevolg van deze kracht zal de metalen staaf een beetje doorbuigen. Wordt de kracht echter verplaatst in de richting van de zijde die ingeklemd is, dan zal de doorbuiging minder worden.

Als de doorbuiging op de deze plaats hetzelfde moet zijn als in het eerste geval, dan moet de kracht vergroot worden.



Momenten

Ook hier is het duidelijk dat de mate van doorbuiging afhankelijk is van de grootte van de kracht en van de afstand van kracht tot aan het punt waar de staaf is ingeklemd.

Als de staaf niet was ingeklemd maar op een as gemonteerd zou zijn, dan zal de staaf gaan draaien om de as.

De mate van draaiing wordt bepaald door het moment van de kracht.

Onder moment wordt verstaan het produkt van de uitgeoefende kracht en de loodrechte afstand van het draaipunt tot de werklijn van de kracht.

De loodrechte afstand wordt ook wel "arm" genoemd.

Dus: moment = kracht x arm

In formule:

$$M = F \cdot l$$

Hierin is

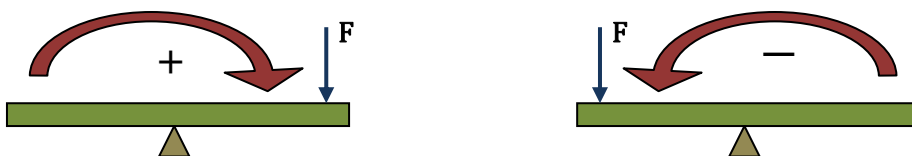
M = het moment, in Nm

F = de kracht, in N

l = de arm, in m

De afspraak is dat we bij een moment van een positief moment spreken als de draairichting van het moment overeen komt met de draaiing van de wijzers van een klok.

Is de draairichting gericht tegen de beweging van de wijzers van een klok in dan spreken we van een negatief moment.



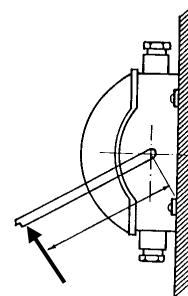
Voorbeeld.

In de tekening is een hefboomschakelaar afgebeeld.

Om deze schakelaar om te zetten is een kracht nodig van 10 N. De afstand van het draaipunt tot de kracht is 15 cm.

Het moment is dan te berekenen:

$$M = F \cdot l = 10 \cdot 0,15 = 1,5 \text{ Nm}$$



Momenten

Voorbeeld.

Een balk is aan één zijde in de muur bevestigd.

Op het andere uiteinde van de balk werkt een kracht van 150 N.

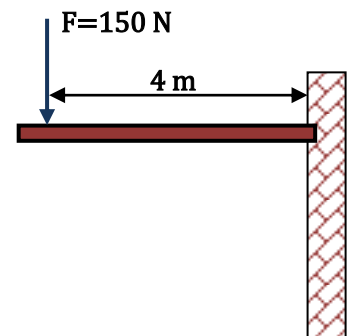
De afstand van de bevestigingspunt in de muur tot de werklijn van de kracht is 4 m.

Het moment is dan:

$$M = F \cdot l$$

$$M = -150 \cdot 4$$

$$M = -600 \text{ Nm}$$



Voorbeeld.

Vergelijk de arm van kracht F in onderstaande voorbeelden.

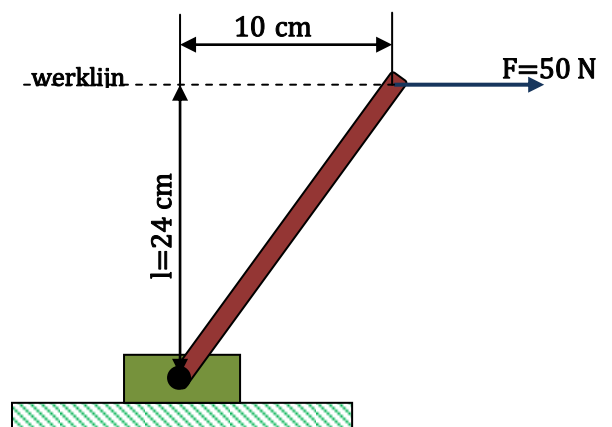
$$M = F \cdot l$$

l is volgens de definitie de loodrechte afstand van het draaipunt tot aan de werklijn van de kracht.

$$l = 24 \text{ cm}$$

$$M = 50 \cdot 0,24$$

$$M = 12 \text{ Nm}$$



l heeft nu dezelfde lengte als de hefboom.

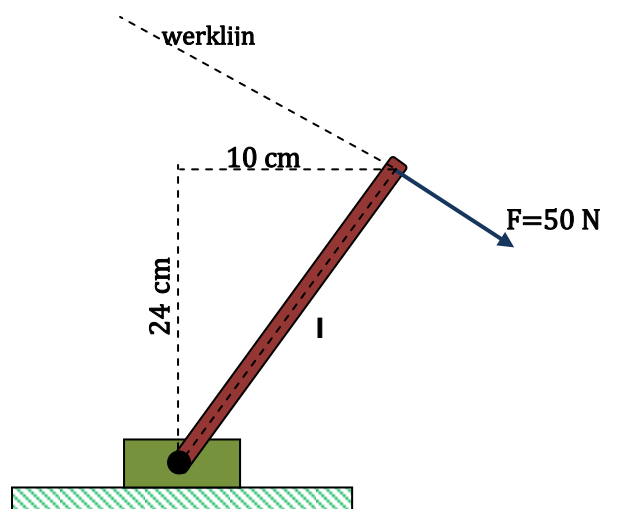
$$l^2 = 24^2 + 10^2$$

$$l = 26 \text{ cm}$$

$$M = F \cdot l$$

$$M = 50 \cdot 0,26$$

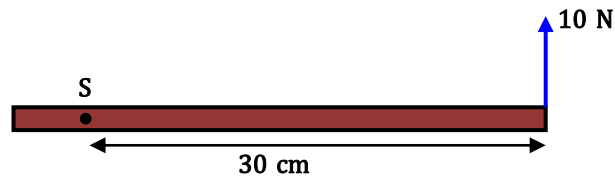
$$M = 13 \text{ Nm}$$



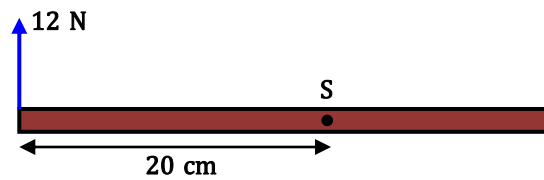
Momenten

Opgaven.

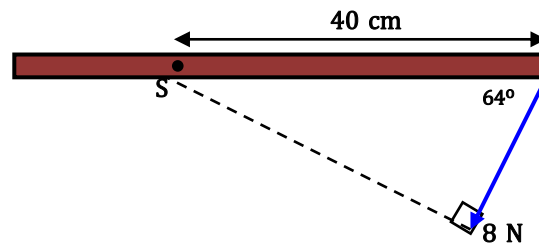
1. Bereken het moment van de kracht in onderstaande afbeelding ten opzichte van het punt S.



2. Bereken het moment van de kracht in onderstaande afbeelding ten opzichte van het punt S.



3. Bereken het moment van de kracht in onderstaande afbeelding ten opzichte van het punt S.



4.2 Hefboomwet.

Wanneer een kracht verder van draaipunt S aangrijpt is het moment ten opzichte van S groter. De hefboom is dan gemakkelijker te draaien. Dit principe wordt vaak toegepast, bijvoorbeeld bij:

- een kruissleutel om de moeren van een auto wiel los te draaien
- een koevoet om een steen los te wrikken
- een schaar om te knippen
- een deurknop om de deur te openen
- een kruiwagen

Een hefboom zal niet draaien als wordt voldaan aan de hefboomwet:

Een hefboom is in evenwicht als de som van de momenten van de krachten, die op de hefboom werken, ten opzichte van draaipunt S gelijk is aan nul.

In formule:

$$\sum M_{\text{tovs}} = 0$$

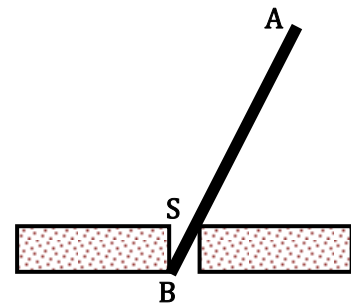
Voorbeeld.

In de afbeelding wordt met behulp van een breekijzer getracht een balk los te wrikken.

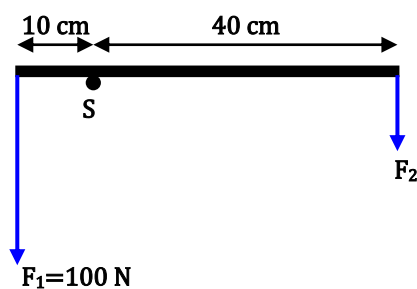
De lengte van het breekijzer bedraagt 50 cm, terwijl $BS = 10$ cm.

De balk komt in beweging als er een kracht F_1 van 100 N op wordt uitgeoefend.

Bereken de kracht F_2 die in punt A van het breekijzer dient te worden uitgeoefend.



Het is raadzaam eerst een schematische tekening te maken.



Momenten

Wanneer de balk nog net blijft liggen is de hefboom in evenwicht en geldt:

$$\sum M_{\text{toev } S} = 0$$

$$M_1 + M_2 = 0$$

$$F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 = 0$$

$$-100 \cdot 0,1 + F_2 \cdot 0,4 = 0$$

$$-10 + 0,4F_2 = 0$$

$$0,4F_2 = 10$$

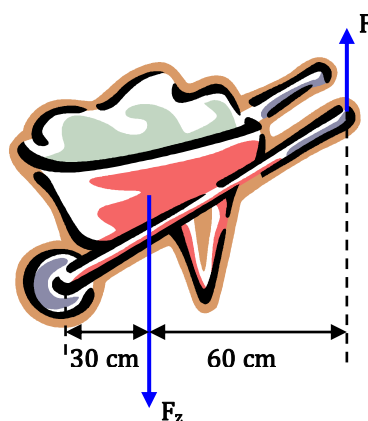
$$F_2 = \frac{10}{0,4} = 25 \text{ N}$$

De balk zal dus loskomen als er een kracht wordt uitgeoefend die groter is dan 25 N.

Opgaven.

4. Een hefboom van 40 cm lengte heeft een draaipunt S op 10 cm van het linker uiteinde.
 - a. Hoe groot is de verticale kracht op het linker uiteinde wanneer het moment ten opzichte van S gelijk is aan 3,6 Nm?
 - b. Hoe groot is de verticale kracht op het rechter uiteinde wanneer het moment ten opzichte van S gelijk is aan 3,6 Nm?

5. Een volle kruiwagen heeft een massa van 81 kg.
Welke kracht is minimaal nodig om de kruiwagen aan de handvaten op te tillen?



Momenten

6. Met een 120 cm lange breekijzer wil men een steen van 58 kg optillen. De steen ligt op het linker uiteinde van het breekijzer. Welke kracht moet men aan het andere uiteinde van het breekijzer uitoefenen wanneer het steunpunt ligt op:
- 10 cm van het linker uiteinde
 - 20 cm van het linker uiteinde
 - 40 cm van het linker uiteinde

4.3 Momentenstelling

Op een balk werken meerdere evenwijdige krachten.

De resultante van deze krachten kunnen we bepalen door de som van alle krachten te nemen.

Op een horizontale homogene staaf PQ werken twee krachten loodrecht omlaag.

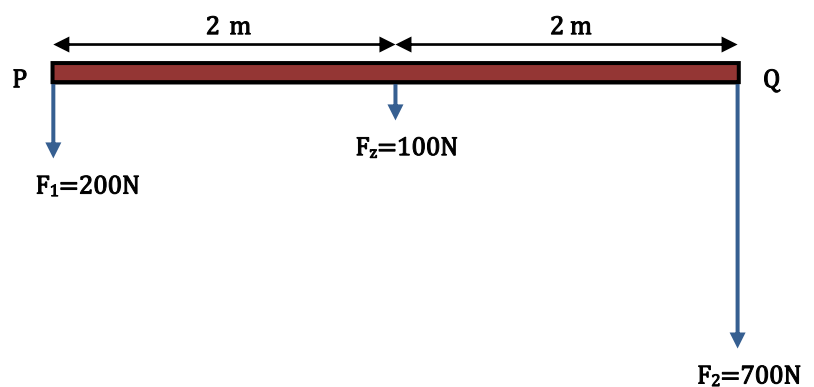
$$F_1 = 200 \text{ N en } F_2 = 700 \text{ N.}$$

Het gewicht van de staaf is 100 N.

De grootte en de plaats van de resultante is dan als volgt te berekenen:

$$F_R = F_1 + F_z + F_2$$

$$F_R = 200 + 100 + 700 = 1000 \text{ N}$$



De resultante vervangt dus de drie krachten, die hier boven weergegeven zijn. We moeten alleen nog uitrekenen waar de resultante op de staaf geplaatst moet worden om hetzelfde moment te krijgen.

Dit wordt gedaan met behulp van de **momentenstelling**.

Deze momentenstelling luidt:

De som van de momenten van een aantal krachten ten opzichte van een willekeurig punt is gelijk aan het moment van de resultante ten opzichte van hetzelfde punt

Momenten

In formulevorm:

$$\sum M = M_R$$

De momentenstelling wordt toegepast t.o.v. punt P:

$$M_{F_1} + M_{F_2} + M_{F_3} = M_{F_R}$$

$$F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 + F_3 \cdot l_3 = F_R \cdot l_R$$

$$200 \cdot 0 + 100 \cdot 2 + 700 \cdot 4 = 1000 \cdot l_R$$

$$0 + 200 + 2800 = 1000l_R$$

$$l_R = \frac{3000}{1000} = 3 \text{ m}$$

De resultante is 1000 N en het aangrijpingspunt van de resultante ligt 3 m rechts van P.

Voorbeeld.

Bereken de grootte van de resultante en het aangrijpingspunt van de resultante ten opzichte van het bevestigingspunt van de balk in de muur.

$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$F_R = 150 + 250 - 100 - 50 = 250 \text{ N}$$

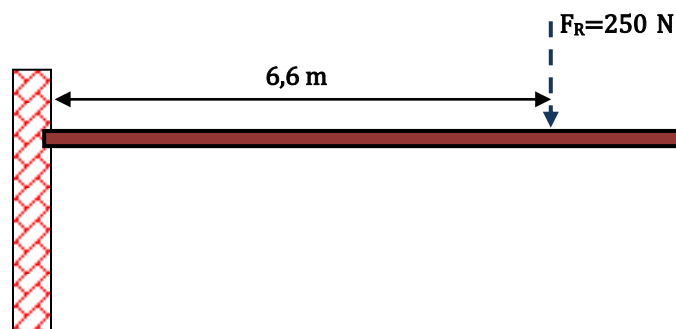
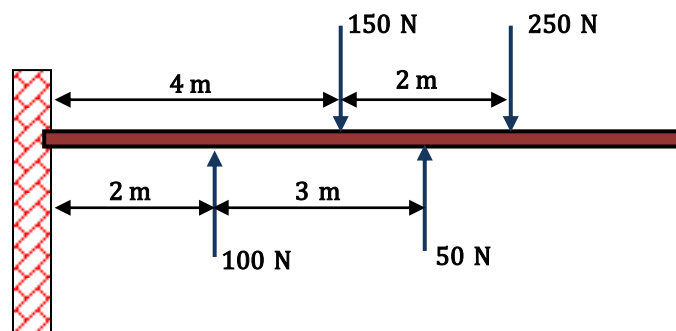
$$\sum M = M_R$$

$$F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 + F_3 \cdot l_3 + F_4 \cdot l_4 = F_R \cdot l_R$$

$$150 \cdot 4 + 250 \cdot 6 + (-100) \cdot 2 + (-50) \cdot 5 = 250 \cdot l_R$$

$$1650 = 250 \cdot l_R$$

$$l_R = \frac{1650}{250} = 6,6 \text{ m}$$



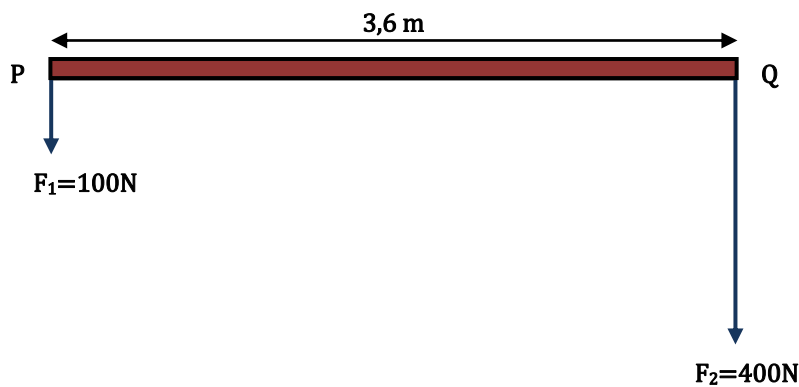
4.4 Evenwichtsvoorwaarden

Er zijn twee situaties waarin de evenwichtsvoorwaarden worden behandeld:

1. als er sprake is van één evenwichtspunt (hefbomen)
2. als er sprake is van twee evenwichtspunten

4.4.1 een steunpunt

Op een balk PQ werken twee krachten F_1 en F_2 .



De resultante van deze krachten is:

$$F_R = F_1 + F_2 = 100 + 400 = 500\text{ N}$$

We passen nu de momentenstelling ten opzichte van punt P toe:

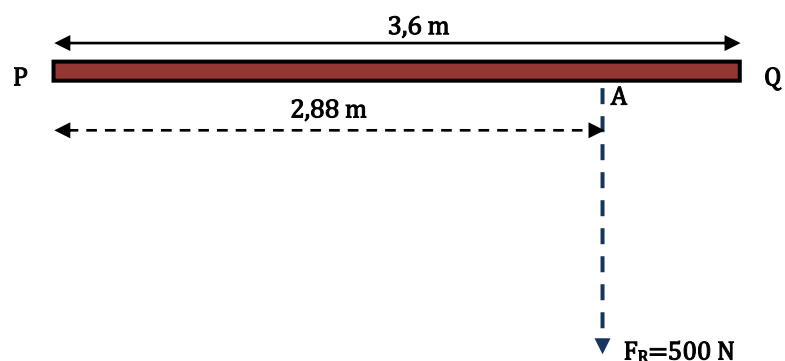
$$\sum M = M_R$$

$$M_1 + M_2 = M_R$$

$$100 \cdot 0 + 400 \cdot 3,6 = 500 \cdot l_R$$

$$1440 = 500 \cdot l_R$$

$$l_R = 2,88\text{ m}$$

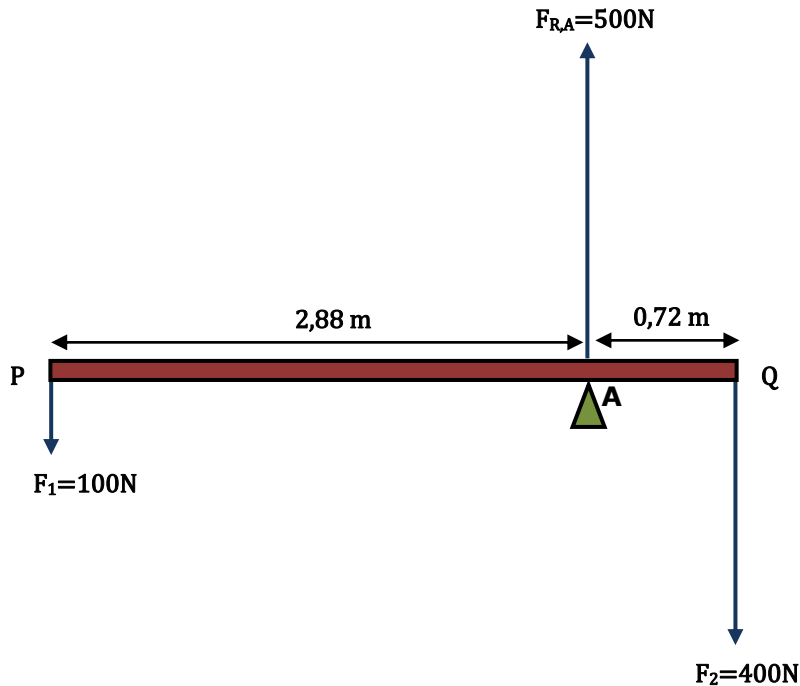


De resultante F_R met een grootte van 500 N grijpt dus aan op een afstand van 2,88 m rechts van punt P.

Momenten

Als de balk PQ in evenwicht moet zijn, moet er in punt A een even grote, maar tegengestelde kracht $F_{R,A} = 500 \text{ N}$ werken.

Als de balk ondersteund wordt om te zorgen dat de balk in evenwicht blijft dan moet de ondersteuning zich in punt A bevinden.



In de tekening is nu te zien dat er op de balk drie krachten werken, $F_1 = 100 \text{ N}$, $F_2 = 400 \text{ N}$ en $F_{R,A} = 500 \text{ N}$.

De naar boven gerichte kracht is even groot als de twee krachten samen die naar beneden zijn gericht.

Dit betekent:

Bij evenwicht is de som van de verticale krachten gelijk aan nul.

In formulevorm:

$$\sum F_{\text{vert}} = 0$$

Momenten

Als we nu de momentenstelling opstellen ten opzichte van het steunpunt A dan volgt:

$$M_1 + M_{R,A} + M_2 = -100 \cdot 2,88 + 500 \cdot 0 + 400 \cdot 0,72 = -288 + 0 + 288 = 0$$

Of als de momentenstelling wordt opgesteld ten opzichte van punt Q:

$$M_1 + M_{R,A} + M_2 = -100 \cdot 3,6 + 500 \cdot 0,72 + 400 \cdot 0 = -360 + 360 + 0 = 0$$

In beide gevallen is de som van de momenten gelijk aan nul.

Dit betekent:

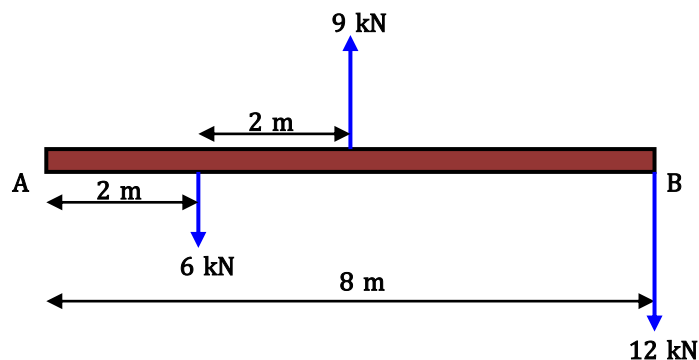
Bij evenwicht is de som van de momenten ten opzichte van elk punt gelijk aan nul.

In formulevorm:

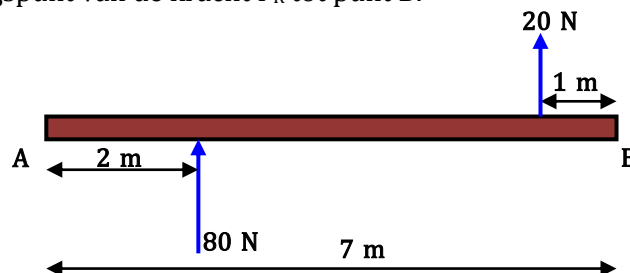
$$\sum M = 0$$

Opgaven.

8. Een stelsel van krachten op de balk AB wordt vervangen door een resulterende kracht F_R . Bereken de grootte en de richting van de kracht F_R en de afstand van het aangrijpingspunt van de kracht F_R tot punt A.

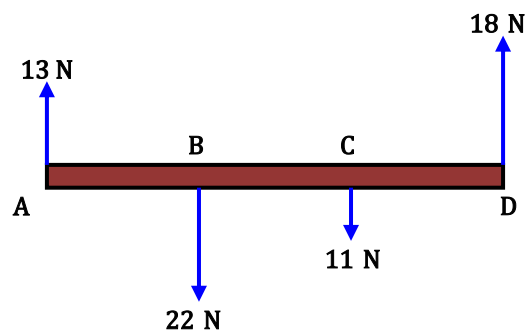


9. Een stelsel van krachten op de balk AB wordt vervangen door een resulterende kracht F_R . Bereken de grootte en de richting van de kracht F_R en de afstand van het aangrijpingspunt van de kracht F_R tot punt B.



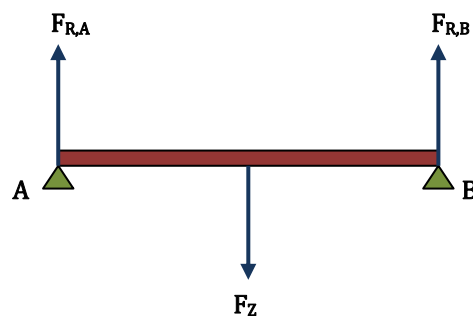
Momenten

10. Op de balk ($m = 2 \text{ kg}$) werken, behalve de zwaartekracht, nog vier andere krachten. Gegeven is dat $AB = BC = CD = 1 \text{ m}$
- Bepaal de grootte en de richting van de kracht die nodig is om de balk in evenwicht te houden.
 - Bepaal het aangrijpingspunt van die kracht.



4.4.2 twee steunpunten

Wanneer een balk op twee punten wordt ondersteunt, zoals in de tekening, dan ontstaan in die twee punten de reactiekrachten $F_{R,A}$ en $F_{R,B}$.



Wanneer zo'n balk overal dezelfde doorsnede heeft en overal van dezelfde materiaalsamenstelling (we zeggen dan dat de balk homogeen is), dan ligt het aangrijpingspunt van het gewicht in het midden van de balk.

Het gewicht van deze balk is 150 N.
De lengte van de balk bedraagt 4 m.

Welke reactiekrachten moeten nu in A en in B werken om evenwicht te maken ?

Momenten

Volgens de evenwichtsvoorwaarde moet $F_{R,A} + F_{R,B} = 150 \text{ N}$ zijn. Het gewicht F_z grijpt in het midden van de balk aan.

De grootte van $F_{R,A} = F_{R,B} = 75 \text{ N}$

Men kan ook de momentenstelling ten opzichte van één van de steunpunten toepassen. Bijvoorbeeld ten opzichte van steunpunt A.

$$\sum M = M_{R,A} + M_z + M_{R,B} = 0$$

$$F_{R,A} \cdot 0 + 150 \cdot 2 - F_{R,B} \cdot 4 = 0$$

$$300 - 4F_{R,B} = 0$$

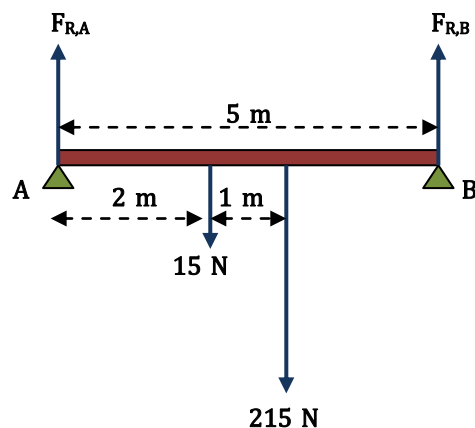
$$F_{R,B} = 75 \text{ N}$$

$$F_{R,A} = 150 - F_{R,B} = 150 - 75 = 75 \text{ N}$$

Voorbeeld.

Een massaloze balk met een lengte van 5 m ligt op twee steunpunten A en B.

Op de balk werken twee krachten $F_1 = 15 \text{ N}$ en $F_2 = 215 \text{ N}$. Deze krachten werken op respectievelijk 2 m en 3 m van het steunpunt A.



We passen nu de momentenstelling toe ten opzichte van steunpunt A:

$$\sum M = M_{R,A} + M_1 + M_2 + M_{R,B} = 0$$

$$F_{R,A} \cdot l_A + F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 - F_{R,B} \cdot l_{R,B} = 0$$

$$F_{R,A} \cdot 0 + 15 \cdot 2 + 215 \cdot 3 - F_{R,B} \cdot 5 = 0$$

Momenten

$$0 + 30 + 645 - F_{R,B} \cdot 5 = 0$$

$$F_{R,B} = 135 \text{ N}$$

$$F_{R,A} - F_1 - F_2 + F_{R,B} = 0$$

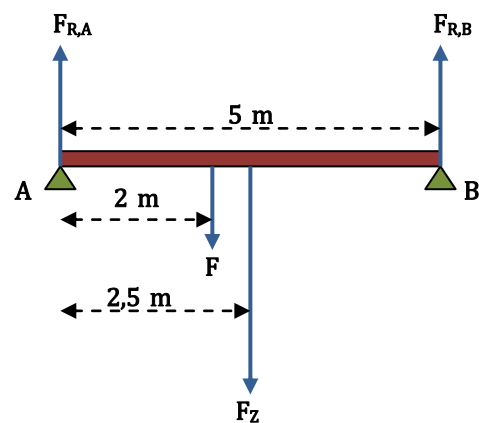
$$F_{R,A} - 15 - 215 + 135 = 0$$

$$F_{R,A} = 95 \text{ N}$$

Voorbeeld.

Een balk is horizontaal gelegd op twee steunpunten en is in evenwicht.

De balk is homogeen en het gewicht is 10.000 N. Op de balk werkt een kracht van 8000 N verticaal naar beneden op 2 m van het linker steunpunt.



We kiezen als momentencentrum het punt

B.

$$\sum M = M_{R,A} + M_F + M_z + M_{R,B} = 0$$

$$F_{R,A} \cdot l_A - F \cdot l - F_z \cdot l_z + F_{R,B} \cdot l_{R,B} = 0$$

$$F_{R,A} \cdot 5 - 8000 \cdot 3 - 10000 \cdot 2,5 + F_{R,B} \cdot 0 = 0$$

$$F_{R,A} \cdot 5 - 24000 - 25000 + 0 = 0$$

$$F_{R,A} = 9800 \text{ N}$$

$$F_{R,A} - F - F_z + F_{R,B} = 0$$

$$9800 - 8000 - 10000 + F_{R,B} = 0$$

$$F_{R,B} = 8200 \text{ N}$$

Momenten

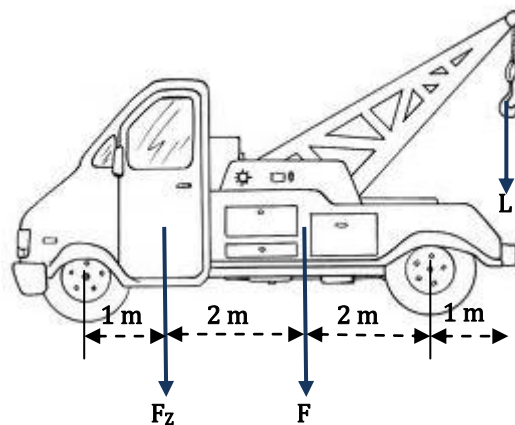
Voorbeeld.

Bij een takelwagen zijn de volgende krachten van belang :

F_z is het gewicht van de wagen,

F is het gewicht van de lier

L is het gewicht van de last.



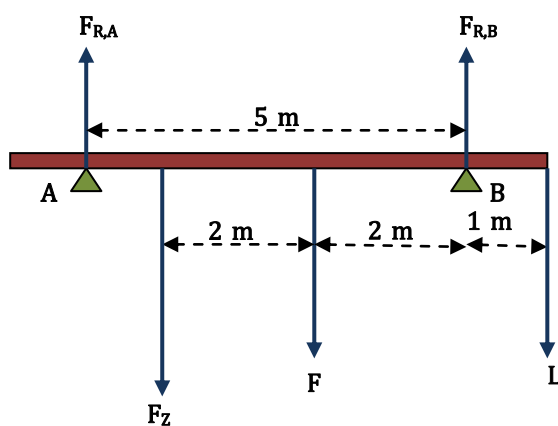
De vooras belasting is de reactiekracht die aangeduid wordt met $F_{R,A}$ en de achteras belasting wordt dan aangeduid met $F_{R,B}$.

Deze $F_{R,A} = 2000$ N.

Het gewicht F_z van de takelwagen bedraagt 18000 N terwijl het gewicht F van de lier 6000 N bedraagt.

Bereken bij deze gegevens het gewicht van de last en de achteras belasting.

We kunnen met deze gegevens van de takelwagen ook de volgende tekening maken:



Momenten

De som van de momenten ten opzichte van B is nul.

$$\sum M = M_{R,A} + M_z + M_F + M_{R,B} + M_L = 0$$

$$F_{R,A} \cdot l_{R,A} - F_z \cdot l_z - F \cdot l_F + F_{R,B} \cdot l_{R,B} + L \cdot l_L = 0$$

$$2000 \cdot 5 - 18000 \cdot 4 - 6000 \cdot 2 + F_{R,B} \cdot 0 + L \cdot 1 = 0$$

$$10000 - 72000 - 12000 + L \cdot 1 = 0$$

$$L = 42000 \text{ N}$$

$$F_{R,A} - F_z - F + F_{R,B} - L = 0$$

$$2000 - 18000 - 6000 + F_{R,B} - 42000 = 0$$

$$F_{R,B} = 64000 \text{ N}$$

Opgaven.

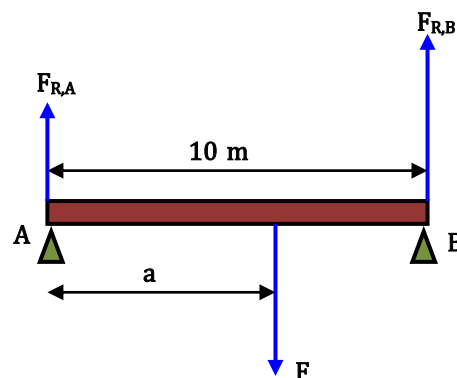
11. Van balk AB is gegeven:

$$F_{R,A} = 400 \text{ N}$$

$$F_{R,B} = 600 \text{ N}$$

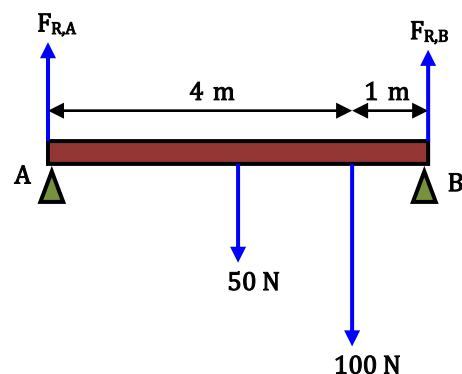
Het gewicht van de balk wordt verwaarloosd.

Hoe groot zijn de kracht F en de afstand a , als de balk in evenwicht is?



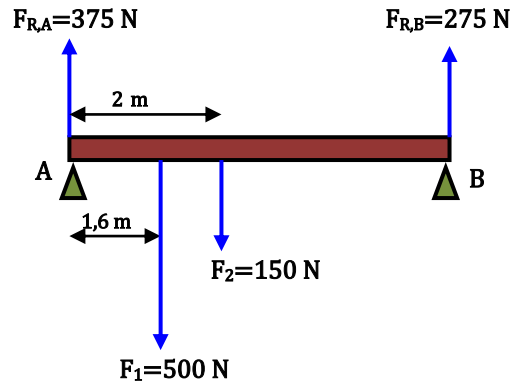
12. Aan een balk hangt een gewicht van 100 N. Het eigen gewicht van de balk bedraagt 50 N

Hoe groot zijn de reactiekrachten $F_{R,A}$ en $F_{R,B}$?

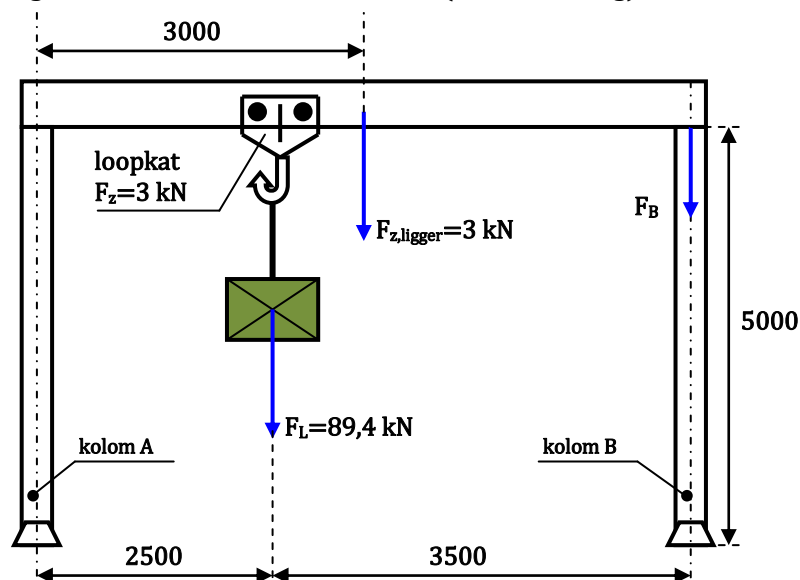


Momenten

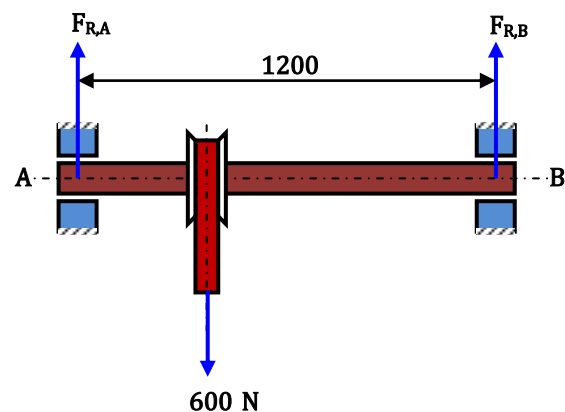
13. Een homogene balk AB is in evenwicht. Het eigen gewicht van de balk mag verwaarloosd worden.
Hoe lang is de balk?



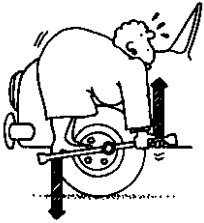
14. Bereken de grootte van kracht F_B in kolom B (zie afbeelding).



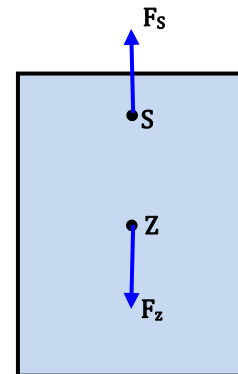
15. Een riemschijf is op een afstand van 400 mm vanuit lager blok A gemonteerd.
Op de riemschijf wordt een kracht van 600 N uitgeoefend.
Bereken de grootte van de reactiekracht $F_{R,B}$.



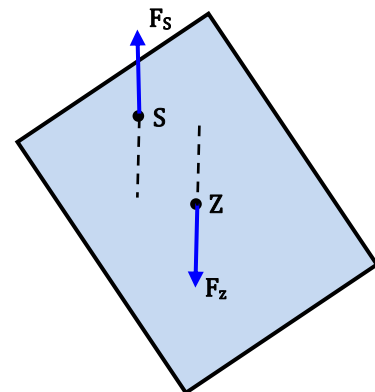
4.5 Koppel



Als een plaat wordt opgehangen in het steunpunt S , zal de plaat na enig schommelen stil hangen. Nadat er evenwicht bereikt is, gaat de werklijn van F_z door S . In S werkt dan een kracht F_s , die even groot is F_z , maar tegengesteld. De som van de momenten is dan gelijk aan nul.



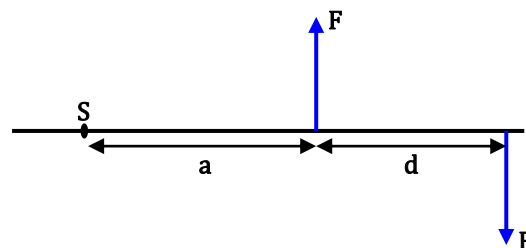
Als er geen evenwicht is, gaat de werklijn van F_z niet door S . De twee even grote, maar tegengestelde krachten F_z en F_s zorgen dan voor een draaiing. Zo'n stelsel krachten noemt men een **koppel**.



Een koppel is een stelsel van twee even grote, maar tegengestelde krachten met verschillende werklijnen, die op hetzelfde voorwerp aangrijpen.

Het moment van een koppel is gelijk aan de som van de momenten van de beide krachten.

In onderstaande afbeelding grijpen twee even grote, maar tegengesteld gerichte krachten op een afstand d van elkaar aan



De som van de momenten kan berekend worden ten opzichte van een punt S .

Momenten

Er geldt:

$$\sum M_{\text{toVS}} = M_F + M_F$$

$$\sum M_{\text{toVS}} = -F \cdot a + F \cdot (a+d)$$

$$\sum M_{\text{toVS}} = -F \cdot a + F \cdot a + F \cdot d = F \cdot d$$

De som van de momenten blijft dus alleen af te hangen van de grootte van de beide krachten F en hun onderlinge loodrechte afstand d .

Deze som van momenten heet het **koppelmoment**.

In formule:

$$M_{\text{koppel}} = F \cdot d$$

Ook een koppelmoment is positief als het een draaiing geeft met de wijzers van de klok mee.

Voorbeeld.

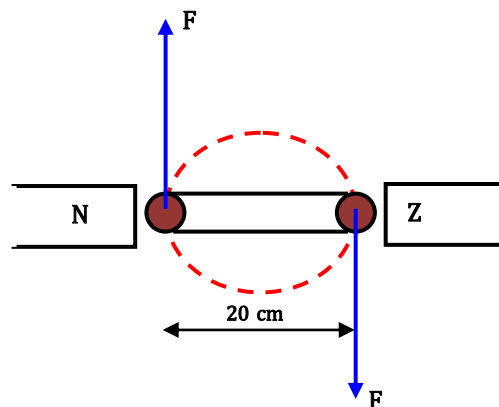
Van een elektromotor is de Lorentz-kracht F gelijk aan 90 N.

De ankerdiameter is 20 cm.

Bereken het koppelmoment.

$$M_{\text{koppel}} = F \cdot d$$

$$M_{\text{koppel}} = 90 \cdot 0,2 = 18 \text{ Nm}$$

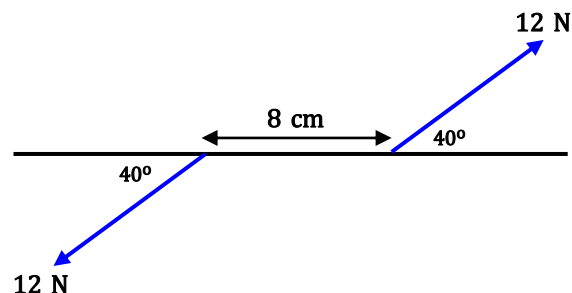


Opgaven.

16. Twee evenwijdige krachten van elk 42 N grijpen aan op een stuur. De afstand tussen de werklijnen van de krachten bedraagt 40 cm. Bereken het koppelmoment.



17. Bereken het koppelmoment in onderstaande afbeelding.



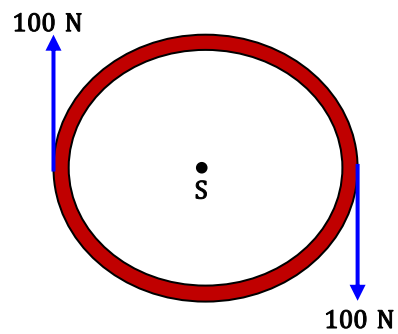
Momenten

18. Op een wiel, draaibaar om punt S en met een diameter van 1,2 m werkt een koppel bestaande uit twee krachten zoals in de afbeelding is weergegeven.

a. Bereken het koppelmoment.

Om het wiel tegen te houden wordt een kracht F uitgeoefend op een afstand van 40 cm van draaipunt S.

b. Bereken de grootte van die kracht F



Momenten

Cirkelbeweging

5

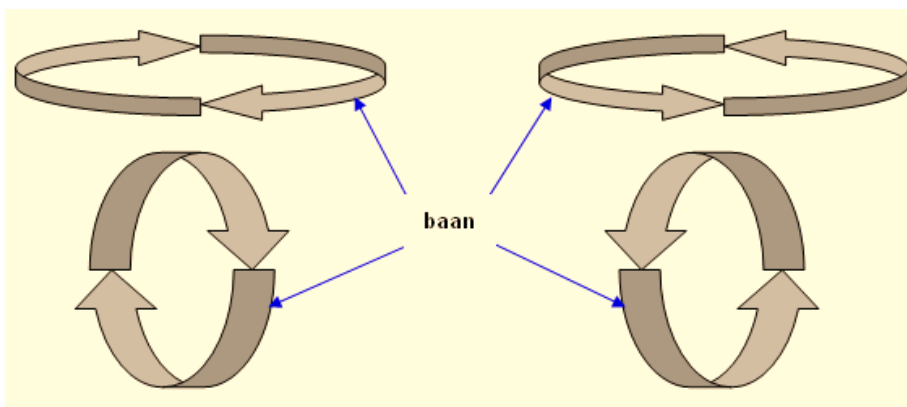


5 Cirkelbeweging

5.1 Rotatie

Wanneer een voorwerp met een constante snelheid een cirkelvormige baan doorloopt, dan heeft dat voorwerp een eenparige cirkelvormige beweging.

De afspraak is dat een rotatie rechtsom (met de wijzers van de klok mee) positief wordt aangegeven en een rotatie linksom (tegen de wijzers van de klok in) negatief.



5.2 Rotatiefrequentie en omtreksnelheid

De **rotatiefrequentie** of **toerental** n is het aantal omwentelingen per seconde.

Het aantal omwentelingen wordt met N aangegeven, zodat voor de rotatiefrequentie n geldt:

$$n = \frac{N}{t}$$

hierin is:

n	=	rotatiefrequentie of toerental, in omw/s of s^{-1}
N	=	het aantal omwentelingen
t	=	de tijd, in s

De tijd die nodig is voor één omwenteling wordt de omlooptijd of periodetijd T genoemd.

De periodetijd is het omgekeerde van de rotatiefrequentie, zodat geldt:

$$T = \frac{1}{n}$$

Als er één omwenteling is afgelegd dan is de afgelegde weg gelijk aan de omtrek van de cirkel.

Cirkelbeweging

Deze afstand wordt in de periodetijd T afgelegd.
Voor de omtreksnelheid v of baansnelheid geldt dan:

$$v = \frac{s}{t} \quad \rightarrow \quad v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$$

Wanneer het voorwerp draait met een toerental (rotatiefrequentie) n dan wordt de omtreksnelheid:

$$v = 2\pi \cdot r \cdot n = \pi \cdot d \cdot n$$

hierin is

v	=	de omtreksnelheid, in m/s
r	=	de straal, in m;
d	=	de diameter, in m
n	=	het aantal omwentelingen per seconde, in omw/s of s^{-1}

Aan de formules voor de omtreksnelheid is te zien, dat de grootte van de omtreksnelheid afhankelijk is van de afstand van het voorwerp tot het middelpunt van de cirkel, die doorlopen wordt.

Hieruit volgt, dat alle punten op een draaiende schijf een andere omtreksnelheid bezitten en dat al die punten eenzelfde aantal omwentelingen maken.

Opgaven.

1. Een schijf draait met een toerental van 45 s^{-1} en heeft een middellijn van 28 cm.
Hoe groot is omtreksnelheid?
2. Van een wiel met een middellijn van 450 mm is de omtreksnelheid 28 m/s.
Hoe groot is het toerental?
3. Bereken de omtreksnelheid van een punt aan de omtrek van een wiel, als de omlooptijd 1 seconde is en de diameter van het wiel 1,8 m.
4. Bereken de omtreksnelheid van een punt aan de omtrek van een waterrad.
De diameter van het rad is 5 m.
Het aantal omwentelingen per minuut is 3.
5. Een wals moet bij 180 omwentelingen per minuut een omtreksnelheid hebben van 15 m/s.
Bereken de diameter van deze wals.

Cirkelbeweging

6. De trommel van een centrifuge heeft een toerental van 2700 omwentelingen per minuut. De diameter van de trommel is 18 cm. Welke snelheid heeft een zakdoek die tegen de wand van de trommel rondslingert?
7. Een elektron in een atoom waterstof beschrijft een cirkelvormige baan met een straal van $5 \cdot 10^{-11}$ m. De baansnelheid van het elektron bedraagt $2,1 \cdot 10^6$ m/s. Bereken de rotatiefrequentie van het elektron.



5.3 Overbrengingen

Bij de overbrengingen is het de bedoeling de draaiende beweging van de ene as over te brengen op de andere as.

Door te werken met verschillende riemschijfdiameters of tandwielen met verschillend tandaantallen, kunnen we ervoor zorgen dat de toerentalen van de twee assen verschillen.

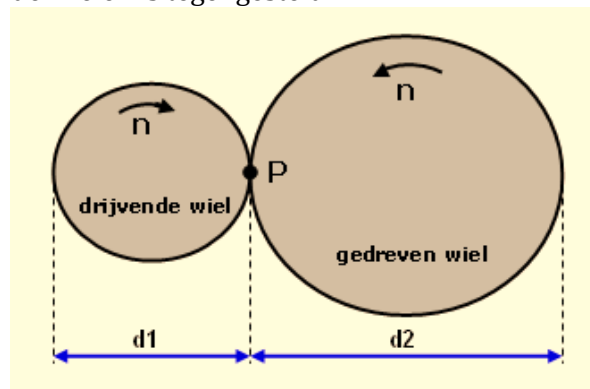
5.3.1 frictieoverbrenging

Een frictieoverbrenging is een overbrenging door middel van wrijving. Deze wrijving ontstaat als men het ene wiel dat ronddraait, tegen het andere wiel aandrukt. Slippen is hierbij wel mogelijk.

De twee wielen raken elkaar in het punt P. Slippen wordt in dit geval uitgesloten.

De omtreksnelheid van beide wielen is dan gelijk.

De draairichting van de wielen is tegengesteld.



Voor de omtreksnelheden geldt:

$$v_1 = v_2 \quad \rightarrow \quad \pi \cdot d_1 \cdot n_1 = \pi \cdot d_2 \cdot n_2 \quad \rightarrow \quad d_1 \cdot n_1 = d_2 \cdot n_2$$

hierin is

v	=	de omtreksnelheid, in m/s;
d	=	de diameter, in m
n	=	het toerental, in s ⁻¹

Cirkelbeweging

5.3.2 riem- en snaaroverbrenging

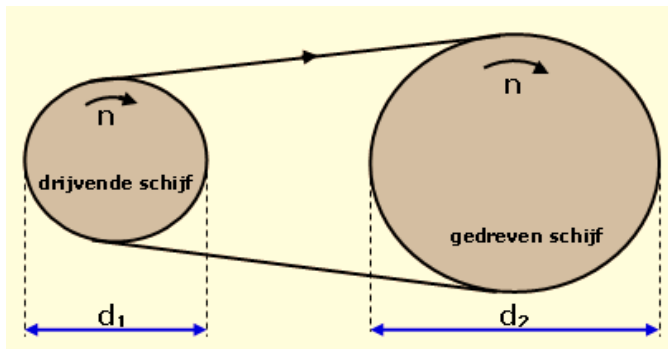
Een riem- of snaaroverbrenging heeft tot doel een draaiende beweging over een bepaalde afstand over te brengen. Tegelijkertijd kan het toerental worden verhoogd of verlaagd.

Een veel gebruikte snaar is de V-snaar. Deze V-snaar kan een vrij grote kracht overbrengen.

Naast de V-snaar wordt ook vaak een platte riem gebruikt. Een platte riem kan echter een minder grote kracht overbrengen dan een V-snaar. Ook is kans op slippen bij een platte riem groter dan bij een V-snaar. De afstand tussen beide schijven is niet van belang.



We sluiten slip weer uit. De omtreksnelheid van beide schijven is gelijk en gelijk aan de riemsnelheid. De draairichting van de schijven is ook gelijk.



Voor de omtreksnelheid geldt:

$$v_1 = v_2 \quad \rightarrow \quad \pi \cdot d_1 \cdot n_1 = \pi \cdot d_2 \cdot n_2 \quad \rightarrow \quad d_1 \cdot n_1 = d_2 \cdot n_2$$

hierin is

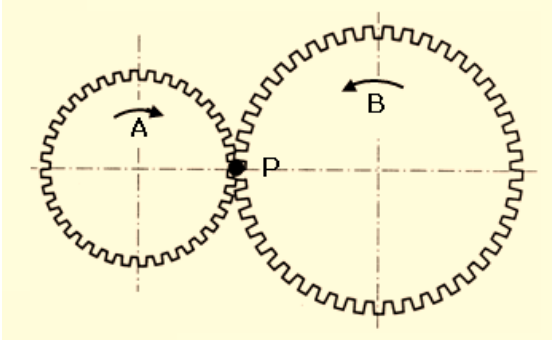
- v = de omtreksnelheid, in m/s;
- d = de diameter, in m
- n = het toerental, in s⁻¹



Cirkelbeweging

5.3.3 tandwieloverbrenging

Bij een tandwieloverbrenging treedt beslist geen slip op. De wielen zijn voorzien van tanden die in elkaar grijpen en al draaiend de beweging overbrengen.



Stel dat tandwiel A 48 tanden heeft en een toerental van 35 omw/min.
In het punt P passeren dan per minuut $35 \times 48 = 1680$ tanden.

Omdat tandwiel A grijpt in tandwiel B moet er in het punt P ook 1680 tanden van tandwiel B passeren.

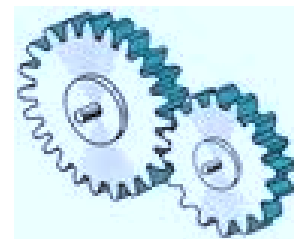
Tandwiel B heeft 60 tanden., dus tandwiel B draait dan per minuut $1680 : 60 = 28$ keer rond.
Het toerental van tandwiel B is 28 omw/min.

Uit het voorbeeld blijkt dat:

$$z_1 \cdot n_1 = z_2 \cdot n_2$$

hierin is

z = het aantal tanden in het tandwiel
n = het toerental, in s^{-1}



Let op, de draairichting van beide tandwielen is tegengesteld.

5.3.4 kettingoverbrenging

Een kettingoverbrenging is in feite een combinatie van een riemoverbrenging en een tandwieloverbrenging. Van slippy is hier geen sprake. Met kettingwielen kunnen nog grotere krachten worden overgebracht dan met riemen of snaren.

De draairichting is hier voor beide tandwielen gelijk.
Hier geldt dezelfde formule als bij tandwielen namelijk:

$$z_1 \cdot n_1 = z_2 \cdot n_2$$



Cirkelbeweging

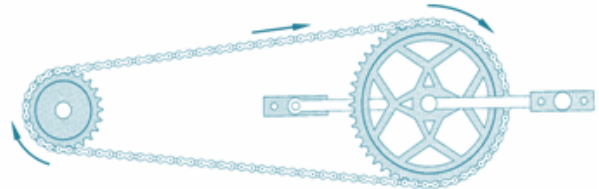
Bij tandwielen werkt men vaak met een **overbrengsverhouding**. Dit is de verhouding tussen het aantal tanden van de beide tandwielen. Deze overbrengsverhouding wordt aangegeven met i .

In het voorbeeld heeft tandwiel A 48 tanden en tandwiel B 60 tanden.
De overbrengsverhouding is dan:

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{48}{60} = 0,8$$

hierin is

i = de overbrengsverhouding;
 z = het aantal tanden in het tandwiel;



Tandwiel A heeft een toerental van 35 omw/min, dan heeft tandwiel B een toerental van $4/5 \times 35 = 28$ omw/min.

voorbeeld

Een voorbeeld van een meervoudige overbrenging.

In de tekening maakt as P 1200 omw/min. Tandwiel 2 en 3 zijn beide op as Q gemonteerd.

Bereken:

- het toerental van as R
- de overbrengsverhouding van as P naar as R

Van as P naar as Q:

$$z_1 \cdot n_1 = z_2 \cdot n_2$$

$$30 \cdot 1200 = 90 \cdot n_2$$

$$n_2 = \frac{30 \cdot 1200}{90} = 400 \text{ omw/min}$$

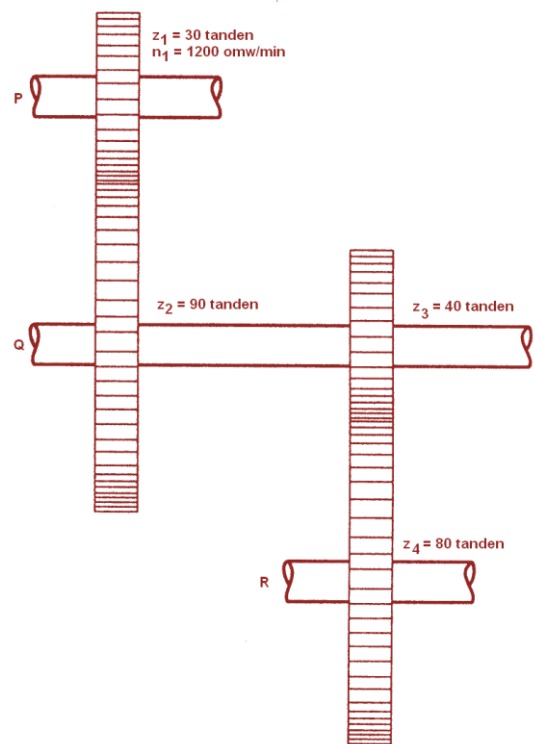
$n_3 = n_2$ want tandwiel 2 en tandwiel 3 zijn op dezelfde as bevestigd.

Van as Q naar as R

$$z_3 \cdot n_3 = z_4 \cdot n_4$$

$$40 \cdot 400 = 80 \cdot n_4$$

$$n_4 = \frac{40 \cdot 400}{80} = 200 \text{ omw/min}$$



b. overbrengingsverhouding van tandwiel 1 naar tandwiel 2

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{30}{90} = \frac{1}{3}$$

overbrengingsverhouding van tandwiel 3 naar tandwiel 4

$$i = \frac{z_3}{z_4} = \frac{40}{80} = \frac{1}{2}$$

De totale overbrengingsverhouding is:

$$i_{\text{totaal}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{6}$$

Controle:

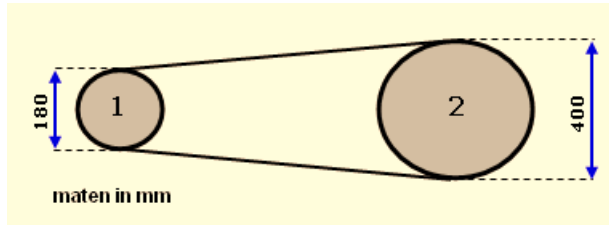
$$n_4 = i_{\text{totaal}} \cdot n_1 = \frac{1}{6} \cdot 1200 = 200 \text{ omw/min}$$

Opgaven.

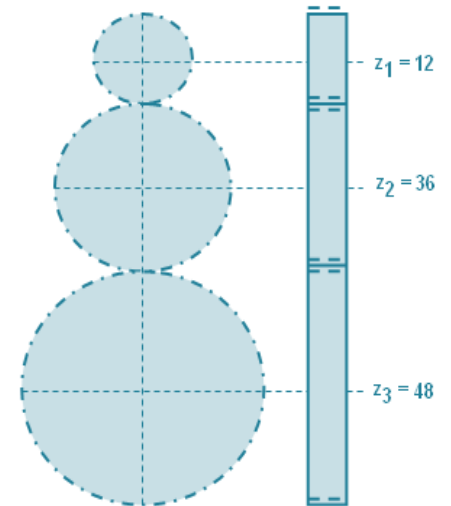
8. Twee tandwielen grijpen in elkaar. Het aantal tanden op tandwiel 1 is 36 en op tandwiel 2 is dat 48.
Als tandwiel 1 een toerental heeft van 3 omw/s, hoe groot is dan het toerental van tandwiel 2?
9. Twee tandwielen grijpen in elkaar en hebben 12 resp. 72 tanden.
Bereken het aantal omwentelingen per minuut van het kleinste tandwiel, als de rotatiefrequentie van het grootste tandwiel 20 omw/s bedraagt.
10. Een aandrijvende as maakt 2000 omwentelingen per seconde en heeft een riemschijf met een diameter van 20 cm. Over deze schijf loopt een riem, die ook gaat over een riemschijf van 80 cm middellijn op de aangedreven as.
Bereken het aantal omwentelingen per seconde en de omtreksnelheid voor de aangedreven as. Hoe groot is de riemsnelheid?

Cirkelbeweging

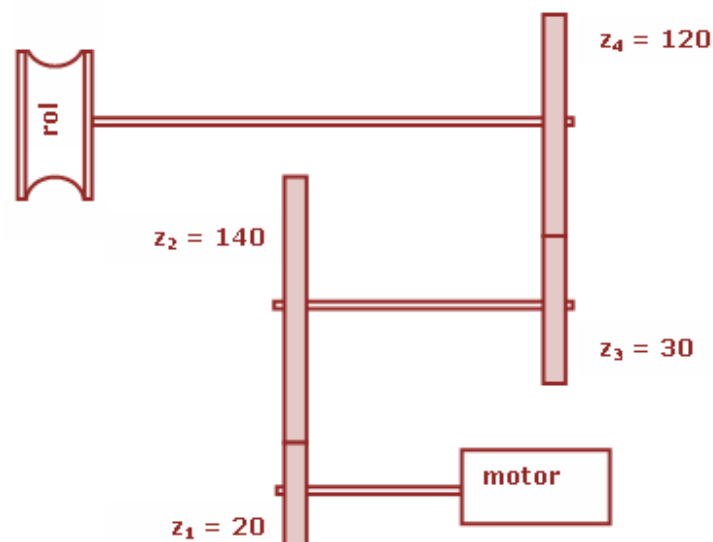
11. Het toerental van wiel 1 is 1200 omw/min.
Hoe groot is de snelheid van de riem op wiel 2?



12. Drie samenwerkende tandwielen hebben een aantal tanden, zoals in de tekening is aangegeven. Het kleinste tandwiel heeft een toerental van 24 omw/s. Bereken het toerental van het grootste tandwiel.



13. Een boormachine wordt aangedreven door een elektromotor en tandwielen. (zie tekening). De elektromotor heeft een toerental van 1400 omw/min. Hoe groot is het toerental van de rol?



Cirkelbeweging

14. Een fietser rijdt op een horizontale weg met een snelheid van 21,6 km/h. De wielen van de fiets hebben een diameter van 70 cm (banddikte meegerekend). De dynamo wordt door het voorwiel aangedreven op een zodanige plaats, dat de diameter van de draaicirkel 66 cm is. Het wieltje op de dynamo heeft een diameter van 15 mm. Er treedt geen slip op.



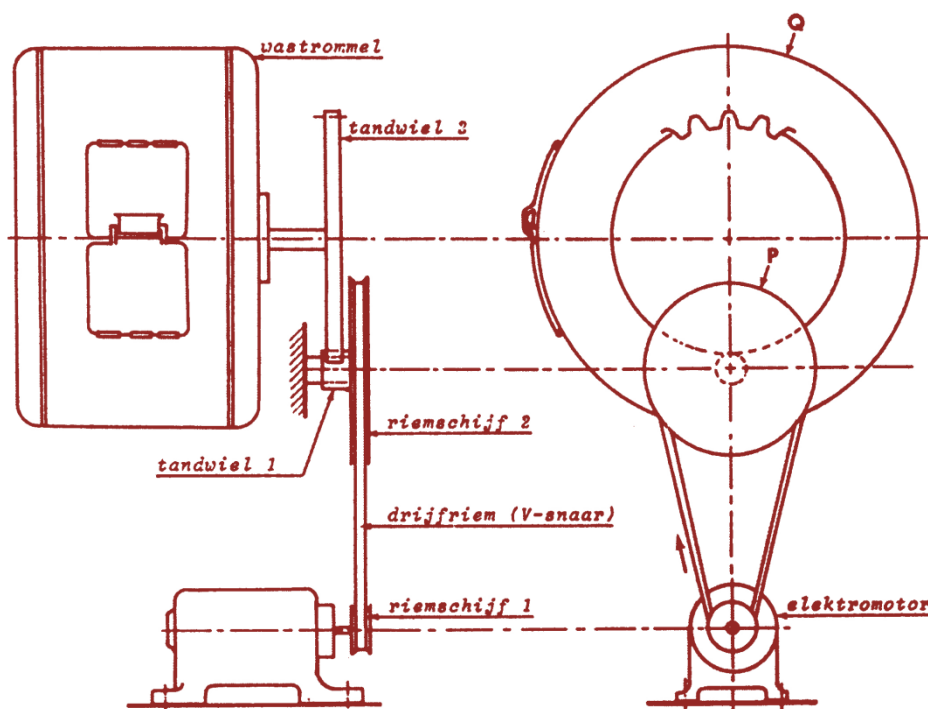
Bereken:

- de omtreksnelheid van het voorwiel.
- de snelheid van het hoogste punt van de band ten opzichte van de weg.
- het toerental van de dynamo in omwentelingen per seconde.

De kettingwielen op de trapas en het achterwiel hebben respectievelijk 46 en 18 tanden.

- Bereken het toerental van de trapas in omwentelingen per minuut.

15. Een bepaald type wasmachine heeft een wastrommel met een diameter van 450 mm. De aandrijving van de wastrommel geschiedt overeenkomstig de tekening. We beschouwen de wasmachine zonder water en zonder wasgoed! De riemschijven 1 en 2 hebben diameters van respectievelijk 35,0 mm en 175 mm. Tandwiel 1 vormt één geheel met riemschijf 2.



Cirkelbeweging

Op een gegeven moment draait de wastrommel met een constante rotatiefrequentie van 1,20 omw/s. De as van de elektromotor maakt dan $2,88 \cdot 10^3$ omwentelingen per minuut en draait rechtsom.

Stel vast:

Draait de wastrommel rechts- of linksom?

Bereken:

- a. de omtreksnelheid van een punt P aan de omtrek van riemschijf 2.
- b. de omtreksnelheid van zowel tandwiel 1 als tandwiel 2.

Cirkelbeweging

Warmte

6



6 Warmte

6.1 Verbrandingswarmte

Warmte kan op verschillende manieren verkregen worden. Eén van die manieren is het verbranden van stoffen, zoals de verbranding van steenkool, aardolie of aardgas. Bij de verbranding van stoffen komt niet evenveel energie vrij.

de totale hoeveelheid warmte die bij een volledige verbranding vrijkomt wordt de verbrandingswarmte genoemd.

Voor vaste en vloeibare stoffen is de standaardhoeveelheid die dan verbrand wordt 1 kg. Voor gasvormige brandstoffen wordt gerekend met de normaal-kubieke meter, nm^3 . Dit is 1 m^3 gas met een temperatuur van 273 K (0°C) en een druk van 1 bar. De verbrandingswarmte voor vaste en vloeibare stoffen wordt aangegeven in de eenheid J/kg en voor gasvormige brandstoffen in J/m^3 .

In onderstaande tabellen staan de verbrandingswarmte voor verschillende veel toegepaste brandstoffen:

soort stof	verbrandingswarmte (x 1000 kJ/kg)		soort stof	verbrandingswarmte (x 1000 kJ/ m^3)
hout	17,5		aardgas	30
steenkool	30		waterstofgas	13
stookolie	40			
dieselolie	42			
benzine	44			

Opgaven.

1. De verbrandingswarmte van benzine is 45000 J/kg .
De dichtheid van benzine bedraagt 600 kg/m^3 .
Hoeveel warmte komt vrij bij de volledige verbranding van 1 liter benzine?
2. In de winter wordt in een huishouden gemiddeld 20 m^3 aardgas per dag verbruikt.
Bereken de hoeveelheid warmte die vrijkomt bij de verbranding van 20 m^3 aardgas.

3. Veel moderne elektriciteitscentrales gebruiken steenkool als brandstof. Het gaat hier om aanzienlijke hoeveelheden, die meestal in tonnen worden uitgedrukt. (1 ton = 1000 kg). Bereken de hoeveelheid warmte die vrijkomt bij de verbranding van 200 ton steenkool.



4. Een auto heeft bij een snelheid van 100 km/h een brandstofverbruik van 1:11. Dit betekent dat de auto 1 liter benzine verbruikt op 11 km. De verbrandingswarmte van benzine bedraagt 33 MJ/liter. Bereken hoeveel energie de automotor per kilometer opneemt.

6.2 Rendement

De totale energieomzet in Nederland in een jaar bedraagt ongeveer $2,7 \cdot 10^{18}$ J. Deze hoeveelheid energie wordt omgezet in elektriciteitscentrales, bedrijven, huizen en in het verkeer. Bij al deze energieomzettingen geldt dat hoeveelheid energie die er aan de ene kant ingaan er aan de andere in gelijke hoeveelheden weer uitkomt.

Dit wordt de **wet van behoud van energie** genoemd.

Maar lang niet alle energie wordt omgezet in een nuttige vorm. Bij elke energieomzetting gaat een deel in een niet-buikbare vorm verloren.

Bij een gloeilamp wordt een gedeelte van de elektrische energie omgezet in warmte.

Dit is een vorm van energie die niet bruikbaar is voor dit proces, omdat een gloeilamp de opzet heeft ons licht te verschaffen.

Deze warmte moet meestal ongebruikt worden afgevoerd en levert dus energieverlies op.

De verhouding tussen nuttig gebruikte energie en toegevoerde energie noemen we het **rendement** η van het proces.

In formule:

$$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{toe}}} \cdot 100\%$$

hierin is

η	=	het rendement, in %;
E_{nuttig}	=	de hoeveelheid nuttig gebruikte energie, in J;
E_{toe}	=	de hoeveelheid toegevoerde energie, in J;

Het rendement wordt ook wel het **nuttig effect** van de omzetting genoemd.

Warmte

Het rendement kan ook worden uitgedrukt in het quotiënt van nuttig vermogen en toegevoerd vermogen, omdat vermogen de hoeveelheid energie is die in één seconde wordt omgezet. De eenheid van vermogen is J/s of W. In formule kunnen we dus zeggen:

Voor het rendement geldt dan ook de formule:

$$\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{toe}}} \cdot 100\%$$

hierin is:

η = het rendement, in %;
 P_{nuttig} = het nuttig vermogen, in W;
 P_{toe} = het toegevoerde vermogen, in W.

Voorbeeld.

Op een winterdag wordt in een huis 15 m³ aardgas verbruikt om het huis te verwarmen.

Van de geleverde warmte verdwijnt 20% door de schoorsteen.

Hoeveel warmte levert het aardgas aan het huis voor verwarming?

1 m³ aardgas levert 30.000 kJ warmte.

15 m³ aardgas levert aan warmte 15 x 30.000 = 450.000 kJ

Slechts 80% wordt als warmte aan het huis geleverd.

0,8 x 450.000 = 360.000 J

Of met de formule:

$$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{toe}}} \cdot 100\% \quad \rightarrow \quad E_{\text{nuttig}} = \eta \cdot E_{\text{toe}}$$

$$E_{\text{nuttig}} = 0,8 \cdot 450000 = 360000 \text{ J}$$

Warmte

Voorbeelden van apparaten waarin energie wordt omgezet en het rendement van die omzetting:

energie-omzetter	rendement
gloeilamp	5%
spaarlamp	30%
TL-lamp	30%
CV-ketel	70-90%
automotor	30%
brommermotor	25%
gasfornuis	85%
elektrisch fornuis	90%
menselijk lichaam	20%

Het rendement van een gloeilamp is 5%. Dat wil zeggen dat 5% van de toegevoerde hoeveelheid elektrische energie wordt omgezet in licht. Gebruiken we de lamp als verwarmingsbron dan is het rendement van de lamp 95%, want 95% van alle toegevoerde elektrische energie wordt in warmte omgezet.

In een elektriciteitscentrale wordt fossiele brandstof, zoals steenkool, aardolie en aardgas verstoekt en omgezet in elektrische energie. Het rendement van zo'n centrale is maar 20%. De rest gaat verloren als afvalwarmte (warmwater dat vroeger geloosd werd).

Tegenwoordig probeert men deze afvalwarmte nuttig te gebruiken. De warmte wordt dan gebruikt voor het verwarmen van huizen en andere gebouwen die dicht bij zo'n centrale staan. Dit wordt *warmtekrachtkoppeling* genoemd. Ook op kleine schaal, bv. in modern gebouwde woonhuizen, zijn dergelijke toepassingen mogelijk. Denk aan het terugwinnen van warmte uit douchewater.

We moeten dus zuinig zijn met de hoeveelheid energie die we op aarde hebben. Dat kan op verschillende manieren:

alleen energie gebruiken als het echt nodig is;
apparaten die energie omzetten, gebruiken met een zo hoog mogelijk rendement.

Voorbeelden:

energiezuinige lampen gebruiken
licht niet onnodig laten branden
ramen en deuren in de winter niet open laten staan
hoogrendementsketel bij de centrale verwarming gebruiken
daken, vloeren en muren isoleren
thermopane beglazing
gordijnen in de winter op tijd dichtdoen



Warmte

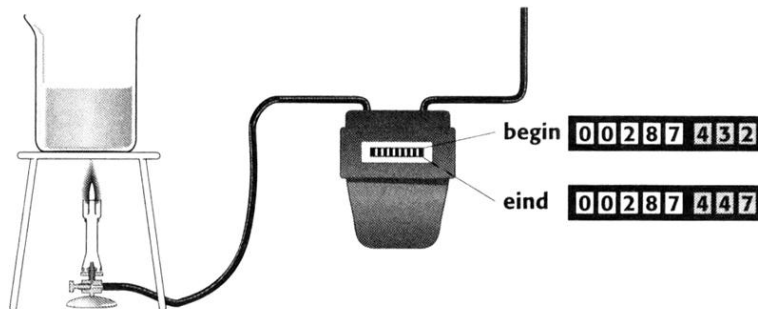
Opgaven.

5. Om een kamer tot een gewenste temperatuur op te warmen is 110.000 kJ warmte nodig. Er moet om deze warmte te produceren 4 m³ aardgas worden verbrand. Bereken het rendement van deze aardgasverbranding.
6. Sander is dol op chocoladerepen. De opgevouwen wikkel van een reep is hieronder afgebeeld. Om de energie die Sander naar binnen krijgt bij het eten van deze reep weer weg te werken gaat Sander touwtje springen. De energie uit de reep wordt voor 30% omgezet in energie om te springen. De energie die nodig is om een sprong te maken bedraagt 35 kJ.

Bereken de hoeveelheid sprongen die Sander moet maken om de energie van deze reep te verbruiken.

informatie		voedingswaarde	
C1000 Chocolade, melkchocolade met hazelnoot.		gemiddeld per 100 g:	2362 kJ
ten minste houdbaar tot: Zie achterzijde.		energiewaarde	(567 kcal)
bewaaraadvies: Koel (max. 18°C) en droog bewaren.		eiwitten	7,0 g
Kan sporen van pinda's en gluten bevatten.		koolhydraten	48,0 g
INHOUD		waarvan suikers	46,1 g
75g e		vetten	38,1 g
		waarvan verzadigd	20,3 g
		enkelvoudig	
		onverzadigd	16,7 g
		meervoudig	
		onverzadigd	1,0 g
		cholesterol	15,0 mg
		voedingsvezel	3,0 g
		natrium	0,06 g

7. Tijdens een practicum krijgen twee studenten de opdracht om water aan de kook te brengen op een gasbrander. Ze moeten hiervan het rendement bepalen. De studenten hebben uitgerekend dat $1,8 \cdot 10^5$ J nodig is om alleen de hoeveelheid water die ze gebruiken tot het kookpunt te verwarmen. Om het gasverbruik te meten, sluiten ze een gasmeter aan.



De gasmeter staat op 287,432 m³ voordat de proef begint. Bereken het rendement bij het aan de kook brengen van het water.

6.3 Temperatuur

Wanneer een voorwerp verwarmd wordt, neemt de snelheid, waarmee de moleculen zich bewegen, toe, zodat het aantal botsingen toeneemt en de Vanderwaalskrachten niet kunnen beletten, dat de afstand tussen de moleculen vergroot wordt.

Men neemt dit waar als de uitzetting van het voorwerp. Deze uitzetting gaat voort totdat er tussen de Vanderwaalskrachten en de bewegingskrachten weer evenwicht is bereikt.

de snelheid van de moleculen is bepalend voor de temperatuur van een stof.

Als we over de temperatuur spreken dan gebruiken we de eenheid **Celsius**.

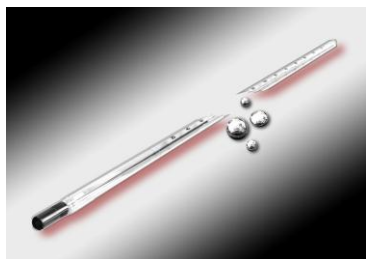
In 1742 heeft Celsius de thermometer ontwikkeld. Hij ontdekte dat een vloeistof uitzet als de temperatuur van de vloeistof hoger wordt. Van deze eigenschap maakte hij gebruik om de thermometer te maken. Hij nam een dunne glazen buis met aan een uiteinde een doorboorde kurk. Hij plaatste de buis op een kolf die met vloeistof gevuld was en zorgde ervoor dat er ook vloeistof in de buis stond.

De kolf werd eerst in een bak met smeltend ijs geplaatst en daarna in een bak met kokend water. De vloeistof kreeg daardoor verschillende standen in de buis, die hij aanstreepte.

Hij noemde het onderste streepje $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en het bovenste $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. De afstand verdeelde hij in 100 gelijke afstanden, die ieder een graad Celsius werden genoemd.

Toen de thermometer gebruikt werd, bleek al snel dat het bereik te klein was. De vloeistof in het buisje kon boven de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ uitgaan, maar ook onder de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ zakken.

Men heeft dit opgelost door boven de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ in gelijke afstanden streepjes bij te plaatsen en onder de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ een minteken te gebruiken.

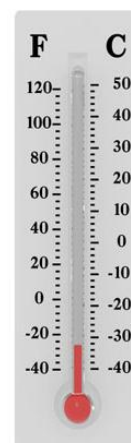


Voor algemeen gebruik zijn het meest bekend de vloeistofthermometers en in het bijzonder de **kwikthermometer**. Het voordeel van kwik is onder andere dat het snel de temperatuur van de omgeving aanneemt en onttrekt hieraan slecht weinig warmte. Kwik wordt vast bij $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Voor lagere temperaturen gebruik men **alcoholthermometers**, waaraan wat kleurstof wordt toegevoegd om de thermometer beter te kunnen aflezen.

We kunnen ons afvragen of het mogelijk is de temperatuur zo te verlagen dat de moleculen stil komen te staan. Lord Kelvin (1824-1907) heeft zich met deze vraag bezig gehouden en kwam tot de conclusie dat bij $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ alle moleculen stilstaan. Hij noemde daarom $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ het **absolute nulpunt**.

het absolute nulpunt is gelijk aan $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$



Warmte

Er moest nu ook een nieuwe eenheid van temperatuur komen en men heeft voor de absolute temperatuur de eenheid **Kelvin (K)** gekozen.

Als we de nieuwe en de oude temperatuurschaal met elkaar vergelijken, dan is het verschil van $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ gelijk aan een temperatuursverschil van 1 K . De absolute temperatuur geven we aan met de letter T en de oude temperatuur met de letter t .

Zo is dus een absolute temperatuur van 0 Kelvin ($T = 0\text{ K}$) gelijk aan een temperatuur van -273 graden Celsius ($t = -273\text{ }^{\circ}\text{C}$). Hieruit volgt dat $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ gelijk is aan $T = 273\text{ K}$ en dat $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ gelijk is aan 373 K .

In de natuurkunde probeert men om een verband dat tussen twee grootheden bestaat, vast te leggen in een formule waarin alleen symbolen en getallen staan.

Voor het verband tussen de oude en de nieuwe temperatuur wordt dat dan:

$$T = t + 273$$

Hierin is:

T = de absolute temperatuur, in K;
 t = de temperatuur, in $^{\circ}\text{C}$.

Een bijzondere vloeistofthermometer is de koortsthermometer. Deze koortsthermometer wijkt op een aantal punten af van de gewone vloeistof thermometer. De koortsthermometer geeft alleen de temperaturen aan tussen $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $42\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Het glazen buisje is zo nauw gemaakt dat de afstand van een temperatuursverschil van $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ groot is en het eenvoudig maakt een temperatuur af te lezen op $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ nauwkeurig.

Het kwik in de thermometer loopt niet terug als de temperatuur daalt. Het teruglopen van het kwik naar het reservoir wordt verhinderd door een capillair tussen het glazen buisje en het reservoir. Vandaar dat als je een koortsthermometer wilt gaan gebruiken, je deze eerst af moet slaan om het kwik weer in het reservoir te krijgen.



Tegenwoordig gebruikt men steeds meer de digitale koortsthermometer.

Toch is temperatuur een geheel ander begrip dan warmte. Twee blokjes ijzer hebben dezelfde temperatuur, maar een verschillende massa, d.w.z. een verschillend aantal moleculen. Gelijke temperatuur betekent dat de gemiddelde snelheid van de moleculen in beide blokjes hetzelfde is. De gemiddelde hoeveelheid energie per molecuul is dus in beide blokjes ook gelijk, maar de totale energie (warmtehoeveelheid) niet.

Een warmtehoeveelheid is een hoeveelheid energie.
Temperatuur is een grootheid die bepaald wordt door de gemiddelde hoeveelheid energie per

Warmte

Het is dus mogelijk, dat een grote tank koud water meer warmte bevat dan een klein bakje heet water.

In veel Engelssprekende landen gebruikt men tot op heden de thermometer van Fahrenheit. Fahrenheit plaatste zijn thermometer, gevuld met alcohol, in een mengsel van sneeuw, ijs en salmiak. Bij de stand van de alcohol in zijn thermometer, geplaatst in dit koudmakende mengsel, plaatste hij het nulpunt (0 °F).

Zijn nulpunt komt een stuk lager te liggen dan het nulpunt bij Celsius.

Bij de temperatuur van het menselijk bloed (ongeveer 37 °C) plaatste Fahrenheit 100 °F.

Voor het omrekenen van Celsius naar Fahrenheit, moet het aantal graden Celsius met 1,8 vermenigvuldigd worden en dan nog eens 32 er bij optellen.

In formule:

$$F = 1,8C + 32$$

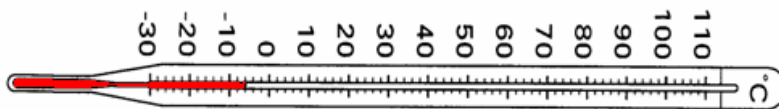
Voorbeeld.

Hoeveel graden Celsius is gelijk aan 92 °F?

$$F = 1,8C + 32 \quad \Rightarrow \quad C = \frac{F - 32}{1,8} \quad \Rightarrow \quad C = \frac{92 - 32}{1,8} = 33,3 \text{ °C}$$

Opgaven.

8. Een thermometer heeft de afleesschaal uit de figuur.



Welke temperatuur wijst de thermometer aan?

9. Bij een ziek persoon wordt met behulp van een koortsthermometer de lichaamstemperatuur gemeten. Deze koortsthermometer bevat kwik. De aanwijzing van de thermometer verandert niet als hij in de veel koudere lucht van de kamer is gebracht om hem af te lezen.
Waarom zakt het kwik in de koortsthermometer dan niet?
10. Reken 77 °C en -77 °C om in K.
11. De temperatuur in een ruimte loopt op van 12 °C tot 27 °C.
Hoe groot is het temperatuurverschil in K?

12. Hoeveel °C is gelijk aan 372 K?
13. Van de onderstaande blokjes zijn de temperaturen gegeven.



Welke blokjes hebben dezelfde temperatuur?

14. Vul de ontbrekende waarden in onderstaande tabel:

Celsius (°C)	Kelvin (K)	Fahrenheit (°F)
0		
40		
	40	
		100

6.4 Fasen

We onderscheiden drie **aggregatietoestanden** of **fasen**:

- de vaste fase
- de vloeibare fase
- de gasvormige fase



In welke fase een stof verkeert, hangt af van de kracht die de sterkste invloed heeft op de moleculen. Wanneer we bij een temperatuur van -273 °C (het absolute nulpunt) beginnen, dan zal bij alle stoffen de Vanderwaalskracht zeer sterk zijn en de bewegingskracht gelijk aan nul, omdat bij deze temperatuur alle moleculen stilstaan.

Hoe hoger de temperatuur van een stof wordt, des te groter zal de bewegingskracht worden tussen de moleculen.

Warmte

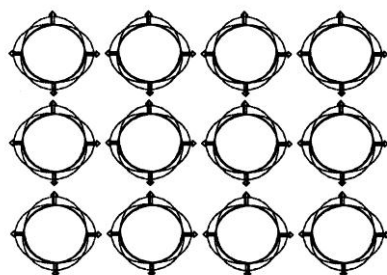
De Vanderwaalskracht zal gewoon blijven werken, maar hij zal steeds sterker worden tegengewerkt door de bewegingskracht. Dit betekent dat de moleculen steeds verder uit elkaar gaan, waardoor de Vanderwaalskracht afneemt. De stof zal hierdoor gaan uitzetten. Als de temperatuur steeds hoger wordt zal de bewegingskracht zo groot worden, dat de moleculen hun vaste plaats in het rooster, waarin ze in de vaste fase zitten, verlaten en de stof zal vloeibaar worden.

De Vanderwaalskracht wordt hierdoor ook kleiner, omdat de moleculen geen vaste afstand meer tot elkaar hebben, maar vrij kunnen bewegen. Wordt de temperatuur van een vloeistof verhoogd, dan zullen de moleculen zoveel snelheid krijgen, dat ze de mogelijkheid hebben om over te gaan naar de gasvormige fase. In de gasvormige fase zijn de moleculen zover uit elkaar dat de Vanderwaalskracht zeer klein wordt.

Wanneer we de temperatuur steeds verder laten afnemen, gebeurt het omgekeerde. De bewegingskrachten worden steeds zwakker en de Vanderwaalskracht krijgt weer meer invloed op de moleculen, zodat deze dichter bij elkaar kruipen totdat ze uiteindelijk weer in een vast rooster zitten en zelfs tot stilstand komen.

6.4.1 de vaste fase

Bij een vaste fase zitten de moleculen in een vast rooster op hun plaats heen en weer te trillen. Doordat de moleculen in een vast rooster zitten, kan een vaste stof niet worden samengeperst.



Hoe hoger de temperatuur is, des te groter is de uitwijking ten opzichte van de evenwichtstand bij het trillen. Daarom zal een vaste stof uitzetten wanneer hij verwarmd wordt.

We kunnen dit vergelijken met een rij mensen, die eerst rustig tegen elkaar staan en daarna heen en weer gaan bewegen. Iedere persoon in die rij zal dan meer ruimte nodig hebben en de rij wordt daardoor langer.

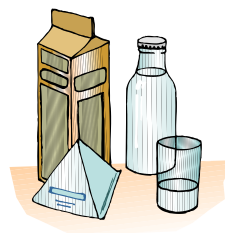
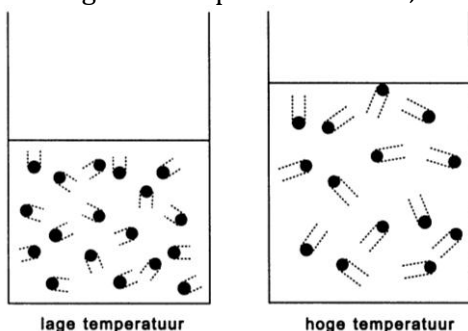
op een bepaald moment zullen de moleculen zo ver uit elkaar zijn, dat ze uit het rooster springen en overgaan naar de vloeibare fase, we noemen dit moment het smeltpunt van de vaste stof.

Iedere stof blijkt zijn eigen smeltemperatuur te hebben. We kunnen dus de stoffen herkennen aan hun smeltpunt.

6.4.2 de vloeibare fase

In de vloeibare fase zitten de moleculen niet meer in een vast rooster, zij zwerven vrij rond binnen de vloeistof. Een vloeistof is niet samen te persen. Hij neemt de vorm aan van het voorwerp, waar hij in zit. Ook vloeistoffen zetten uit bij verwarming.

Hoe hoger de temperatuur wordt, hoe sneller de moleculen gaan bewegen.



Uiteindelijk bewegen de moleculen zo snel dat de bewegingskracht het wint van de Vanderwaalskracht. De moleculen verlaten dan de vloeistof en gaan over in de gasvormige fase. De temperatuur waarbij dit gebeurt, heet het **kookpunt** van de vloeistof.

het kookpunt van een vloeistof is dus die temperatuur waarop alle moleculen zoveel snelheid hebben dat ze overgaan in de gasvormige fase, iedere stof heeft zijn eigen kookpunt.

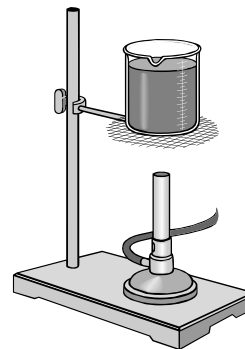
Wanneer we een bekersglas met koud water op een driepoot zetten en er een brander onder aansteken, dan kunnen we het volgende waarnemen.

Zodra de vlam aangestoken is, treedt er condensvorming op aan de buitenkant van het glas. Dit komt doordat bij de verbranding van aardgas o.a. water vrijkomt. De waterdamp die ontstaat bij deze verbranding wordt afgekoeld door de koude buitenkant van het glas en condenseert daar, zodat dat waar te nemen is als vorming van waterdruppeltjes aan de buitenkant van het bekersglas. Na een tijdje verdwijnt dit water weer, omdat het glas door vlam zo warm wordt dat waterdamp hier niet meer voldoende wordt afgekoeld om te condenseren.

In het bekersglas kunnen we waarnemen, dat vrijwel direct vanaf het begin gasbelletjes ontstaan. Dit zijn belletjes zuurstof, die in het water zijn opgelost en er bij verhitting uitkomen. Na enige tijd is de zuurstof uit het water verdreven en zien we geen gasbelletjes meer.

Als de vlam geruime tijd aanstaat, zal zich op de bodem van het bekersglas een dampbel vormen, die omhoog stijgt. De eerste dampbellen zullen de oppervlakte niet bereiken, maar in elkaar klappen door de druk van het water en de luchtdruk en ook doordat de temperatuur van de dampbel afneemt, waardoor hij bij het opstijgen aan kracht verliest.

Wel is het zo, dat de dampbellen hun energie afstaan aan het omringende water, waardoor dit water in temperatuur zal stijgen. Na verloop van tijd zal het omringende water zo warm zijn, dat



Warmte

de dampbellen de oppervlakte bereiken zonder in elkaar te klappen. Alle moleculen in het water zullen dan genoeg snelheid bezitten om over te gaan in de gasvormige fase en we noemen daarom de temperatuur waarbij dit zich afspeelt het kookpunt van de stof.

Doordat de luchtdruk invloed heeft op het in elkaar klappen van de dampbellen, zal de luchtdruk dus ook invloed hebben op het kookpunt van een stof. Hoe hoger de luchtdruk is, hoe groter de temperatuur van een dampbel zal moeten zijn om genoeg kracht te hebben om de oppervlakte te bereiken. Het kookpunt komt dus hoger te liggen.

In de praktijk maken we van deze eigenschap gebruik bij een snelkookpan. Een snelkookpan is een gesloten pan waarin water dat verdampt, niet kan verdwijnen, maar zich ophoopt boven de vloeistof. Hierdoor zal de druk op het oppervlak groter worden en dus het kookpunt van de vloeistof hoger liggen.

Aardappels worden eetbaar door ze ongeveer 20 minuten bij 100 °C te koken. Bakken we de aardappel in de vorm van frieten in olie van 180 °C dan zijn de aardappels veel sneller gaar.

In een snelkookpan ligt het kookpunt van water bij ongeveer 120 °C en zal de aardappel dus minder lang hoeven te koken dan bij 100 °C.



Wanneer we een berg beklimmen, merken we dat de luchtdruk lager wordt. Willen we op grote hoogte aardappels koken in water, dan komen we tot de ontdekking dat de kooktemperatuur van water lager ligt dan 100 °C, waardoor we de aardappels niet gaar krijgen.

Zetten we een glas water van 30 °C onder een glazen stolp en zuigen we daarna de lucht weg uit de stolp, dan kunnen we het water laten koken bij een temperatuur van 30 °C, omdat er niet genoeg lucht meer boven het water is om de dampbellen in elkaar te drukken.

6.4.3 de gasvormige fase

In de gasvormige fase zitten de moleculen zeer ver uit elkaar en heeft de Vanderwaalskracht geen merkbare invloed meer op de moleculen, omdat de afstand te groot is geworden. Een gas neemt elke ruimte in en verspreidt zich zeer spontaan. Dit noemen we **diffusie**.

diffusie is een spontane vermenging van stoffen en dit komt in elke fase voor.

In de gasvormige fase is de diffusie zeer snel een feit. In de vloeibare fase gaat diffusie veel langzamer, omdat de deeltjes minder snel bewegen dan in de gasvormige fase en omdat de ruimte tussen de moleculen kleiner is. In de vaste fase komt diffusie nauwelijks voor omdat de deeltjes in vast rooster zitten.

Een gas kunnen we samenpersen tot een vloeistof. Een heel bekend voorbeeld is LPG, een vloeibaar gemaakt gas, dat gebruikt wordt als brandstof voor auto's.

Wanneer een gasdeeltje tegen een wand botst, zal het een kracht op die wand uitoefenen. Deze kracht is zeer klein en de botsing heeft een zeer korte duur, maar door het grote aantal deeltjes, dat voortdurend tussen de wand heen en weer beweegt, zal de wand toch steeds onder druk staan.

Wordt er aan het gas een hoeveelheid warmte toegevoegd dan zal de snelheid van de gasdeeltjes vergroot worden. Dit heeft tot gevolg dat er meer botsingen tegen de wand zullen plaatsvinden, waardoor de druk op de wand vergroot wordt.

6.5 Faseovergangen

Als we water afkoelen beneden 0 °C wordt het ijs, als we ijs vervolgens verwarmen tot boven 0 °C smelt het en hebben we het water weer terug. Dit noemen we een **faseovergang**.

bij een faseovergang kan men de oorspronkelijke stof altijd weer terugkrijgen door afkoelen of door verwarmen.

Het volgende overzicht geeft alle faseovergangen tussen de drie aggregatietoestanden weer.



Warmte

We noemen deze faseovergangen als volgt:

- van vast naar vloeibaar smelten
- van vloeibaar naar vast stollen
- van vloeibaar naar gas verdampen
- van gas naar vloeibaar condenseren
- van vast naar gas sublimeren
- van gas naar vast rijpen

De meeste faseovergangen zijn wel bekend, omdat ze in het dagelijks leven veel genoemd worden.

Het **sublimeren** of **vervluchtigen** is waarschijnlijk niet voor iedereen een bekend verschijnsel. Vervluchtigen kunnen we waarnemen bij mottenballen en kamfer. Mottenballen worden gebruikt om kleren die langere tijd bewaard moeten worden bijvoorbeeld in een kist, te conserveren.

De mottenbal is gemaakt van een vaste stof die rechtstreeks overgaat in een gas met een doordringende geur die de motten op afstand houdt.

Toiletverfrisser in de vorm van een vaste stof gaan ook van de vaste fase rechtstreeks over naar de gasvormige fase.



Ook **rijpen** zal voor sommigen niet zo bekend zijn. We kennen waarschijnlijk wel de ijsvorming, die optreedt wanneer waterdamp in de vorm van wolken zo ver naar beneden daalt, dat deze in aanraking komt met zeer koude ondergrond, zoals bomen in de winter. We zien dan op de takken van de bomen witte, langgerekte ijskristallen verschijnen die we 'rijp' noemen. In een diepvrieskist treedt ook rijpvorming op, als bij het openen lucht naar binnen gaat die waterdamp bevat.



De faseovergang van vloeistof naar gas hoeft niet altijd bij het kookpunt plaats te vinden.

Wanneer wij de was buiten ophangen om te drogen, hoeft de buitentemperatuur niet 100 °C te zijn.

Ook bij een temperatuur van 10 °C zal het water uit de was verdampen.

Verdamping vindt eigenlijk bij elke temperatuur plaats.

Was kan zelfs gedroogd worden bij temperaturen onder het vriespunt.



De moleculen bewegen in een vloeistof vrij rond en botsen tegen elkaar. Als een molecuul op een bepaald moment met meer moleculen die eenzelfde richting hebben botst, zal deze molecuul een versnelling krijgen en daardoor genoeg snelheid hebben om de vloeistof vroegtijdig te verlaten.

Warmte

Als de snelheid van de molecuul niet al te groot is, is de kans dat de molecuul terugvalt in de vloeistof zeer groot.

Wordt een molecuul door bijvoorbeeld de wind meegenomen als deze uit de vloeistof komt, dan zal die vloeistof sneller verdampen. Hoe hoger de temperatuur van een vloeistof is, hoe hoger de snelheid van de moleculen. Dat betekent dat de moleculen door het botsen eerder een snelheid hebben om te ontsnappen aan de Vanderwaalskracht in de vloeistof. De was zal dus bij winderig en warm weer het snelste droog zijn.

Opgaven.

15. In warme en droge landen vindt men soms waterkruiken langs de kant van de weg. Hieruit kunnen voorbijgangers drinken. Deze kruiken zijn poreus, dat wil zeggen dat de wand niet helemaal waterdicht is. Hierdoor voelt zo'n kruik van buiten vochtig aan. Het water in deze kruik blijft koel.

Hieronder staan twee uitspraken over deze kruik:

- I het water in de kruik blijft koel omdat het water aan de buitenkant verdampt, waardoor warmte aan de kruik wordt onttrokken.
- II net als een thermoskan is zo'n poreuze kruik ook geschikt om warm water te houden.

Welke van deze uitspraken is juist?

- a. zowel I als II
 - b. alleen I
 - c. alleen II
 - d. geen van beide
16. In een sigarettenaansteker zit "vloeibaar gas". Hoewel het gevaarlijk kan zijn, kun je het gas eruit laten stromen zonder het aan te steken. De aansteker koelt dan af. Leg uit waarom de aansteker afkoelt.
17. De familie van Oorschot heeft een nieuw huis gekocht. Ze hebben pech, want op een dag springt de watermeter kapot. Zelfs na veel dweilen is de vloer nog steeds erg nat. Om de vloer sneller droog te krijgen, huren ze een vochtvreter. Dit elektrisch apparaat haalt de waterdamp uit de lucht. De vochtige lucht wordt het apparaat ingezogen, waarna de lucht wordt afgekoeld, waardoor de waterdamp vloeibaar wordt. Het water wordt dan een in reservoir opgevangen. Hoe heet de faseverandering waarbij waterdamp vloeibaar wordt en komt er bij deze faseverandering warmte vrij of moet er warmte worden toegevoegd?

18. Uit een tabellenboekje zijn de volgende gegevens overgenomen:

nr	naam van de stof	smeltpunt K	kookpunt K
1	aceton	178	329
2	ammoniak	195	240
3	chloor	172	239
4	glycerol	292	563
5	helium		4
6	koolstofdioxide	95	216
7	kwik	234	630
8	messing	1170	
9	paraffine	325	
10	water	273	373
11	wolfraam	3650	5800

De gegevens uit de tabel zijn bepaald bij een druk van 10^5 Pa (normale omstandigheden). Ga voor de in bovenstaande tabel genoemde stoffen na in welke fase(n) deze zich bevinden bij kamertemperatuur ($T = 292$ K) en normale druk ($p = 10^5$ Pa). Geef je antwoord door in onderstaande tabel achter iedere stof in de goede kolom(men) een kruisje te zetten. Maak een tabelletje met de antwoorden.

nr	naam van de stof	vast	vloeibaar	gas
1	aceton			
2	ammoniak			
3	chloor			
4	glycerol			
5	helium			
6	koolstofdioxide			
7	kwik			
8	messing			
9	paraffine			
10	water			
11	wolfraam			

6.6 Warmtetransport

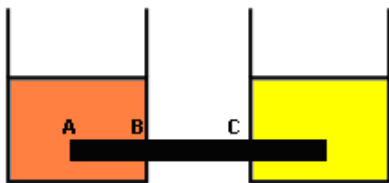
Er zijn drie manieren, waarop warmte getransporteerd kan worden nl.:

- geleiding
- stroming
- straling

6.6.1 geleiding

Wanneer van een metalen staaf het ene uiteinde verwarmd wordt, zal na enige tijd ook het andere eind warm worden.

Wordt de staaf bijvoorbeeld in een bakje met heet water gestoken, dan neemt het gedeelte AB de temperatuur hiervan aan, zodat de moleculen in snellere beweging komen.



Maar dan is het onmogelijk dat de deeltjes vlak naast B aan de rechterzijde een gemiddelde snelheid hebben, die veel kleiner is. Ze worden door botsingen met hun burens zelf ook op grotere snelheid gebracht en zullen de moleculen aan hun rechterkant ook weer sneller doen bewegen. Eerst geleidelijk neemt de snelheid van de deeltjes af. Geleidelijk zal dus ook de temperatuur van B tot C afnemen.

Denkt men zich C verbonden met een tweede bakje water van lagere temperatuur, dan kan hieraan warmte worden afgestaan. De warmte van het eerste bakje is dan door geleiding aan het andere overgedragen.

Deze vorm van warmtetransport vindt dus plaats in vaste stoffen. Niet alle stoffen geleiden de warmte even snel.

Stoffen die de warmte goed geleiden noemt men **goede warmtegeleiders** (bijvoorbeeld koper, ijzer, lood en aluminium).

Stoffen die de warmte slecht geleiden noemt men **slechte warmtegeleiders** of **isolatoren** (bijvoorbeeld hout, glas en steen).

De warmtegeleidingcoëfficiënt is een maat voor het vermogen van een materiaal om warmte te geleiden. Een metalen deurknop voelt, bij dezelfde temperatuur, kouder aan dan de houten deur. Het metaal van de deurknop is een goede warmtegeleider en voert de warmte van de hand weg. Het hout van de deur daarentegen is een relatief slechte warmtegeleider.

Hoe hoger de warmtegeleidingcoëfficiënt, hoe beter de warmte wordt weggevoerd.

In alle vaste stoffen en vloeistoffen vindt warmtegeleiding plaats door het overdragen van trillingsenergie van atomen. In metalen zijn er ook een groot aantal zgn. vrije elektronen aanwezig. Vrije elektronen kunnen snel en gemakkelijk binnen het object bewegen. Zij verklaren het snelle warmtetransport in metalen.

6.6.2 stroming

Bij gassen en vloeistoffen kan zich echter nog een ander verschijnsel voordoen. Door de verwarming ontstaat verschil in dichtheid en hierdoor kunnen weer stromingen ontstaan, die bevorderlijk zijn om de gehele massa sneller te verwarmen.

Boven een kachel zal bijvoorbeeld de lucht opstijgen en aan andere deeltjes warmte afstaan. Langs de wanden en vooral langs de ramen, daalt daarentegen koude lucht neer.

Men spreekt in zulke gevallen van verwarming door **stroming** of **convectie**.

Het opstijgen van warme lucht noemen we **thermie**.

In onze atmosfeer zijn grote convectiestromen aanwezig. Zweefvliegtuigen en vogels maken gebruik van opstijgende warme lucht om hoogte te winnen. Warmte-isolatie door stilstaande lucht in een raam met dubbel glas berust ook op convectiestromen tussen de twee ruiten.



6.6.3 straling

Er bestaat echter nog een geheel andere manier, waarop warmte van het ene voorwerp op het andere kan worden overgebracht.

Op enige afstand van een brandende open haard voelt men de warmte daarvan. Dat dit niet door geleiding van de lucht is, blijkt daaruit, dat wanneer een ijzeren scherm (een betere warmtegeleider dan lucht) voor de open haard geplaatst wordt, de warmte veel minder sterk gevoeld wordt.

Een ander voorbeeld is de warmte van de zon, welke de aarde bereikt. Ook hier is geleiding door de lucht niet mogelijk, daar deze slechts een betrekkelijk dunne laag om de aarde vormt en bij lange na niet tot de zon reikt.

Men spreekt in zulke gevallen van **warmtestraling** of **radiatie**.

Wanneer een voorwerp door een warmtestraal getroffen wordt, zal de uitwerking drieledig kunnen zijn. Gedeeltelijk zal de warmte worden opgenomen of geabsorbeerd, een ander gedeelte wordt teruggekaatst en de rest wordt doorgelaten.

Nu is gebleken, dat de uitstraling niet alleen afhangt van de temperatuur en van de grootte van het oppervlak, maar ook van de toestand daarvan. Donkere voorwerpen stralen de meeste warmte uit, wit gepolijste daarentegen de kleinste hoeveelheid.

Verder is gebleken, dat voorwerpen, die gemakkelijk warmte uitstralen, ook gemakkelijk warmte opnemen en omgekeerd. Een metalen kogel, in de zonnestralen geplaatst, zal veel meer warmte opnemen, wanneer hij met roet bedekt is, dan wanneer hij gepolijst is.

Bij de isolatie van een woonhuis is het belangrijk te weten hoe warmte verloren gaat en welke vorm van warmtetransport er van toepassing is. Bij een radiator vindt warmtestraling plaats naar alle kanten.



De straling die vanaf de radiator in de richting van de muur plaatsvindt, zal de muur verwarmen. De muur die in verbinding staat met de spouw zal de warmte aan de lucht in de spouw door geleiding afgeven.

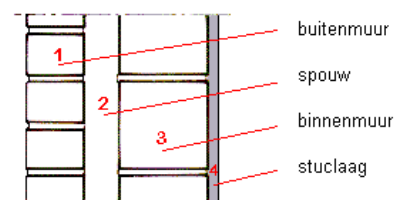
Om dit verlies aan warmte tegen te gaan, kunnen we gebruik maken van het feit dat glimmende voorwerpen straling terugkaatsen. We kunnen aluminiumfolie tegen de muur plakken met de glimmende zijde naar de radiator gekeerd.

We moeten daarbij goed opletten dat de folie de radiator niet raakt, omdat dan het isolatie-effect verdwenen is door de warmtegeleiding die optreedt. Aluminium is namelijk een goede warmtegeleider.

Een kwart van alle warmte in huis gaat door ongeïsoleerde muren naar buiten. Isolatie van buitenmuren is dan ook de moeite waard.

Er zijn verschillende manieren om een muur te isoleren:

- aan de buitenkant,
- de binnenkant en,
- als het een spouwmuur is, in de spouw.



Elk systeem heeft bepaalde voordelen. Bovendien kunnen de kosten flink verschillen. Spouwmuurisolatie is van de verschillende mogelijkheden de voordeligste oplossing. Maar: oudere huizen hebben vaak geen spouw. Ook kan een spouw te smal zijn of vervuild. Men kan dan overwegen de muur aan de buitenzijde of de binnenzijde te isoleren. De spouw is de ruimte tussen de binnen- en de buitenmuur. Door de spouw te vullen met isolatiemateriaal verliest het huis aanzienlijk minder warmte. Spouwmuurvulling is goedkoop.

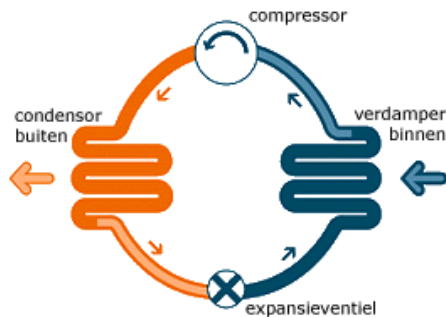
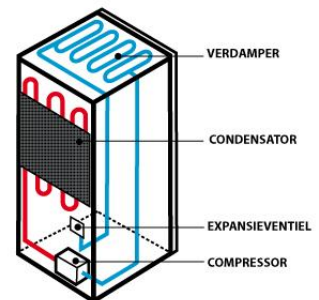
Men verdient deze maatregel dan ook binnen ongeveer drie jaar terug met de besparing op de energierekening. Bovendien is spouwmuurvulling onzichtbaar. Voor de isolatie van een spouw zijn verschillende materialen in de handel. De bekendste zijn minerale wolvlokken (glaswol of steenwol), polyurethaanschuim (PUR-schuim) en latex-gebonden kunststofkorrels. De isolatiewaarde van deze materialen is praktisch gelijk. Ze leveren dus evenveel energiebesparing op. Spouwmuurisolatie is werk voor een erkend isolatiebedrijf.

Koelkast

Door de compressor van een koelkast wordt het gas, tot voor een aantal jaren gebruikte men ammoniak en freon, in de compressor samengeperst, waardoor het gas overgaat in een vloeistof en in temperatuur stijgt. De vloeistof wordt nu door een koeler gestuurd, waar het af kan koelen tot de omgevingstemperatuur. Deze koeler is meestal achter de koelkast geplaatst. De lucht moet vrij langs de koeler kunnen stromen. De warmte

wordt dus afgevoerd naar de omgeving. De afgekoelde vloeistof gaat nu door een verdamper, die in de kast is geplaatst. Hier gaat de koelvloeistof weer verdampen.

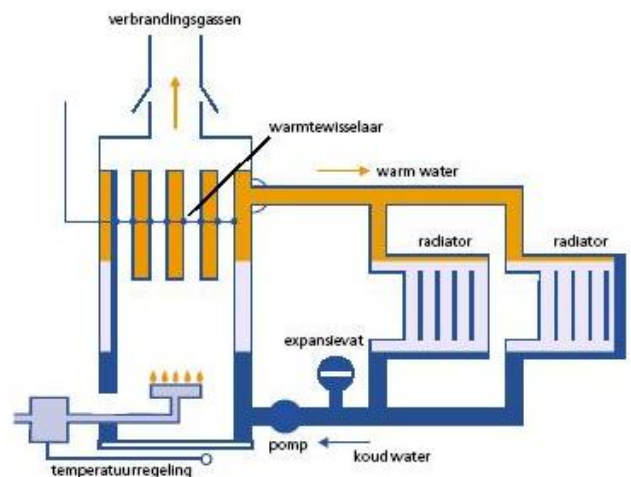
Voor deze verdamping is warmte nodig. De benodigde warmte wordt aan de inhoud van de koelkast onttrokken, waardoor de temperatuur in de kast daalt. Met behulp van de thermostaat in de koelkast, kan men de temperatuur in de koelkast instellen.



Verwarming

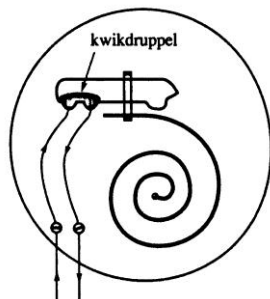
De meeste energie die een gezin verbruikt wordt gebruikt voor de verwarming. In de meeste centrale verwarmingsinstallaties wordt olie of aardgas verbrand. Met deze warmte wordt water verwarmd, dat door een circulatiepomp door de installatie wordt gepompt. Voor de veiligheid zijn er een aantal voorzieningen aangebracht, zoals een ketelthermostaat, die ervoor zorgt draagt, dat het water in de ketel niet te warm wordt. Er is een waakvlambeveiliging, die de gastoevoer afsluit, zodra de gasvlam door wat voor reden ook uitgaat.

In de leiding is een expansievat aangebracht zodat de druk in de leidingen niet te hoog wordt.



Kamerthermostaat

Het in- en uitschakelen van de branders van de verwarmingsketel wordt geregeld door een kamerthermostaat. Als de temperatuur in de kamer te laag wordt, geeft de thermostaat een signaal naar de ketel om de gastoevoer te openen. In de tekening is schematisch een kamerthermostaat weergegeven. Deze thermostaat bestaat uit een bimetaal in spiraalvorm, waarop een glazen buisje met twee elektrische contacten zijn aangebracht. Het glazen buisje bevat een druppel kwik.

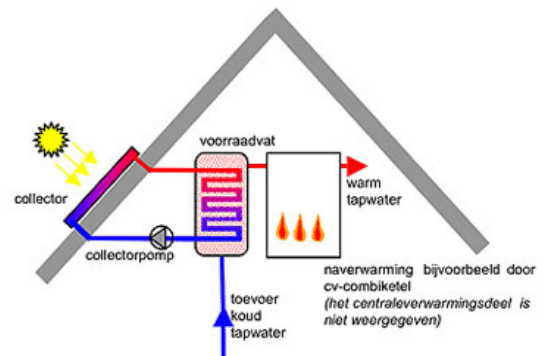


Bij stijging van de temperatuur, zal het bimetaal zich ontrollen en bij het bereiken van de ingestelde temperatuur kantelt de kwikschakelaar zodanig, dat de elektrische stroom naar de ketel verbroken wordt en de gastoevoer afgesloten wordt. Is de temperatuur te laag, dan zal het bimetaal zich oprollen waardoor de kwikschakelaar contact maakt.

Warmte

Zonnecollector

De warmte van de zon kan ook gebruikt worden om water te verwarmen. Dit wordt gedaan met behulp van zonnecollectoren. Een zonnecollector zet de energievorm licht om in de energievorm warmte. De zonnecollector bestaat uit een buizenstelsel, waardoor water stroomt. Dit buizenstelsel is gemonteerd op een zwarte plaat. Deze plaat absorbeert het zonlicht en de plaat wordt warm. De temperatuur van het water dat door de buis stroomt, wordt ook hoger. In de tekening is een combinatie getekend van een zonnecollector met een klassieke warmwatervoorziening zoals een boiler.



Toekomstige energiebronnen

Door de groeiende industrialisering zal de behoefte aan energie steeds groter worden. Maar de voorraden aan steenkool, aardolie en aardgas zijn niet onuitputtelijk. Wil men in de toekomst aan deze behoefte voldoen, zal er naar nieuwe energiebronnen gezocht moeten worden. Hiervoor zijn een aantal mogelijkheden voor handen:

- zonne-energie
- windenergie
- getijdenenergie
- kernenergie
- kernfusie



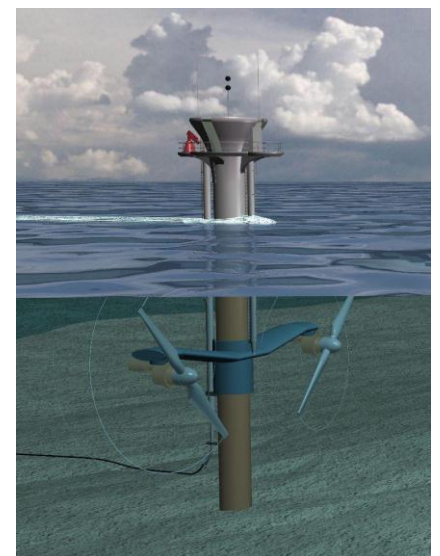
De experimenten met de eerste drie genoemde energiebronnen zijn al gedaan, maar de opbrengst van deze energiebronnen is niet zo groot, dat men in de toekomst aan deze bronnen genoeg heeft om de energiebehoefte te kunnen dekken.

Met doet al proeven met windmolens en windturbines. De zonne-energie heeft het nadeel dat men deze energie alleen maar krijgt als de zon schijnt.

De getijdencentrale wordt alleen daar toegepast, waar het verschil tussen eb en vloed groot is, zoals in Frankrijk aan de Normandische kust.

Kernenergie heeft het grote nadeel dat men een grote hoeveelheid radioactief afval krijgt uit de centrale, waar op het ogenblik nog geen methode voor handen is, om het weg te werken.

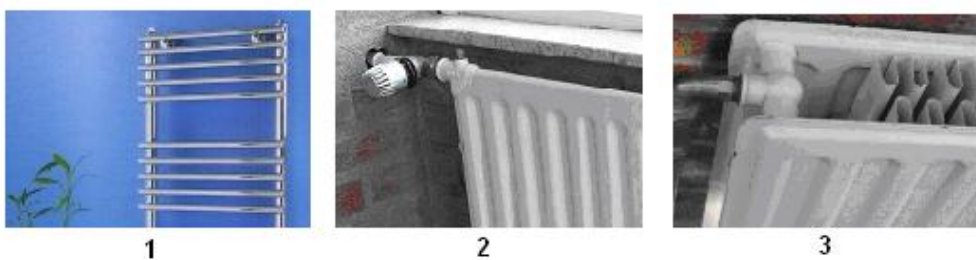
Kernfusie is een techniek waarbij men atoomkernen laat samensmelten. Bij deze samensmelting komt een ontzettende hoeveelheid warmte vrij. Er bestaat echter op aarde geen materiaal dat bestand is tegen de hoge temperaturen die bij dit proces een rol speelt. Men moet dan denken aan temperaturen van 100 miljoen graden Celsius.



Warmte

Opgaven.

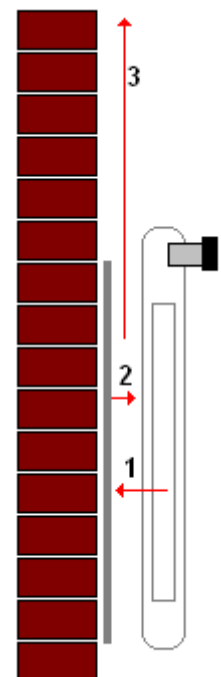
19. In de figuur staan drie typen radiatoren van een centrale verwarming. De radiatoren zijn even lang en even hoog. Ze zijn alle gevuld met water van dezelfde temperatuur. Ook de omgevingstemperatuur in de ruimte is gelijk.



Welke radiator zal per tijdseenheid de meeste warmte afstaan?

- a. de design radiator
 b. de enkelplaats radiator
 c. de dubbelplaats radiator
 d. alle drie geven evenveel warmte
20. De muur achter een radiator neemt ook warmte op. Om dit zoveel mogelijk tegen te gaan, wordt radiatorfolie achter de radiator gedaan. In de figuur is deze situatie getekend. De pijltjes 1, 2 en 3 geven het warmtetransport aan. Daarbij geeft pijltje 2 dat warmtetransport aan na weerkaatsing door de folie. Welke vormen van warmtetransport vinden vooral plaats in de richting van de pijltjes?

	pijltje 1	pijltje 2	pijltje 3
A	straling	straling	straling
B	straling	straling	stroming
C	stroming	straling	straling
D	stroming	straling	stroming
E	stroming	stroming	straling
F	stroming	stroming	stroming



21. Op huizen brengt men als alternatieve energiebron ook in ons land wel eens een zonnecollector aan. In de tekening zijn aan het huis vier mogelijke plaatsen aangegeven.



Tegen welk vlak (A, B, C of D) kan het beste een zonnecollector aangebracht worden? Licht je antwoord toe.

22. Een magnetron is een onmisbaar huishoudelijk apparaat geworden. Met behulp van dit systeem kan snel voedsel of een drank verwarmd worden door toepassing van microgolven. De microgolven beïnvloeden de aanwezige watermoleculen, waardoor het voedsel of de drank opwarmt. Welke invloed hebben de microgolven op de watermoleculen waardoor een drank opwarmt?



- a. de watermoleculen gaan langzamer bewegen
 - b. de watermoleculen gaan sneller bewegen
 - c. de watermoleculen zetten uit
23. Iemand zet een kan met melk in de magnetron. De microgolven dringen slechts enkele cm diep in de melk door. Toch wordt alle melk warm. Door welke manier van warmtetransport gebeurt dat vooral?
- a. door geleiding
 - b. door straling
 - c. door stroming

Warmte

24. Iemand haalt een kan met hete melk uit de magnetron en merkt op dat het handvat van de kan niet warm aanvoelt. Terwijl hij de kan melk wegbrengt, voelt hij dat het handvat van de kan ook warm wordt.
Door welke manier van warmtetransport wordt het handvat vooral door de rest van de kan verwarmd?
- a. door geleiding
 - b. door straling
 - c. door stroming

25. Hieronder staat een aantal voorbeelden van energiebronnen:

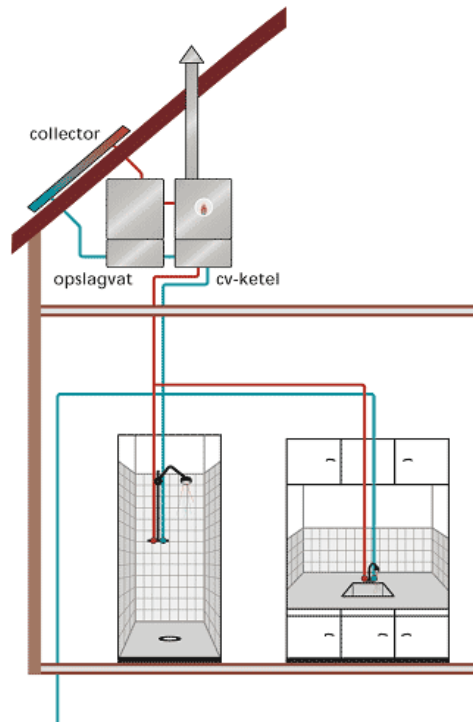
1	aardgas	6	steenkool
2	aardolie	7	uranium
3	aardwarmte	8	waterkracht
4	biogas	9	wind
5	getijden	10	zon

Welke van deze bronnen worden als delfstoffen gewonnen?

Welke van deze bronnen behoren tot de fossiele brandstoffen?

Welke van deze bronnen bezitten bewegingsenergie (= kinetische energie)?

26. In een zonnehuis levert de zon een deel van de warmte die in het huishouden nodig is. De zonne-energie wordt opgenomen door de zonnecollector. De collector bestaat uit een stelsel van buizen waardoor water stroomt. Het water wordt warmer en staat deze energie weer af aan het leidingwater in opslagvat. Het water dat zo verwarmd is, wordt gebruikt in het huishouden. Zonodig wordt bij verwarmd door ketelverwarming.



Het water wordt getransporteerd door leidingen. In de leidingen verliest het energie op plaatsen waar we het niet willen. We willen dat energieverlies verminderen. We vragen ons af of we daarvoor:

de leidingen *wel of niet* met schuimplastic moeten omgeven

de leidingen moeten maken van een materiaal dat de warmte *goed of slecht* geleidt

moeten proberen de temperatuur van het water *zo hoog mogelijk of zo laag mogelijk* te maken

Hoe moet elk bovenstaande vraag beantwoord worden om het energieverlies zo klein mogelijk te houden?

Licht elk antwoord één voor één toe.

27. Lees het artikel over aardwarmte.

Aardwarmte voorziet in 90% van de energiebehoefte

HEERENVEEN - In de warmtebehoefte in de nieuwe wijk Skoatterwâld in Heerenveen kan voor 90 procent worden voorzien met aardwarmte. Uit berekeningen van energiebedrijf NUON blijkt dat de resterende 10 procent – vooral nodig tijdens piekuren – gehaald moet worden uit gasgestookte ketels. Voor de energie die nodig is voor grondwaterwinning zal “groene

stroom” gebruikt worden, afkomstig van bijvoorbeeld windmolens of waterkrachtcentrales elders in het land. Volgens NUON levert aardwarmte een grote bijdrage aan de besparing van de uitstoot van koolstofdioxide. Dat is een schadelijke stof die bij conventionele warmteopwekkingen het milieu terech



Artikel ontleend aan de Leeuwarden Courant

In het artikel blijkt een voordeel van het gebruik van aardwarmte en een nadeel van het project in Heerenveen. Noem dit voordeel en dat nadeel.

28. In het artikel worden twee manieren genoemd om “groene stroom” op te wekken. Noem nog een andere manier om “groene stroom” te produceren. Geef ook een voorbeeld van conventionele warmteopwekking.
29. De bodem van een pan die je op een elektrische kookplaat gebruikt, moet overal goed contact maken met die kookplaat. De pan neemt dan de warmte optimaal op. Om welke manier van warmtetransport gaat het hier vooral?

Warmte



7 Weer en klimaat

7.1 Weer

Het leven op aarde is afhankelijk van een betrekkelijke dunne luchtlaag, die zich om de aarde bevindt. Deze luchtlaag, de atmosfeer of dampkring, is maar heel nietig vergeleken bij de reusachtige afmetingen van bv. de sfeer rond de zon. Om inzicht te krijgen in het weer en klimaat, is het belangrijk enige kennis te hebben van de aard en samenstelling van de dampkring.

Op foto's vanuit de ruimte is te zien hoe dun het schilletje is dat wij dampkring noemen. De samenstelling van de dampkring is van het grootste belang voor het voortbestaan van het leven op aarde.

De atmosfeer is door de zwaartekracht aan de aarde gebonden en neemt ook deel aan de aardrotatie. De atmosfeer is van essentieel belang voor het leven op aarde; zonder atmosfeer zou het leven op aarde niet mogelijk zijn. De atmosfeer tempert het zonlicht en beschermt tegen schadelijke straling zoals ultraviolette straling. In de atmosfeer speelt zich ook het weer af dat met de zeestromen de energiebalans van de aarde in stand houdt.



7.2 Opbouw van de atmosfeer

De atmosfeer wordt ingedeeld in verschillende lagen. De indeling van deze lagen is gemaakt op temperatuur.

7.2.1 troposfeer

De laag het dichtste bij de grond is de troposfeer. De troposfeer wordt gekenmerkt door het snel afnemen van de temperatuur (met ongeveer $6,5^{\circ}\text{C}$ per km). Dit is de belangrijkste laag wat het weer betreft. De meeste bewolking blijft beperkt tot de onderste laag van de atmosfeer. Ook stormen zijn nauwelijks merkbaar boven de troposfeer. De massa in de troposfeer is ongeveer 80 % van de hele dampkring. Dit komt doordat de druk, voelbaar aan de grond, snel met de hoogte afneemt. Afhankelijk van de breedtegraad en het seizoen reikt de troposfeer 7 tot 17 km hoog. In Nederland is de hoogte van de troposfeer ongeveer 10 km. De grens tussen de troposfeer en de laag daarboven heet de tropopauze. Zweefvliegers en luchtballonnen blijven bijna altijd in de troposfeer.

Weer en klimaat

7.2.2 stratosfeer

De laag boven de tropopauze heet de stratosfeer. Deze laag wordt gekenmerkt door een toename in temperatuur. Dit komt doordat de ozonlaag in de stratosfeer ligt. Hier vinden we ozon in hoge concentraties. Een deel van de UV straling van de zon wordt hier tegengehouden, hierdoor neemt de temperatuur toe. Vliegtuigen vliegen meestal dicht bij de tropopauze, in het laagste stukje van de stratosfeer. Dit doen ze door de lage temperaturen en het ontwijken van ongunstig weer, zodat het brandstof gebruik optimaal is. De scheiding tussen de stratosfeer en de mesosfeer is de stratopauze. Deze ligt meestal op zo'n 50 km hoog.

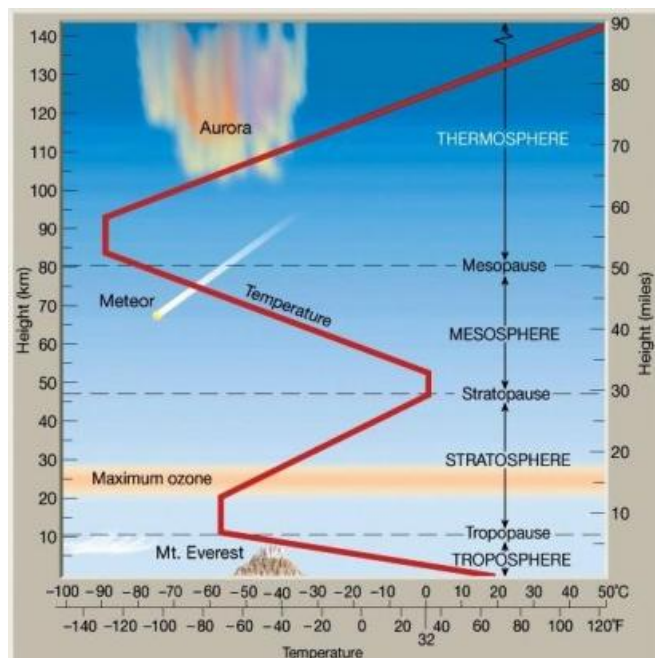
7.2.3 mesosfeer

De laag in de atmosfeer boven de stratosfeer is de mesosfeer. In de mesosfeer neemt de temperatuur weer af met de hoogte. Lichtende nachtwolken vormen in deze laag, omdat per dag miljoenen meteorieten in deze laag verbranden. Meteorieten botsen met gasdeeltjes, hierdoor is er genoeg hitte om de meteorieten te verbranden. Deze laag van de atmosfeer wordt nog niet goed begrepen. Er is nog veel onderzoek gaande met onder andere sondeerraketten. De mesopauze bevindt zich op ongeveer 80 km hoogte.

7.2.4 thermosfeer

De laag boven de mesopauze is de thermosfeer. Dit is de buitenste laag van de aardse atmosfeer en is gekenmerkt door een toename in temperatuur. Deze toename in temperatuur met de hoogte is te danken aan UV straling door de zon. De invloed van de zon is het hoogst in deze laag van de atmosfeer. Het internationaal ruimtestation (ISS) is in baan rond de aarde in dit deel van de atmosfeer. Ook het poollicht vindt plaats in de thermosfeer. De thermopauze ligt tussen 500 en 1000 km.

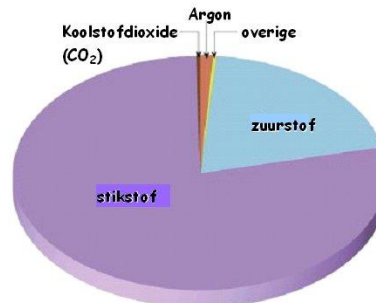
Boven de thermosfeer begint, volgens meteorologen, de ruimte ook wel de **exosfeer** genoemd.



7.2.5 bestanddelen van de lucht in de atmosfeer.

Lucht dicht bij het aardoppervlak bestaat uit een mengsel van allerlei gassen, de belangrijkste zijn:

stikstof	78%
zuurstof	21 %
argon	0,9 %
koolstofdioxide	0,03 %



De ozonlaag bevindt zich op een hoogte van ca. 20 – 40 km. Ozon neemt de meeste ultraviolette straling uit de zonne-energie op en beschermt op die manier het leven op aarde tegen deze schadelijke straling.

7.3 Het weer

Het weer is de gesteldheid van de atmosfeer op een bepaald ogenblik. Dit in tegenstelling tot het klimaat, dat een gemiddelde is van de verschillende meteorologische metingen over bv. 30 jaar. Afgezien van fenomenen als de straalstroom, die zich op grote hoogte bevindt, speelt het weer zich voornamelijk af in de troposfeer. Het weerbeeld wordt bepaald door het samenspel van de weerselementen. Deze grootheden zijn:

- luchtdruk;
- luchttemperatuur;
- luchtvochtigheid;
- bedekkingsgraad;
- soort bewolking;
- neerslag;
- wind;
- zicht;
- bijzondere verschijnselen
- onweer;
- windhozen;
- ijzel;
- zand of stof in de lucht.

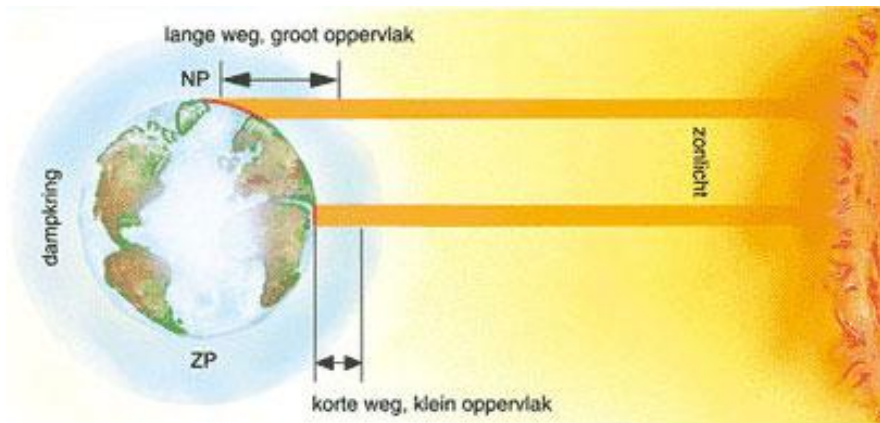


Men kan tot op zekere hoogte het weer voorspellen. Dit gebeurt tegenwoordig aan de hand van modelberekeningen in grote computers. De voorspelling resulteert in een weersverwachting, weergegeven in de weersvooruitzichten of een weerbericht.

Weer en klimaat

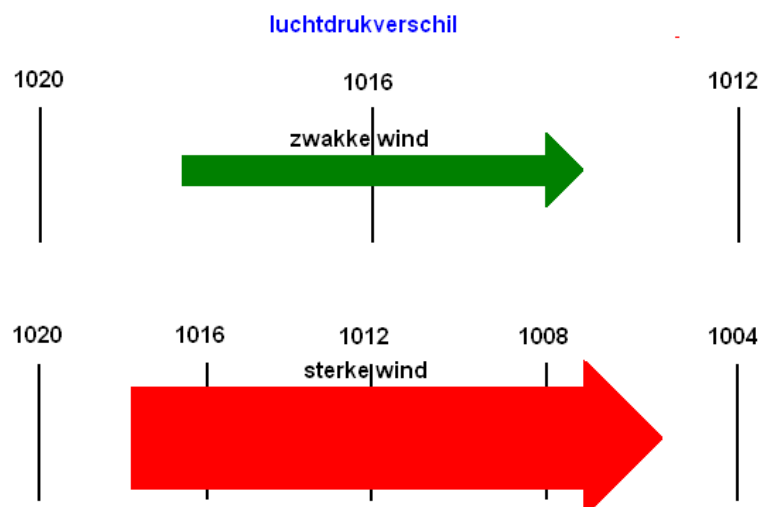
7.3.1 temperatuur

Rond de evenaar staat de zon hoger aan de hemel dan op hogere breedtegraden. Dit betekent dat de temperatuur daar hoger is dan ergens anders. Er zijn twee redenen daarvoor: bij een lagere zonnestand wordt een bepaalde lichtbundel over een groter oppervlak verspreid; bij een lagere zonnestand is de af te leggen weg door de atmosfeer groter, Er wordt meer energie in de atmosfeer geabsorbeerd en verstrooid.



7.3.2 wind

De wind is van grote invloed op het weer. Enerzijds voert hij van grote afstand bijvoorbeeld warme of koude lucht naar onze omgeving, wat direct doorwerkt in de hier gemeten temperatuur. Anderzijds drukt hij zijn stempel op de weersomstandigheden op lokale schaal. Zo gaat bijvoorbeeld een stevige wind de nachtelijke afkoeling tegen; ook kan de wind in de zomer heel wat stof en in winter heel wat sneeuw doen opwaaien. Wind is niets anders dan de stroming van de lucht. Wind ontstaat doordat de lucht beweegt van plaatsen met hogere luchtdruk naar plaatsen met een lagere luchtdruk; die luchtdrukverschillen zijn op hun beurt weer een gevolg van verschillen in opwarming van het aardoppervlak, bijvoorbeeld tussen tropen en gematigde breedten of poolstreken of tussen land en zee of oceaan. De functie van de wind is om die luchtdrukverschillen ongedaan te maken. Vindt de verplaatsing van de lucht over heel grote afstanden plaats, dan gaat ook nog de draaiing van de aarde een rol spelen.



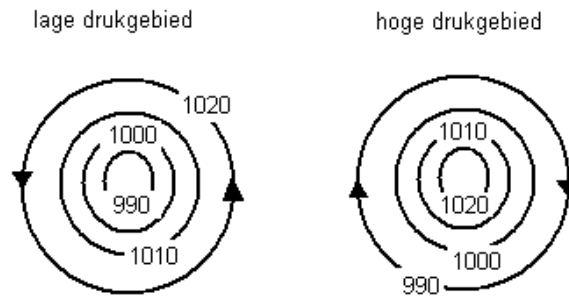
Weer en klimaat

De wind waait van een hogedrukgebied naar een lagedrukgebied, met een afwijking naar rechts als je op het noordelijk halfrond bent, door de draaiing van de aarde.

Eenvoudiger omschreven luidt de **wet van Buys Ballot** als volgt:

Als je op het noordelijk halfrond met je rug naar de wind staat, bevindt een hogedrukgebied zich rechts van je en een lagedrukgebied links.

Rond een hogedrukgebied ontstaat daardoor een circulatie met de wijzers van de klok mee, bij een lagedrukgebied is de circulatie tegen de wijzers van de klok in.



De eenheid voor de windsnelheid is m/s of km/uur; in de luchtvaart en de scheepvaart zijn ook knopen (zeemijl per uur) gangbaar.

Een veel voorkomende aanduiding is de windkracht volgens de schaal van Beaufort; windkracht 7 in het weerbericht betekent kracht 7 op de beaufortschaal.

Het verband tussen windsnelheden volgens de schaal van Beaufort en de andere eenheden voor windsnelheid is gegeven in de tabel; tevens is een omschrijving gegeven van het effect van de wind op de omgeving.

De schaal van Beaufort wordt gebruikt voor de gemiddelde windsnelheid, níet voor de snelheid van rukwinden. Heel vaak worden die twee met elkaar verward.

Als de wind bijvoorbeeld gedurende 10 minuten waait met een gemiddelde snelheid van 70 km/u met pieken tot meer dan 117 km/u, is er dus geen sprake van windkracht 12 (orkaan), maar van windkracht 8 (stormachtige wind).

Weer en klimaat

kracht	benaming van KNMI	snelheid in km/h	snelheid in m/s	snelheid in knopen	uitwerking boven land en bij mens	uitwerking boven zee
0	stil	0-1	0-0,2	0-1	rook stijgt recht of bijna recht omhoog	spiegelglad
1	zwak	1-5	0,3-1,5	1-3	windrichting goed af te leiden uit rookpluimen	kleine golfjes, geschubd oppervlak
2	zwak	6-11	1,6-3,3	4-6	wind voelbaar in gezicht, weerhanen tonen nu juiste richting, blad ritselt	kleine, korte golven
3	matig	12-19	3,4-5,4	7-10	opwaaierend stof, vlaggen wapperen, spinnen lopen niet meer	kleine golven, breken, schuimkopjes
4	matig	20-28	5,5-7,9	11-15	papier waait op, haar raakt verward, geen last van muggen meer	golven iets langer, veel schuimkoppen
5	vrij krachtig	29-38	8,0-10,7	16-21	bladeren van bomen ruisen, gekuifde golven op meren en kanalen, vuilnisbakken waaien om	matige golven, aanschietende zee (overal schuimkoppen, af en toe opwaaierend schuim)
6	krachtig	39-49	10,8-13,8	22-27	problemen met paraplu's, hoeden waaien af	grotere golven, schuimplekken, vrij veel opwaaierend schuim
7	hard	50-61	13,9-17,1	28-33	het is lastig tegen de wind in te lopen of te fietsen	golven worden hoger, beginnende schuimstrepen
8	stormachtig	62-74	17,2-20,7	34-40	twijgen breken van bomen, voortbewegen zeer moeilijk	matig hoge golven, schuimstrepen
9	storm	75-88	20,8-24,4	41-47	schoorsteenkappen en dakpannen waaien weg, kinderen waaien om, takken breken af, alleen zwaluwen en eenden vliegen nog	hoge golven, rollers, zicht wordt slechter door schuimvlagen
10	zware storm	89-102	24,5-28,4	48-55	grote schade aan gebouwen, volwassenen waaien om, bomen raken ontworteld, vogels blijven aan de grond	zeer hoge golven, zee wordt wit van het schuim, overslaande rollers, verminderd zicht
11	zeer zware storm orkaanachtig	103-117	28,5-32,6	56-63	grote schade aan bossen	extreem hoge golven, zee geheel bedekt met schuim, sterk verminderd zicht
12	orkaan	>117	>32,7	>63	verwoestingen	lucht is vol met verwaaid water en schuim, zee volkomen wit, vrijwel geen zicht meer

De kracht en intensiteit van een **orkaan** worden aangegeven op de zogeheten **Saffir-Simpsonschaal**.

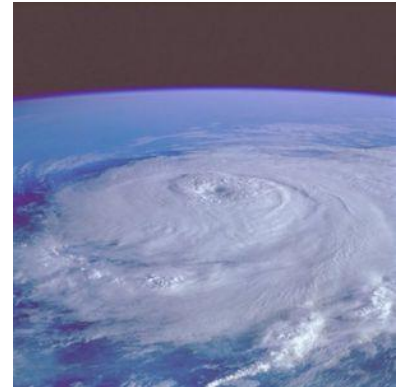
Klasse 1: Zwak, met windsnelheden tussen de 118 en 152 kilometer per uur en een stormvloed die 1,2 tot 1,6 meter boven normaal is. Schade: licht.

Klasse 2: Matig, met windsnelheden tussen de 153 en 176 kilometer per uur en een stormvloed die 1,7 tot 2,5 meter boven normaal is. Schade: dak- en vensterschade en belangrijke schade aan bomen en gewassen.

Klasse 3: Krachtig, met windsnelheden tussen de 177 en 208 kilometer per uur en een stormvloed die 2,6 tot tot 3,7 meter boven normaal is. Schade: grote vernielingen aan gebouwen.

Klasse 4: Zeer krachtig, met windsnelheden tussen de 209 en 248 kilometer per uur en een stormvloed die 3,8 tot 5,4 meter boven normaal is. Schade: daken weggeblazen, veel waterschade op de begane grond van gebouwen aan de kust.

Klasse 5: Verwoestend, met windsnelheden boven de 248 kilometer per uur en een stormvloed hoger dan 5,4 meter. Schade: Catastrofaal: vrijwel alle daken weggeblazen, evenals kleine lichtere bouwsels en grote schade aan gebouwen.



7.3.3 weerkaart

Een weerkaart is een landkaart van de aardoppervlakte of een ander gebied waarop door middel van isolijnen en meteorologische symbolen het heersende weer op een bepaald tijdstip en op een schematische manier is weergegeven. Dit kan op een recent tijdstip zijn, maar ook in de toekomst, waardoor een weerkaart een bepaalde verwachting aangeeft.

Isobaren zijn lijnen van gelijke luchtdruk die op een weerkaart worden getekend. Een depressie is een gebied met een lage druk dan de omgeving. Een front is een scherpe overgang.

De basis van een reguliere weerkaart vormen vrijwel altijd de isobaren die punten verbinden waar dezelfde luchtdruk heerst. Uit deze lijnen kunnen de lage- en hogedrukgebieden afgeleid worden en daaruit de windrichting (wet van Buys Ballot). Uit de afstand tussen de isobaren krijgt men een goed idee van de windsnelheid: hoe dichter de lijnen bij elkaar staan hoe harder het waait.

Een weerkaart is van essentieel belang voor een weersverwachting; op korte-, middellange en lange termijn. Binnen de meteorologie worden naast analyses die een huidig weerbeeld weergeven, ook verwachte weerkaarten getekend op basis van computermodellen. Deze kaarten (prognoses) geven de verwachte verplaatsingen van druksystemen, fronten en troggen aan. Ook kunnen hiermee eventueel gevaarlijke weersontwikkelingen op tijd herkend worden. Vereenvoudigde weerkaarten, zoals die in een krant, zijn ook geschikt voor mensen die geen of weinig kennis hebben van de meteorologie.

Weer en klimaat

In de zomer betekent bijvoorbeeld een stationair hogedrukgebied boven Zuid-Scandinavië een grote kans op zonnig en helder weer met een goede kans op hoge temperaturen. Een naderend lagedrukgebied veroorzaakt in de regel toenemende bewolking met neerslag. Een lagedrukgebied dat Nederland 's zomers vanuit Frankrijk nadert, gaat vaak gepaard met buien en een grote kans op onweer. Behalve de isobaren treft men op een weerkaart ook nog andere details aan. De meest belangrijke zijn:

7.3.3.1 fronten

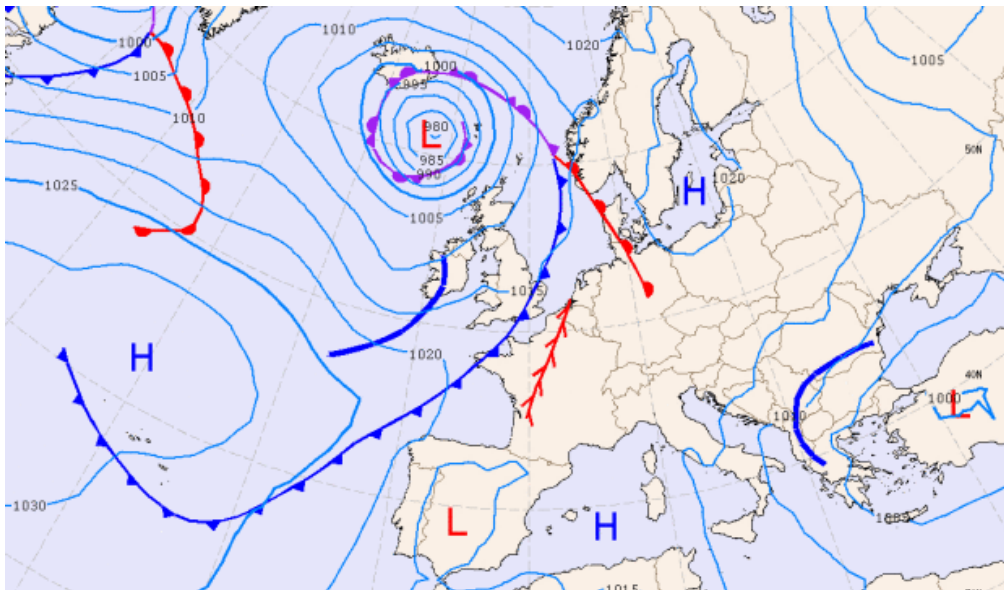
symbolen	beschrijving
	Een warmtefront wordt weergegeven door een aantal rode halve cirkels op een lijn te plaatsen. Dit kan bijvoorbeeld een lang durend regengebied zijn, wat in de meeste gevallen aanleiding is tot een bewolkingstoename en gelijktijdig een langzaam oplopende temperatuur.
	Een koudefront wordt weergegeven door een lijn van blauwe driehoekjes. Meestal is er bij het passeren van een koudefront sprake van een onbestendig weertype waarbij veelvuldig sprake is van onweer en hevige buien. De luchttemperatuur gaat naar beneden.
	Een occlusiefront wordt weergegeven door om en om paarse driehoekjes en halve cirkels te plaatsen. Een occlusie ontstaat wanneer een snel bewegend koudefront een langzamer warmtefront inhaalt en ermee samensmelt. Omdat het warmte- en koudefront bij de kern van het lagedrukgebied als een spiraal dicht bij elkaar liggen zal een occlusiefront zich hier het eerst manifesteren. Binnen een occlusie blijft het weer onbestendig met veel regen.
	Stationaire fronten genoemd worden weergegeven door een lijn met daarop afwisselende aan beide kanten van de lijn blauwe driehoekjes en halve cirkels. Een stationair front ligt vaak tussen twee druksystemen in en verandert daardoor niet of amper van plaats. Het weertype wordt vaak gekenmerkt door dikke bewolkinglagen, lichte of helemaal geen neerslag, weinig of geen wind en/of nevelig weer.
	Troglijnen worden ingetekend met een onderbroken lijn. Een trog is een langgerekt gebied met een relatief lage luchtdruk verbonden aan een lagedrukgebied daar waar de isobaren het sterkst gekromd zijn, vaak achter een koufront. Een trog wordt vaak gekenmerkt door buien.

Weer en klimaat

7.3.3.2 drukgebieden

soort	afkorting
hogedrukgebied	H
lagedrukgebied	L

7.3.3.3 voorbeeld weerkaart



7.3.4 meetinstrumenten

Meetinstrumenten en hulpmiddelen waarmee meteorologen metingen kunnen uitvoeren zijn:

Een **barometer** is een meetinstrument waarmee de luchtdruk gemeten kan worden.

Een **hygrometer** is een instrument om vochtigheid van de lucht te meten.

Een **loodsballon** is een ballon die in de meteorologie wordt gebruikt voor het bepalen van de hoogte van de basis van een wolk boven het maaiveld.



Een **weerballon** is een ballon die wordt gebruikt voor meteorologisch onderzoek. Een dergelijke ballon is uitgerust met instrumenten die hoog in de lucht belangrijke factoren zoals temperatuur, atmosferische druk en luchtvochtigheid kunnen meten.

Een **regenmeter**, ook wel **pluviometer** genoemd, is een type instrument dat door meteorologen en hydrologen wordt gebruikt om de hoeveelheid gevallen neerslag gedurende een bepaalde tijdsperiode op te vangen en op te meten.

De hoeveelheid neerslag wordt in millimeters aangegeven.

Eén millimeter komt overeen met 1 liter water per vierkante meter.



Een **thermometer** is een meetinstrument dat gebruikt wordt om temperaturen te meten:

Vloeistofthermometer, deze werkt met een dunne glazen buis naast een schaalverdeling. Vaak wordt kwik (kwikthermometer) of gekleurde alcohol gebruikt, maar ook andere organische vloeistoffen kunnen dienen. Door de uitzetting van de vloeistof stijgt de kolom als de temperatuur hoger wordt.

Thermokoppel. Deze bestaat uit twee draden uit verschillend metaal. Op het contactpunt ontstaat een elektrische spanning die afhankelijk is van de temperatuur.

Infraroodthermometers. Deze meet de infrarode straling van het object. Hoe heter het object, des te hoger is de frequentie van het uitgestraalde infrarood. Zie ook elektromagnetische straling.

Temperatuurgevoelige weerstand. Dit is een elektrische weerstand waarvan de grootte toe- (positieve temperatuurcoëfficiënt) of afneemt (negatieve temperatuurcoëfficiënt) met de temperatuur. Door na ijking de weerstand te meten komt men de temperatuur te weten. Deze worden in elektronische thermometers gebruikt.

Koortsthermometers met kwik hebben een extra dun stukje capillair aan het begin van de stijgbuis, waardoor de kwikkolom bij het weer afkoelen afbreekt, zodat de bereikte maximale temperatuur blijft staan en kan worden afgelezen tot de thermometer wordt 'afgeslagen'. Het bereik van normale koortsthermometers is gering, van 35 tot 42 °C, maar de nauwkeurigheid groot.

Bimetaalthermometers die gebruikmaken van de verschillende uitzettingscoëfficiënt van twee strips metaal die op elkaar vast zijn gelast of gesoldeerd. Als de temperatuur verandert, trekt het bimetaal krom. Deze worden gebruikt in eenvoudige kamerthermostaten.

Een **weerhut** is een klein wit kastje waarmee onder andere de temperatuur van de lucht gemeten kan worden.

Op meteorologische stations wordt de temperatuur van de lucht volgens internationale afspraak gemeten in graden Celsius op een hoogte van anderhalve meter boven een open grasvlakte. De thermometer of de sensor, waarmee de temperatuur wordt waargenomen, staat in een wit kastje met wanden die de vorm hebben van een open jaloezie. Daardoor heeft de wind vrij spel, maar zon en neerslag kunnen niet tot de instrumenten doordringen.

Weerhutten behoren officieel een dubbele laag van open jaloezieën te hebben. Bij veel weeramateurs ontbreekt die dubbele laag.

Ook andere meetinstrumenten kunnen zich in een weerhut bevinden, zoals een hygrometer en aparte thermometers voor bijvoorbeeld de minimumtemperatuur en de maximum temperatuur.



Een **weerradar** of **buienradar** is een rondzoekradar ten behoeve van het detecteren en waarnemen van neerslag in en buiten de bewolking.

De radarantenne in het weerstation zendt een pulsformig radiosignaal uit dat voor een deel door neerslag wordt weerkaatst. Uit de richting van de antenne en uit de tijd die verloopt tussen het uitzenden van de puls en de ontvangst van de echo's volgt de positie van neerslaggebieden. Op een beeldscherm worden die gebieden met ontvangen radarenergie getoond met een landkaart als achtergrond. Lagere en hogere intensiteiten in teruggekaatste energie (lichte en zwaardere neerslag) worden onderscheiden door verschillende kleuren te gebruiken.



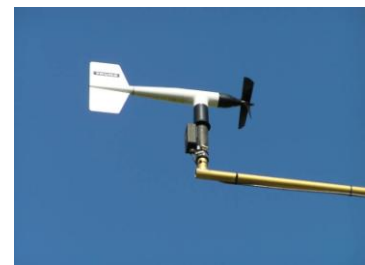
De weerradar werkt volgens hetzelfde principe als een radar, **afkorting** voor Radio Detection And Ranging. Echter door een juiste keuze van de frequentie en de pulsform van de uitgezonden puls worden de reflecties door regendruppels (wolken) van de weerkaatste zendenergie maximaal zodat de neerslaggebieden gedetecteerd kunnen worden.

Een serie radarbeelden met tussenpozen van een paar minuten laat bijvoorbeeld zien of de buien zwaarder worden en hoe ze zich verplaatsen. De bewegende radarbeelden zijn vaak te zien tijdens de weerpresentaties op de televisie. Deze informatie wordt gebruikt om een indicatie te krijgen voor het neerslagpatroon in de komende paar uren. Zo kan men soms tot op enkele minuten nauwkeurig aangeven wanneer het ergens gaat regenen of wanneer de regen ophoudt.

Een **zonneshijmeter** is een meteorologisch instrument voor het vastleggen van het aantal uren dat de volle zon op een bepaald stukje van het aardoppervlak schijnt en er dus geen wolkende aanwezig is.



Een **anemometer** wordt gebruikt om de windsnelheid te bepalen. In het weerbericht wordt de windsnelheid op 10 m hoogte gegeven. de anemometer kan uitgevoerd zijn in combinatie met de **windrichtingsmeter**.

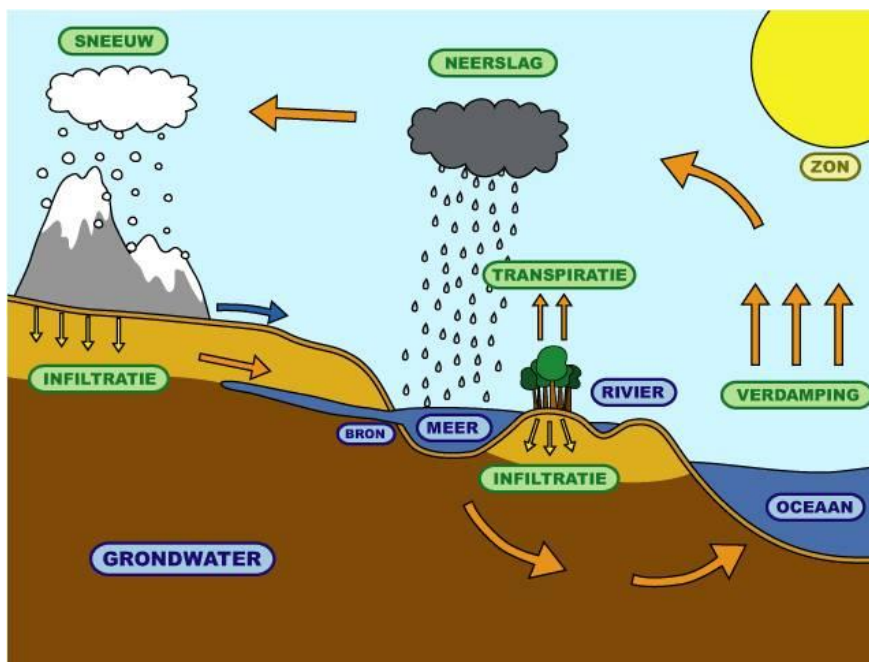


7.4 Waterkringloop

Met het begrip waterkringloop wordt het natuurkundige proces bedoeld waarbij oppervlaktewater, zoals zeewater, verdampt. In de atmosfeer vormt deze damp wolken waaruit neerslag valt. Deze komt terug op aarde in waterwegen, of zakt weg als grondwater. Een groot deel verzamelt zich weer als oppervlaktewater.

De waterkringloop of hydrologische cyclus

Deze kringloop wordt ook hydrologische cyclus of watercyclus genoemd en is in de afbeelding hieronder weergegeven. Deze cyclus wordt gebruikt in de hydrologie.



Zeewater verdampt van nature. Dit proces wordt sterk versneld onder invloed van de zon. Een deel van de waterdamp valt weer terug in zee. Een ander deel vormt wolken. De waterdamp (al dan niet als zichtbare wolken) verplaatst zich door luchtstromingen. Als de waterdamp boven land komt dan :

- kan de luchtstroom botsen met een koudere luchtstroming. Hierdoor zal de luchtstroming met de waterdamp stijgen en daardoor afkoelen. Koude lucht kan minder waterdamp bevatten dan warme lucht, dus als de lucht afkoelt zal de waterdamp door condensatie als waterdruppeltjes vrijkomen. Deze vallen dan (onder invloed van de zwaartekracht) naar beneden als neerslag.
- kan de luchtstroom botsen met heuvels/gebergte. De luchtstroming kan maar één kant op: over de obstakels heen. Net als bij de vorige situatie zal hierdoor neerslag ontstaan.

De neerslag heeft drie mogelijkheden:

- het wordt niet opgenomen door de bodem en loopt over het oppervlak, via rivieren en kanalen terug naar zee.
- het wordt opgenomen door de bodem (infiltratie) en komt via het grondwater uiteindelijk terug in zee.
- het water verdampt, al dan niet na eerst door planten te zijn opgenomen.

De kringloop is hiermee rond.

De zogenaamde 'lange waterkringloop' bevat een extra lus, het water wordt vanuit het grondwater door planten en bomen opgenomen. Dit water verdampt grotendeels weer via de bladeren en komt zo als waterdamp in de lucht terecht. De mens gebruikt al sinds tijden grondwater als bron van drinkwater. Het water wordt hiervoor opgepompt uit de grond (of met een waterput beschikbaar gemaakt). Ook hierdoor wordt de waterkringloop verlengd. Bij het terugstromen naar zee neemt het water mineralen en sedimenten mee. Hierdoor wordt de zee zouter (het zout blijft achter in zee als het water verdampt) en wordt zand en steen bij de monding van rivieren afgezet (erosie).

7.5 Wolken

Een wolk is in de aardse atmosfeer een op het oog samenhangende verzameling van merendeels zwevende waterdruppeltjes of ijskristalletjes of een combinatie hiervan. De waterdruppeltjes en ijskristalletjes ontstaan door condensatie of verrijping van onzichtbare waterdamp daar waar de relatieve luchtvochtigheid boven de 100% is gekomen. Wolken verdwijnen door verdamping in drogere lucht, door 'uitregenen' of door verdampen en oplossen doordat de lucht dalende bewegingen ondergaat, vaak onder invloed van bijvoorbeeld een hogedrukgebied.

Grote wolken bevatten zeer veel druppeltjes en druppels en daarmee heel veel water. Wolken kunnen daardoor vele duizenden tot miljoenen kilogrammen wegen. Doordat het gewicht verdeeld is over doorgaans hele kleine druppeltjes die maar heel langzaam vallen in opstijgende lucht, valt de zware wolk niet zomaar naar beneden. Dit gebeurt pas als de druppels groot genoeg worden om ondanks de opstijgende lucht toch naar beneden te vallen: het regent dan.

Uit een wolk kan neerslag vallen. In Nederland en Vlaanderen is dat meestal regen, soms sneeuw, hagel of ijsregen. Neerslag begint in de wolk meestal als sneeuw. Op weg naar beneden smelt de sneeuw meestal (omdat de lucht op weg naar beneden warmer wordt), en komt dan als regen op de grond. Komt de regen op zijn tocht naar beneden aansluitend nog eens in een koudere luchtsoort terecht, dan kan de regen weer bevriezen of onderkoeld raken en aansluitend als hagel, korrelsneeuw of ijsregen naar beneden komen.

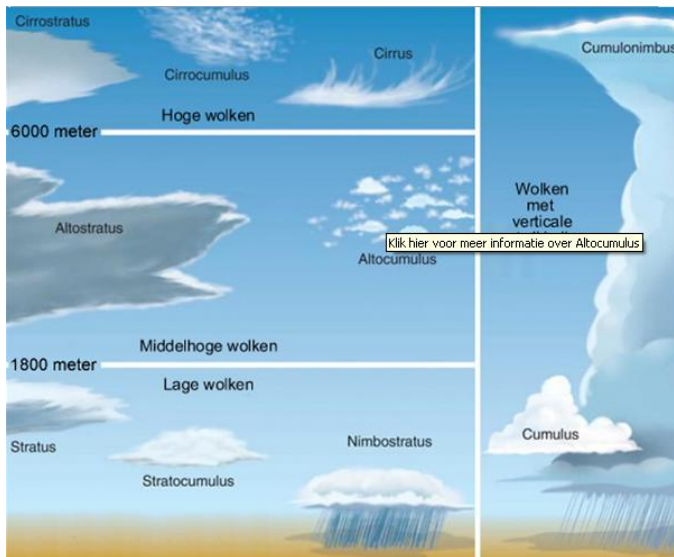
Soms bereikt de regen de grond niet, maar verdampt onderweg. We zien dan vaak zogenaamde valstrepen (virga) onder de wolken hangen, die het aardoppervlak niet raken. Zo kunnen gigantische, tot 10 km hoge wolken in 20 minuten 'leegregenen' (wolkbreuk)



Weer en klimaat

Er zijn vier hoofdtypen, ook wel wolkenfamilies genaamd:

- lage bewolking
- middelhoge bewolking
- hoge bewolking
- Cumuliforme bewolking, die zich niets van de drie etages hierboven aantrekt (dus heeft de basis onder de 2 km hoogte, de toppen boven de 6 km hoogte). Voor de tropen en de poolstreken gelden andere criteria.



Opgaven.

1. Noem 5 weerkundige grootheden en noem het instrument waarmee die grootheden kunnen worden gemeten.
2. Geef redenen waarom het klimaat een gemiddelde van bv. 30 jaar wordt genomen niet 3 jaar of 300 jaar.
3. Op welke hoogte bevindt zich de tropopauze ongeveer?
4. Door welke twee lagen wordt de stratosfeer begrenst?
5. Voor de teelt van bloemen en groenten is een stabiel klimaat zonder langdurige nachtvorst gewenst. Waarom vinden we dit vooral in het westen van het land, in waterrijke gebieden zoals Aalsmeer, Boskoop en het Westland?

6. Waar komt de wind in ons land vandaan als er bij Spanje een hogedrukgebied ligt en een lagedrukgebied bij IJsland?

7. Bekijk de onderstaande weerkaart.

Beredeneer uit welke richting de wind zal komen als je woont in:

- Amsterdam
- Istanbul
- Wat stellen de wille lijnen op de weerkaart voor?

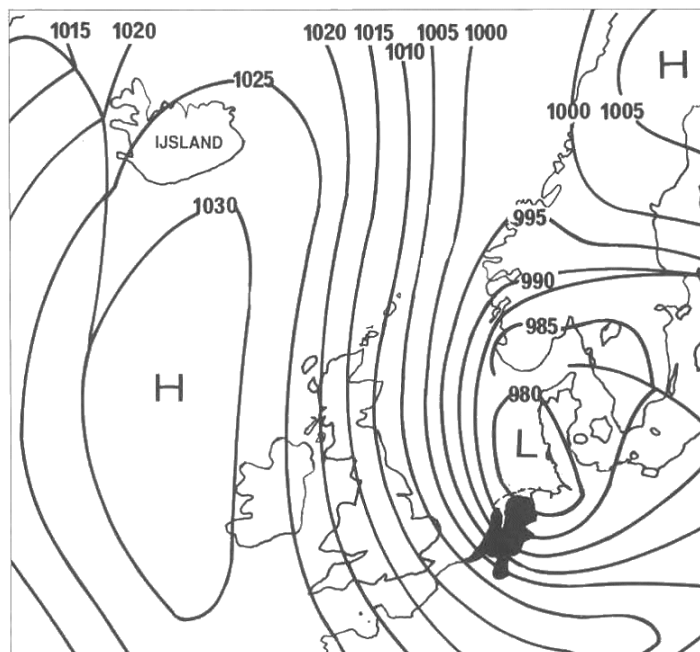


Er is een rode lijn zichtbaar die van IJsland naar Noord-Duitsland loopt.

- Leg uit wat die lijn betekent.

8. Bestudeer de onderstaande weerkaart van 1 februari 1953. Dat is de dag van de grote watersnoodramp in Zuidwest Nederland. Daarbij braken vele dijken in Zeeland en West-Brabant door. Bijna 1800 mensen verloren het leven.

- In welke luchtstroming bevond ons land zich in de situatie die op de kaart te zien is?
- Waar in de figuur waait het hardst en waarom?
- Wat was de oorzaak van de dijkbreuken?
- Welke maatregelen zijn door de regering getroffen om dergelijke rampen te voorkomen?



Weer en klimaat

9. Er valt tijdens een regenachtige dag 2,5 mm neerslag. Een tuinder heeft een perceel met een oppervlakte van 1,25 ha. Hoeveel liter water valt er die dag op dit perceel?



7.6 Klimaat en klimaatverandering

De laatste jaren was het erg warm, niet alleen in ons land maar ook wereldwijd. Het afwijkende weer roept veel vragen op, zeker ook over wat dit betekent voor de 21e eeuw. Op de belangrijkste vragen wordt wat dieper ingegaan in de stof. Daarbij wordt ingegaan op de waarnemingen, de oorzaken van klimaatveranderingen en de toekomst van het klimaat. het klimaat verandert zowel van nature als door ingrijpen van de mens.

Het klimaat op aarde wordt voor een groot gedeelte bepaald door het evenwicht tussen:

- de invallende zonnestraling, die zorgt voor een opwarming van de aarde.
- de weerkaatste zonnestraling, die ervoor zorgt dat minder zonnestraling geabsorbeerd wordt, en dus een relatief afkoelend effect heeft.
- de thermische straling uitgezonden naar de ruimte onder de vorm van infrarode straling, die een afkoelend effect heeft op de aarde.

Schematisch:



7.6.1 achtergronden

De mens zal volgens de huidige inzichten over deze eeuw een stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde met 1,1 tot 6,4 graden veroorzaken. Wereldwijd gezien zal dit gepaard gaan met een neerslagtoename en een extra zeespiegelstijging van tussen de 18 tot 59 cm. (IPCC 2007) De klimaatverandering zal ook in Nederland steeds meer voelbaar worden. Natuurlijke klimaatvariatiën en klimaatveranderingen zijn van alle tijden. Zo hebben onder meer grote vulkaanuitbarstingen, El Niño's en variaties in zonneactiviteit invloed op de gemiddelde temperatuur op aarde. Tegenwoordig is het menselijk handelen een factor van toenemend belang.

De laatste eeuw zijn de concentraties van broeikasgassen, zoals CO₂, in de atmosfeer sterk toegenomen door menselijke activiteiten. Dit heeft nu al invloed op de gemiddelde temperatuur op aarde. Die is in de afgelopen circa 100 jaar wereldwijd tussen 0,56 en 0,92 graad gestegen (IPCC 2007), de laatste decennia in versneld tempo.

In het grillige klimaat van Nederland is het broeikaseffect moeilijker aantoonbaar. Toch zijn er sterke aanwijzingen dat ook in Nederland een deel van de temperatuurstijging in de pas loopt met de wereldwijde opwarming. Welke verdere klimaatveranderingen Nederland te wachten staan is niet goed bekend. Gezien de complexiteit van het klimaatsysteem zou de verandering in Nederland wel eens anders kunnen uitvallen dan de toename van de gemiddelde temperatuur op aarde zou doen veronderstellen.

7.6.2 wat is klimaat?

Het klimaat van een plaats of gebied is het gemiddelde weer. Meestal wordt het gemiddelde genomen over enkele tientallen jaren van temperatuur, vocht, luchtdruk, wind, bewolking en neerslag. Daarnaast wordt gekeken naar dagelijkse en jaarlijkse variaties en hoe vaak extremen voorkomen, zoals hittegolven en zware regen met wateroverlast of overstromingen. Soms worden ook aanverwante grootheden tot het klimaat gerekend, zoals de chemische samenstelling van de atmosfeer en de temperatuur van de diepe oceaan. De grens is moeilijk te trekken; om het klimaat te kunnen begrijpen moeten we eigenlijk het hele systeem aarde begrijpen.

7.6.3 klimaatinformatie

Meteorologische instituten, zoals het KNMI, doen sinds anderhalve eeuw dagelijks waarnemingen. Over het klimaat van vóór die tijd vinden onderzoekers aanwijzingen in oude documenten, jaarringen van bomen en boringen in gletsjers, ijskappen en diepzeesedimenten. Deze geven informatie over het gemiddelde klimaat, maar ook over klimaatschommelingen en klimaatveranderingen. Veranderingen zijn er in alle soorten en maten. Sommige komen alleen in een klein gebied voor, andere zijn wereldwijd, sommige zijn relatief snel, andere langzamer. Om twee voorbeelden te noemen: El Niño komt eens in de drie à zeven jaar voor, terwijl IJstijden typisch zo'n honderdduizend jaar duren. Natuurlijk is ook de grootte van de veranderingen en de snelheid waarmee ze plaatsvinden van belang. De laatste jaren is de belangstelling voor klimaatmetingen sterk toegenomen door de aandacht voor de invloed van de mens op het klimaat. Daarom wordt er gewerkt aan verbetering van de waarnemingsnetwerken. Aardobservatie met satellieten speelt een belangrijke rol hierbij.

7.6.4 het klimaat in het verleden

7.6.4.1 ijstijden

Het klimaat is een komen en gaan van koude tijden en warmere periodes. Zo'n 140.000 jaar geleden was Noord-Europa bedekt met een ijskap die zich tot aan de Utrechtse Heuvelrug uitstreekte. De zeespiegel lag zo'n 120 m onder het huidige niveau. Kort daarop eindigde deze IJstijd waarbij de temperaturen opliepen. Daarna volgde een nieuwe IJstijd, die bijna 100.000 jaar duurde.



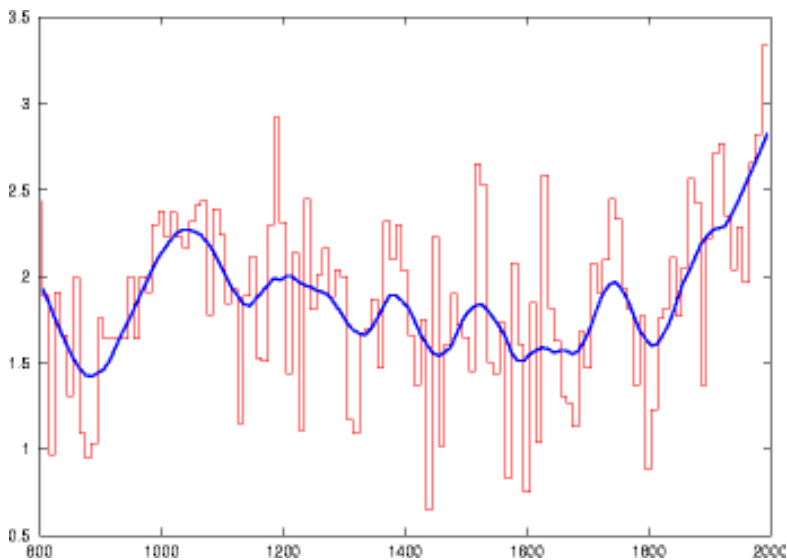
Zo'n 18.000 jaar geleden begon een snelle opwarming naar de warmere periode waarin we nu leven.

7.6.4.2 de afgelopen duizend jaar

Ook de afgelopen duizend jaar varieerde de temperatuur. Opvallend waren in Europa een aantal warmere zomers in de Middeleeuwen en het vaker voorkomen van koude winters in de vijftiende tot achttiende eeuw. Deze laatste periode wordt wel de 'Kleine IJstijd' genoemd.

warmterecords in de 20e eeuw
Het verloop van de wereldgemiddelde temperatuur van de laatste 150 jaar is bepaald op basis van temperatuurmetingen op land en op zee. Hierbij is veel moeite gedaan om voor alle mogelijke onnauwkeurigheden te compenseren, tot aan het effect van verstedelijking toe. Voor het eind van de negentiende eeuw wijken de bepalingen van de wereldgemiddelde temperatuur naar schatting niet meer dan 0,1 à 0,2 graad af van de werkelijke waarden; in de twintigste eeuw is de wereldgemiddelde temperatuur nauwkeuriger gemeten. Er zijn duidelijke trends in temperatuur te zien, met daarnaast ook grote variaties van jaar tot jaar. Tussen de jaren 10 en 40 van de vorige eeuw is het warmer geworden, en ook weer vanaf 1979. Sinds 1983 is het record van de meetreeks herhaaldelijk bijgesteld. In 1998 was de wereldgemiddelde temperatuur 14,6 graden. Dat is 0,9 graden boven het gemiddelde van 1856-1899, en op basis van verscheidene aanwijzingen waarschijnlijk het warmste jaar van de afgelopen duizend jaar! In totaal is de wereldgemiddelde temperatuur in de twintigste eeuw met ongeveer 0,74 graden gestegen.

In de grafiek is te zien wat het tien jaar gemiddelde wintertemperatuur in de jaren 800 - 2000 voor de Lage Landen (de blauwe lijn is het lopend gemiddelde over 150 jaar)



7.6.5 temperatuur-en neerslagveranderingen in Nederland.

De recente periode met wereldwijd gemiddeld warme jaren valt deels samen met een serie warme jaren in Nederland. In ons land is de temperatuur sinds 1900 met gemiddeld 1,2 graad gestegen. Vooral sinds 1987 was het opmerkelijk warm: vrijwel alle jaren daarna horen tot de warmste van de twintigste eeuw. Het warmste jaar van de afgelopen honderd jaar was 2006 met gemiddeld 11,2 graden, daarna volgen 1990, 1999 en 2000, met gemiddeld 10,9 graden tegen 9,8 normaal. Voor een heel jaar is dat een enorme afwijking.

De jaarlijkse neerslag is in Nederland toegenomen, deels in samenhang met het warme weer; vanaf 1906 viel 18% meer regen: alle winterhalfjaren (nov-apr) met in De Bilt meer dan 500 mm neerslag kwamen na 1960 voor. Het jaar 1998 helemaal in het teken van de regen en wateroverlast: met 1240 mm in De Bilt was 1998 het natste jaar sinds het begin van de metingen.

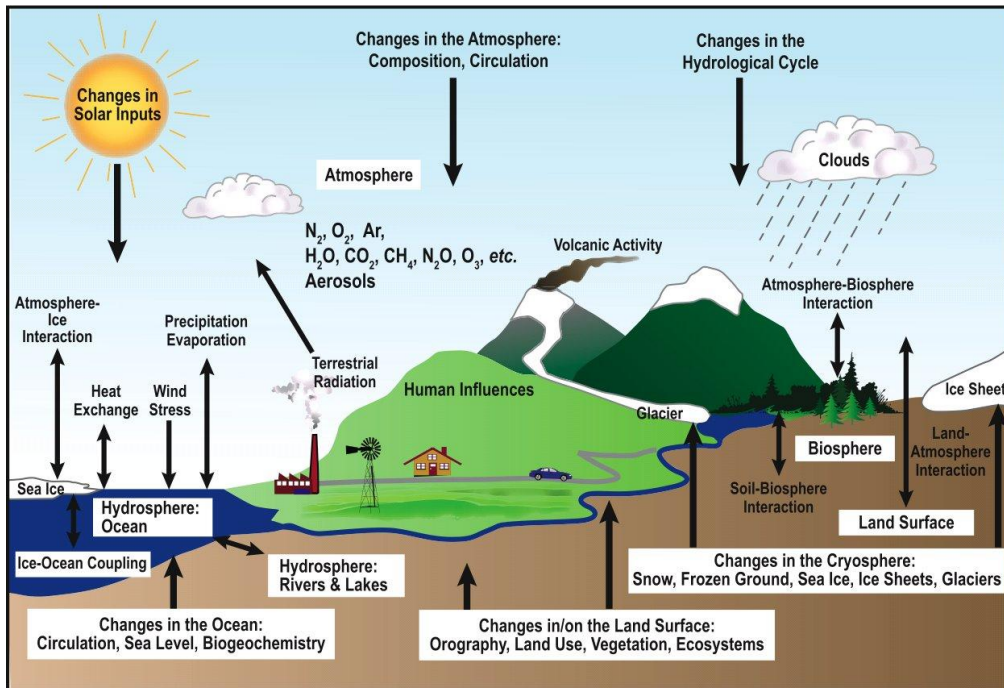
7.6.6 veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer.

Sinds 1750 is de concentratie van kooldioxide (CO_2) in de atmosfeer met zo'n 30% toegenomen. Deze verandering is toe te schrijven aan de mens die fossiele brandstoffen, zoals steenkool, aardolie en aardgas verbrandt. Ook de concentraties van andere broeikasgassen zijn onder invloed van de mens aanzienlijk toegenomen. De hoeveelheid methaan (CH_4) is meer dan verdubbeld (145%), lachgas (N_2O) is met 15% toegenomen en alle chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) zijn door mensen geproduceerd. Er zijn ook meer stofdeeltjes (aerosolen) in de atmosfeer gekomen. De concentratie van ozon (O_3) in de onderste tien kilometer van de atmosfeer (de troposfeer) is verdubbeld. In de stratosfeer daarentegen, op hoogtes tussen 10 en 40 km, is de hoeveelheid ozon juist afgenomen. Deze afname wordt veroorzaakt door chloorverontreinigingen die vrijkomen uit bovengenoemde CFK's.

7.7 Hoe werkt het klimaat?

De aarde wordt verwarmd door de zon. Een deel van de zonnestraling wordt teruggekaatst; een ander deel wordt omgezet in warmte. Broeikasgassen zoals waterdamp en CO_2 leggen een warme deken om de aarde: ze zorgen ervoor dat een deel van de warmtestraling van de grond wordt vastgehouden. Zonder dat warme-deken-effect zou de aarde veel kouder zijn. Wind en oceaanstromingen spelen een belangrijke rol bij de verdeling van de warmte over de aarde. Die warmtetransporten zorgen ervoor dat het temperatuurverschil tussen de tropen en de polen niet veel groter is dan waargenomen. De relatie tussen de atmosfeer, de oceaan, het landoppervlak, sneeuw en ijs, en de biosfeer (bomen, plankton, enz) is van groot belang. Om een paar voorbeelden te noemen: planten nemen CO_2 op, de oceaan neemt warmte op, ijskappen en woestijnen weerkaatsen zonnestraling sterker dan bos en toendra en smeltend ijs maakt de oceaan minder zout. Deze processen kunnen elkaar versterken of verzwakken. Zo leidt een opwarming van de oceaan tot meer verdamping. Dat versterkt het broeikas effect waardoor de oceaan nog warmer wordt. De extra verdamping, die optreedt als de oceaan warmer wordt, onttrekt anderzijds ook warmte aan de oceaan en heeft daardoor een koelende werking op het zeewater.

Ook dit zijn maar voorbeelden; er zijn tal van effecten die elkaar beïnvloeden, wat het zo lastig maakt om te doorzien hoe verstoringen in het klimaatsysteem doorwerken. Hieronder staat een schematische weergave van de elementen, processen en onderlinge interacties van het klimaatsysteem



7.8 Het ontstaan van klimaatveranderingen

Klimaatonderzoekers proberen erachter te komen wat de oorzaken zijn van klimaatveranderingen, zowel de natuurlijke veranderingen als veranderingen veroorzaakt door de mens. Zij onderzoeken ook in hoeverre die veranderingen voorspelbaar zijn. Er zijn verschillende oorzaken voor variaties van het klimaat, zoals verschuivingen van continenten en zeestromen, inslagen op aarde van kometen of meteorieten, verhoogde vulkanische activiteit, variaties in de aardbaan, veranderende zonneactiviteit, het chaotisch gedrag van de atmosfeer, veranderend landgebruik en recent de door menselijke activiteiten toegenomen hoeveelheid kooldioxide en andere broeikasgassen in de atmosfeer. Een aantal mechanismen worden hieronder besproken en hierin is te zien hoe ze gekenmerkt worden door bepaalde tijdschalen en patronen.

7.8.1 El Niño

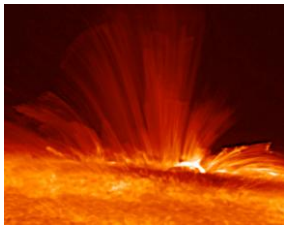
Vissers in Peru merkten eeuwen geleden al dat de vis in sommige jaren uitbleef en ze niets vingen. Oorzaak was het plotseling warmere water aan de kust dat dan veel armer is aan voedsel. Dat gebeurde meestal rond Kerst vandaar de naam El Niño, het Spaanse woord voor Kerstkind.

Tegenwoordig bedoelen we met El Niño's periodes waarin warm water zich langs de kust en langs de evenaar over een groot deel van de Stille Oceaan uitstrekt. Een koelere tijd wordt La Niña (het meisje) genoemd.

El Niño doet zich onregelmatig maar gemiddeld om de drie tot zeven jaar voor. Dan valt de passaat weg, die het warme water in de oostelijke Stille Oceaan normaal richting Indonesië blaast. De gevolgen van een El Niño voor het weer, met name de gevolgen voor temperatuur en neerslag, zijn tot in de wijde omtrek groot, bijvoorbeeld overvloedige regen in droge woestijnen en droogte waar het normaal veel regent.

7.8.2 de invloed van de zon

De activiteit van de zon vertoont een duidelijke cyclus van 11 jaar. Als de zon actiever is vertoont haar oppervlak zowel meer zonnevlekken als meer explosieve fakkels. Sinds 1979 zijn er nauwkeurige satellietwaarnemingen beschikbaar waaruit blijkt dat de intensiteit van de zonnestraling in de pas loopt met die 11-jarige cyclus van zonneactiviteit. Maar de 11-jarige



variaties in de zonnestraling zijn klein en daarom verwacht men dat ze maar beperkte invloed hebben. In de waarnemingen zijn ze dan ook niet of nauwelijks terug te vinden. Daarnaast zijn er aanwijzingen dat de activiteit van de zon ook langzame variaties vertoont. Deze langzame variaties zouden wel een merkbare invloed op het klimaat hebben en mogelijk hebben bijgedragen aan de lage wintertemperaturen in de zeventiende eeuw en aan de opwarming in de eerste helft van de

twintigste eeuw. Verder onderzoek is echter gewenst. Ook wordt wel gesuggereerd dat de zon nog op een andere manier dan via de zonnestraling invloed zou kunnen hebben op het klimaat, maar dit is nogal speculatief.

7.8.3 vulkaanuitbarstingen

Grote vulkaanuitbarstingen kunnen veel stof in de atmosfeer brengen. Dit stof reflecteert zonlicht en heeft daardoor een koelend effect. Gewoonlijk verdwijnt het stof binnen een paar jaar vanzelf weer uit de atmosfeer. Satellietwaarnemingen bevestigen dat sterke vulkaanuitbarstingen een flinke invloed kunnen hebben op de warmtebalans van de aarde. Zo wordt de tijdelijke onderbreking van de stijging van de wereldgemiddelde temperatuur in 1992 en 1993 toegeschreven aan de uitbarsting van de vulkaan Pinatubo op de Filippijnen in juni 1991.



7.8.4 abrupte veranderingen

Een andere bron van variatie is de oceaan, bijvoorbeeld wanneer oceaanstromingen zich verleggen. We zagen al dat de oceaan bij het ontstaan van El Niño een belangrijke rol speelt. Ook elders op aarde hebben variaties in de oceaan invloed op het klimaat. Bepaalde oceaanstromingen zijn zeer gevoelig voor veranderingen in de atmosfeer. Het klimaat in Europa wordt sterk beïnvloed door de noordwaartse stroming in de Atlantische Oceaan die afkomt van de warme Golfstroom. Volgens sommige berekeningen stopt deze stroming als er meer zoet water komt in het noorden, bijvoorbeeld door meer neerslag of smeltwater van gletsjers of ijskappen. Dit lijkt ongeveer 12000 jaar geleden ook al eens gebeurd te zijn bij het afsmelten van het ijs van de laatste IJstijd. Een dergelijke verandering zou tot een abrupte regionale klimaatverandering kunnen leiden. Meteorietinslagen kunnen ook een abrupte klimaatverandering teweegbrengen. Het uitsterven van de Dinosauriërs (65 miljoen jaar geleden) zou veroorzaakt kunnen zijn door de inslag van een meteoriet. Dergelijke inslagen zijn echter niet voorspelbaar en daarom is het voor klimaatonderzoekers onmogelijk om er in klimaatvoorspellingen rekening mee te houden.



te zijn bij het afsmelten van het ijs van de laatste IJstijd. Een dergelijke verandering zou tot een abrupte regionale klimaatverandering kunnen leiden. Meteorietinslagen kunnen ook een abrupte klimaatverandering teweegbrengen. Het uitsterven van de Dinosauriërs (65 miljoen jaar geleden) zou veroorzaakt kunnen zijn door de inslag van een meteoriet. Dergelijke inslagen zijn echter niet voorspelbaar en daarom is het voor klimaatonderzoekers onmogelijk om er in klimaatvoorspellingen rekening mee te houden.

7.8.5 de menselijke invloed: het versterkte broeikaseffect

Door industrie, ontbossing, verkeer, energieverbruik in het huishouden, landbouw en veeteelt brengt de mens extra broeikasgassen in de atmosfeer. CO₂ is het belangrijkste broeikasgas. Niet alle CO₂ die uitgestoten wordt, blijft in de atmosfeer. Ongeveer de helft wordt opgenomen door de oceaan en de biosfeer. Hoe en waar precies is nog onduidelijk. Extra CO₂, dat wel in de atmosfeer blijft, is herkenbaar afkomstig van fossiele brandstoffen. Andere broeikasgassen zijn methaan (CH₄), lachgas (N₂O), CFK's en ozon (O₃). Door de toename van de concentratie van broeikasgassen wordt het broeikaseffect van de dampkring versterkt. Dit versterkte broeikaseffect leidt tot een warmer klimaat en meer neerslag. Op grote schaal kunnen wetenschappers deze veranderingen veroorzaakt door de mens onderscheiden van natuurlijke klimaatveranderingen.



7.8.6 andere beïnvloeding door mensen.

De mens brengt niet alleen broeikasgassen maar ook aerosolen in de atmosfeer, bestaande uit zwevende druppeltjes en stofjes. Evenals vulkanisch stof kaatsen ze het zonlicht terug en daardoor hebben ze een koelende werking. Op deze wijze maskeren ze de gevolgen van het versterkte broeikaseffect. Aerosolen hebben daarnaast een effect op de wolkenvorming. Er is nog weinig bekend over de precieze aard van deze effecten.

Tenslotte heeft ook verandering in landgebruik effect. Waar de mens grootschalige veranderingen aanbrengt kan dit leiden tot klimaatveranderingen.

7.8.6.1 ozon en broeikas

Ozon komt voor zowel in de troposfeer (ruwweg de onderste 10 km van de dampkring) als in de stratosfeer (7de laag daarboven). De concentratie van troposferisch ozon, een broeikasgas, is toegenomen en dit draagt bij aan de opwarming van de aarde. De concentratie van stratosferisch ozon is juist afgenomen. Het stratosferisch ozon is echter van groot belang voor het filteren van schadelijke zonnestraling, m.n. UV-A straling. De afname van stratosferisch ozon wordt veroorzaakt door chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's). Internationaal zijn maatregelen genomen om de productie van CFK's te beperken. Als de afspraken goed worden nageleefd, zal de ozonlaag zich langzaam herstellen, nadat de hoeveelheid ozon-afbrekende stoffen naar verwachting rond de eeuwwisseling een hoogtepunt bereikt heeft. Het broeikas effect kan echter voor vertraging zorgen. Volgens de theorie van het versterkte broeikas effect gaat de opwarming van de troposfeer gepaard met een afkoeling van de stratosfeer. Dit kan het herstel van de ozonlaag vertragen.



7.8.6.2 opwarming en menselijke invloed

Het klimaat verandert van nature, maar ook de mens heeft er invloed op. Zoals beschreven, schommelt de wereldgemiddelde temperatuur flink, maar is er daarnaast sprake van een stijging. Onderzoekers hebben geprobeerd het opgetreden verloop te verklaren. Hun studies verschillen nogal in de details, maar ze hebben gemeen dat ze proberen om een of meerdere factoren van klimaatverandering in rekening te brengen. In een studie van het KNMI is gekeken naar het effect van variaties van de zonnestraling, van vulkaanuitbarstingen en van El Niño. Daaruit blijkt dat de waargenomen temperatuurtoename in de eerste helft van de 20e eeuw aan natuurlijke oorzaken kan worden toegeschreven: een afname van vulkaanactiviteit, nadat die aanvankelijk nogal sterk was, en een toename van zonneactiviteit. In de tweede helft van de 20e eeuw kunnen natuurlijke oorzaken de waargenomen snelle stijging niet verklaren: de zonneactiviteit nam nauwelijks verder toe, terwijl er sinds 1960 drie grote vulkaanuitbarstingen zijn geweest. Als we deze factoren aftrekken van de waarnemingen blijft een signaal over dat consistent is met de verwachte menselijke invloed. Andere studies komen tot vergelijkbare conclusies, ofschoon die studies onderling nog aanzienlijk verschillen in hun schattingen van de verschillende natuurlijke effecten.

Het gezaghebbende *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, opererend onder de vlag van het *United Nations Environment Program (UNEP)* en van de *Wereld Meteorologische Organisatie (WMO)*, stelt dat het zeer waarschijnlijk is dat het grootste deel van de opwarming sinds het midden van de twintigste eeuw door menselijk handelen is veroorzaakt. Recent onderzoek van het KNMI geeft aan dat de opmerkelijk warme periode aan het eind van de twintigste eeuw in Nederland deels samenhangt met de wereldwijde opwarming. Ongeveer de helft van de opwarming sinds de jaren '60 kan hiermee verklaard worden, de andere helft hangt samen met de grilligheid van het Nederlandse klimaat.

klimaatvoorspelling

Zonder klimaatbeleidsmaatregelen verwacht het IPCC voor de komende eeuw:

- stijging van de wereldtemperatuur met 1,1 tot 6,4 graden;
- een toename van de hevigheid van regenbuien;
- een stijging van de zeespiegel met 18 tot 59 cm.
- Een stijging van de wereldgemiddelde temperatuur met 1,1 tot 6,4 graden in honderd jaar is waarschijnlijk de afgelopen tienduizend jaar niet eerder voorgekomen.

De rekenmodellen van de atmosfeer zijn echter nog niet goed in staat om regionale klimaatvoorspellingen te doen, dus we kunnen daarover weinig met zekerheid zeggen. Een mogelijk scenario voor Nederland rond 2050 voor de rest van de 21e eeuw schetst het KNMI in haar KNMI'06 klimaatscenario's:

- de opwarming zet door, hierdoor komen zachte winters en warme zomers vaker voor;
- de winters worden gemiddeld natter en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe;
- de hevigheid van extreme regenbuien in de zomer neemt toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder;
- de berekende veranderingen in het windklimaat zijn klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid
- de zeespiegel blijft stijgen.



Aangezien de warmte in de recente jaren deels door toevallige oorzaken bepaald lijkt te zijn, zou een terugval naar gemiddelde waardes de temperatuurstijging de eerste tien jaar kunnen compenseren.

Over het klimaat (ruim) na de 21e eeuw kunnen we alleen maar speculeren. Volgens de scenario's van het IPCC zullen de effecten van verhoogde broeikasgasconcentraties nog lang merkbaar zijn. Zo zal de zeespiegelstijging in ieder geval honderden jaren doorgaan. Daarna, volgens sommigen pas over veertigduizend jaar, komt er misschien wel weer een ijstijd, maar dat is zelfs voor de generaties na ons nog erg ver weg.

7.8.6.3 betrouwbare voorspellingen?

Bij de bovengenoemde IPCC voorspellingen is geen rekening gehouden met de mogelijke effecten van uitstootbeperkingen door gericht klimaatbeleid. De marges in de voorspellingen worden voor een deel veroorzaakt door onzekerheid over uitstoot en veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer. Die komen weer voort uit onzekerheid over bevolkingstoename, economische groei en technologische ontwikkelingen. Een andere onzekerheid is te wijten aan verschillen in modelberekeningen ten gevolge van de beperkte kennis van het klimaatsysteem.

Klimaatprognoses worden gemaakt aan de hand van rekenmodellen, van onder andere atmosfeer, oceaan, ijsbedekking en vegetatie. Deze modellen zijn redelijk goed in staat het huidige klimaat na te bootsen. In grote lijnen stemmen de voorspellingen van ingewikkelde modellen overeen met wat onderzoekers verwachten op grond van eenvoudiger theoretische overwegingen.

Dat neemt niet weg dat er ook bij een voorgeschreven samenstelling van de atmosfeer onzekerheden zijn. Een aanwijzing voor de grootte van die onzekerheden krijgen we als we de uitkomsten van verschillende modellen onderling vergelijken. Dat geeft inzicht in de betrouwbaarheid van de voorspellingen, maar ook in de zwakke punten. Zo is het bekend dat de verandering van de hoeveelheid neerslag moeilijk te voorspellen is, dat invloed van wolken beter moet worden beschreven, en dat de invloed van de oceaan beter in kaart moet worden gebracht. Ook verwacht men op grond van dit soort vergelijkingen dat met grotere computers betere regionale voorspellingen mogelijk zijn.

Over de voorspelbaarheid van het klimaat is het laatste woord nog niet gesproken. Zo is de kleine kans op een abrupte klimaatverandering niet verwerkt in de IPCC prognoses, simpelweg omdat daarover nog onvoldoende bekend is. Zekerheid bieden de modellen dus niet, maar ze zijn eenvoudig het beste waarover we beschikken en dus van grote betekenis voor onze pogingen ons aan te passen aan klimaatverandering (adaptatie).

7.8.6.4 is het serieus?

Vaak wordt de vraag gesteld of het erg is dat de mens het klimaat verandert. Eigenlijk zou ieder voor zich die vraag moeten beantwoorden. Daarvoor moet men wel op de hoogte zijn van de verwachte risico's. Die zullen we niet bespreken, omdat het in deze les vooral gaat over de werking van het klimaatsysteem. Vast staat dat er wereldwijd grote ongerustheid is ontstaan over de gevolgen van de toename van de wereldtemperatuur en de stijging van de zeespiegel, zoals het IPCC die voor het eind van de 21e eeuw voorziet. Daarom hebben meer dan 100 landen in Kyoto bindende afspraken gemaakt om de emissies van broeikasgassen wereldwijd terug te dringen.

7.8.6.5 hoe kan de menselijke invloed beperkt worden?

De belangrijkste maatregel die iedereen kan nemen is minder energie verbruiken of overschakelen op schone energie, zoals groene stroom. Ook regeringen proberen tot afspraken te komen om de uitstoot van broeikasgassen te beperken. In 1991 begonnen de eerste internationale klimaatonderhandelingen die hebben geleid tot de ondertekening in 1992 van het klimaatverdrag in Rio de Janeiro. Het uiteindelijke doel van het klimaatverdrag is om gevaarlijke menselijke beïnvloeding van het klimaat te voorkomen. Zo moeten ecosystemen zich nog kunnen aanpassen aan de veranderingen, mag de voedselproductie niet in gevaar komen en moet de economische ontwikkeling op duurzame wijze plaats kunnen vinden. In de Europese Unie is afgesproken dat op basis daarvan de temperatuur uiteindelijk niet meer dan 2 graden mag stijgen boven het gemiddelde van voor het industriële tijdperk, rond 1750. Om dat te bereiken zijn wereldwijde reducties van meer dan 50% nodig in de komende eeuw. Door de verwachte economische groei van de ontwikkelingslanden zou dat wel eens kunnen uitkomen op een reductie van 80% voor de rijke landen.

Het RIVM vergelijkt dat met een veilige landing van een vliegtuig. "Het toestel mag de grond niet te vroeg raken, omdat het dan verongelukt, maar ook niet te laat, zodat er nog voldoende remweg over is."



De vergelijking met het klimaat gaat volledig op. "De uitstoot mag niet te snel afnemen want dat zou de economie schaden, maar ook niet te langzaam omdat we dan het risico lopen van een te grote en te snelle klimaatverandering en zeespiegelstijging".

Kyoto Protocol

De afspraken in het klimaatverdrag bleken al gauw niet voldoende om het uiteindelijke doel te halen. Probleem was onder andere dat de afspraken niet bindend waren.

Na twee jaar moeizaam onderhandelen werden een groot aantal landen het in 1997 in Kyoto eens over de tekst van het Protocol, ter aanvulling van het klimaatverdrag. Het verplicht de geïndustrialiseerde landen de uitstoot van broeikasgassen in 2010 gemiddeld 5% onder het niveau van 1990 te brengen. Voor Nederland is dat 6%. De maatregelen om dat te bereiken staan in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid van de Nederlandse Regering. In die nota is ook vastgesteld dat de Kamer het voorzorgsprincipe hanteert: ook al zijn er onzekerheden, de mogelijke gevolgen zijn zo ingrijpend dat we wel maatregelen moeten nemen. Als het Kyoto Protocol door alle betrokken landen wordt uitgevoerd is dat een eerste stapje op weg naar het beperken van klimaatveranderingen. Zichtbare resultaten kunnen pas verwacht worden als er nog vele stappen volgen.

7.8.6.6 klimaatonderzoek

Nederland houden veel wetenschappers zich bezig met klimaatonderzoek.

Onderzoeksinstituten en universiteiten in Nederland doen onderzoek naar de oorzaken en effecten van klimaatverandering voor ons land en naar mogelijke oplossingen en beleidsstrategieën voor de lange termijn. Het KNMI is voor Nederland kenniscentrum op het gebied van klimaat en klimaatveranderingen. In internationaal verband brengt het IPCC om de vijf jaar een rapport uit over de stand van zaken met betrekking tot klimaatveranderingen. Daaraan werken tal van Nederlandse onderzoekers mee. In 2007 heeft het IPCC haar vierde assessmentrapport uitgebracht. Dit factsheet gaat niet in op de verwachte gevolgen en mogelijke oplossingen voor het klimaatprobleem. Wie daarover meer wil weten kan de rapporten van het IPCC lezen. Meer op Nederland gerichte informatie is onder andere te vinden in de rapporten en fact-sheets van het Platform Communication on Climate Change (PCCC). Het klimaatonderzoek is volop in beweging. Deze publicatie is een momentopname. Ongetwijfeld zullen sommige inzichten nog veranderd of bijgesteld worden.

Opgaven.

10. Geef redenen waarom een weerhut is gemaakt van wit materiaal.
11. Een globe heeft een diameter van 32 cm.
Hoe dik is de troposfeer als die op dezelfde schaal zou worden weergegeven.





8 Druk

8.1 Druk en kracht

Het begrip 'druk' wordt in het dagelijkse gebruik vaak verwisseld met het begrip 'kracht'. Toch zijn dit twee zeer verschillende begrippen, die wel veel met elkaar te maken hebben.

Een voorwerp kan door de aantrekkingskracht, die erop werkt, een kracht uitoefenen op een ander voorwerp of op de ondergrond. We spreken dan van het gewicht van het voorwerp.



Er zijn natuurlijk meer krachten dan het gewicht. Zo kennen we de spierkracht, veerkracht, magneetkracht, elektrische kracht enz.



We weten ook wel dat de oppervlakte, waarop die bepaalde kracht werkt, van belang is voor de vraag of de ondergrond sterk genoeg is om het voorwerp te dragen.

In het algemeen geldt, dat hoe groter de oppervlakte is waarop de kracht werkt, hoe kleiner de indrukking in de ondergrond is. De kracht wordt als het ware meer verdeeld. Door dit alles komen we uit bij het begrip **druk**, met symbool p .

de druk p op een vlak is de kracht F per oppervlakte-eenheid A van dat vlak

In formule:

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

hierin is

p = de druk, in Pa of N/m^2 ;
 F = de kracht, in N;
 A = het oppervlak, in m^2 .

De eenheid van druk is N/m^2 . Men heeft aan deze eenheid een naam gegeven namelijk: pascal. Het symbool is Pa.

Dus:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$$

Druk

Een andere eenheid van oppervlakte is cm^2 . Voor het omrekenen geldt het volgende:

$$1 \text{ N/m}^2 = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} = \frac{1 \text{ N}}{1000 \text{ cm}^2} = \frac{1 \text{ N}}{10^4 \text{ cm}^2} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ N/cm}^2$$

We kunnen dus door de oppervlakte te veranderen de druk veranderen. In de praktijk komt dit veelvuldig voor.

Denk maar eens aan een scherp mes, dit heeft op de snijkant een heel klein oppervlak, waardoor het beter snijdt dan een bot mes, dat op het snijvlak een groter oppervlak heeft en dus een lagere druk uitoefent op het onderliggende materiaal.

Andere voorbeelden zijn sneeuwschoenen om de druk te verkleinen, zodat je niet in de sneeuw wegzakt.



Ook bij het skiën maakt men gebruik van een groter oppervlak om niet teveel in de sneeuw weg te zakken.

Of rijplaten voor voertuigen op een zachte ondergrond.

Wanneer er iemand door het ijs gezakt is, zal de hulpverlener niet aan de rand van het wak op het ijs gaan staan en de hand reiken naar de drenkeling. Het is verstandiger is om eerst een ladder tot aan het wak te schuiven en daarna in liggende houding een helpende hand naar de drenkeling uit te steken.

Iemand die een parketvloer in huis heeft, zal niet erg blij zijn met een feestje waarop veel vrouwen naaldhakken dragen. Bij naaldhakken komt het volle gewicht van een vrouw op 1 cm^2 .

De druk is hierbij zeer groot, zodat er in de parketvloer deuken komen, die er alleen bij een grote schuurbeurt weer uit verwijderd kunnen worden.

Het duidelijkste en meest tastbare voorbeeld is een punaise. Iedereen zal een punaise met de punt naar de muur en het dekseltje tegen de vingergebruiken en niet andersom.



Voorbeeld

Een voorwerp met een massa van 35 kg heeft een oppervlak, waarmee het op het ondersteunende vlak staat, van $0,25 \text{ m}^2$.

Bereken de druk op het ondersteunende vlak.

$$p = \frac{F}{A} = \frac{350}{0,25} = 1400 \text{ N/m}^2$$

Opgaven.

1. Een persoon van 80 kg staat op een blikje op de stoep. Het oppervlak waarmee het blikje op de stoep staat bedraagt $0,002 \text{ m}^2$.
Bereken de druk.
2. Met welke kracht duwt een persoon op een doosje, als gegeven is dat het oppervlak waarmee de duim het doosje raakt 2 cm^2 bedraagt en de druk gelijk is aan 100000 N/m^2 .
3. Een schaatsenrijder heeft een massa van 65 kg. De oppervlakte van het schaatsvlak van een schaats bedraagt 1 cm^2 .
Bereken de druk die de schaatsenrijder uitoefent op het ijs, als hij met twee schaatsen op het ijs staat.



4. De vorm van een voorwerp is vaak bepalend voor de stabiliteit van dat voorwerp. In een TV-programma liet iemand een vrachtwagen van 6 ton op 6 bierglazen staan. De glazen stonden omgekeerd en de vrachtwagen werd er met alle wielen gelijktijdig bovenop gezet.
Bereken de druk per glas wanneer gegeven is dat het oppervlak van het glas waarop de band staat $0,004 \text{ m}^2$ is.



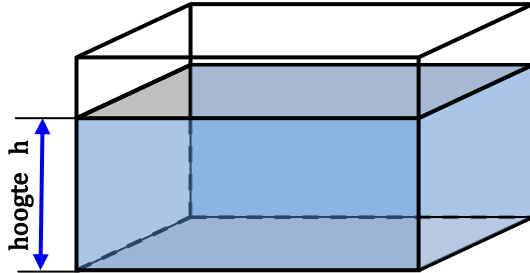
5. Els wil in haar woning een nieuwe parketvloer leggen. Omdat op de vloer ook een piano moet staan, vraagt zij gegevens op bij de fabrikant. Zij krijgt de volgende gegevens:

vloer	maximale druk
beuken	400 N/cm^2
grenen	300 N/cm^2
ebben	250 N/cm^2
vuren	150 N/cm^2

De piano weegt 2400 N en staat op 4 poten. Iedere poot heeft een contactoppervlak van 2 cm^2 met de vloer. Het gewicht van de piano is gelijk over de poten verdeeld.
Bereken welke vloer(en) kan Els kiezen, zonder dat er blijvende vervorming door de piano optreedt?

8.2 Vloeistofdruk

Het gaat hier dus om hetzelfde begrip druk, maar nu veroorzaakt door een vloeistof. We stellen ons voor een rechthoekige bak gevuld met een vloeistof.



De kracht die de vloeistof op de bodem uitoefent is niets anders dan het gewicht van die vloeistof.

De druk die de vloeistof op de bodem uitoefent, wordt de **hydrostatische druk** genoemd. Hiervoor geldt:

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

Hierin is

- p = de druk op de bodem, in Pa;
- h = de hoogte van de vloeistof, in m;
- ρ = de dichtheid van de vloeistof, in kg/m^3 ;
- g = de gravitatieconstante, 10 m/s^2 .

Voorbeeld

Een bak is voor $\frac{3}{4}$ deel gevuld met een koelvloeistof. De dichtheid van deze koelvloeistof bedraagt 1030 kg/m^3 .

Bereken de druk op de bodem.

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

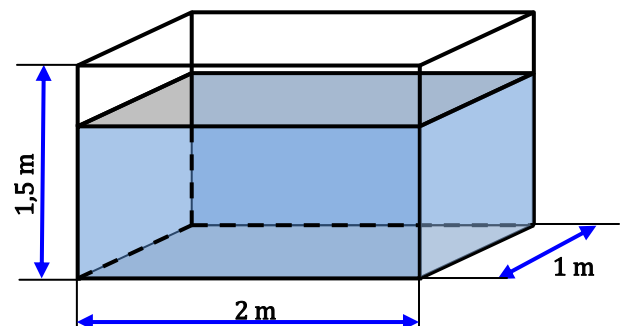
$$p = (\frac{3}{4} \cdot 1,5) \cdot 1030 \cdot 10$$

$$p = 11587,5 \text{ N/m}^2$$

Hoe groot is nu de kracht op de bodem?

$$p = \frac{F}{A} \quad \rightarrow \quad F = p \cdot A$$

$$F = 11587,5 \cdot (2 \cdot 1) = 23175 \text{ N}$$

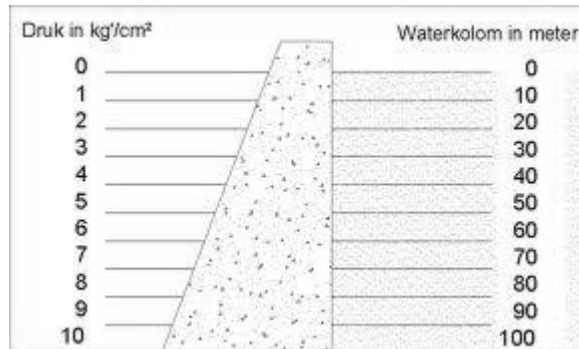


Druk

Wanneer we naar een stuwdam kijken dan zal ons opvallen dat deze aan de onderkant veel breder is dan aan de bovenkant.

Deze constructie is noodzakelijk omdat de druk op de stuwdam steeds groter wordt naarmate we verder onder water zitten. De basis van de stuwdam zal het stevigst moeten zijn.

In onderstaande afbeelding is schematisch een overzicht daarvan gegeven.



Opgaven.

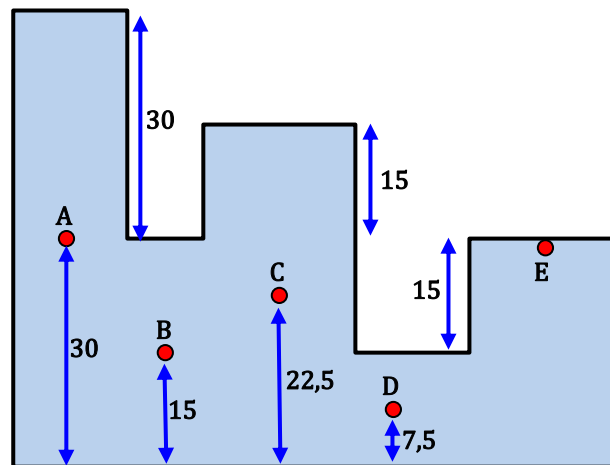
- In een maatcilinder staat tot een hoogte van 65 cm aceton. Bereken de druk op de bodem van de maatcilinder.
- Een duiker, die in zoet water duikt, ondervindt een druk van $94,81 \text{ N/cm}^2$. Bereken op welke diepte deze duiker zich bevindt.
- Een parelduiker zoekt soms op 25 m diepte naar parels. Welke druk heerst er op deze diepte in de zee?

Stel dat het oppervlak van het trommelvlies van deze parelduiker $0,5 \text{ cm}^2$ bedraagt. Bereken de kracht die op deze diepte op het trommelvlies werkt.

- Van een duikboot is gegeven dat de huid een maximale druk van 2495 kPa kan verdragen. Bereken hoe diep deze duikboot maximaal kan duiken in zoet water.



10. Bereken de druk in de punten A, B, C, D en E, alle maten zijn in cm en de bak is gevuld met water.



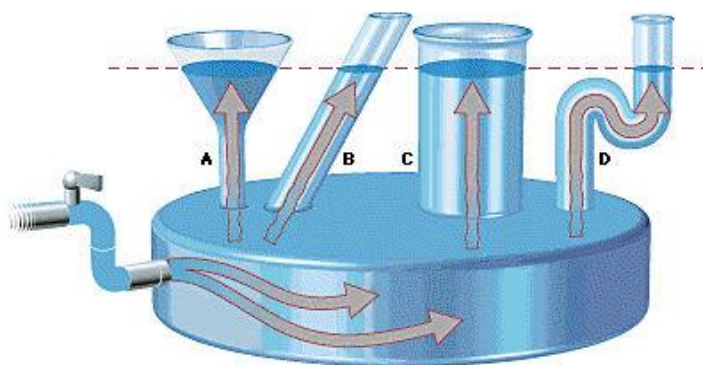
11. Bij een stuwdam maakt men gebruik van het verschil in waterhoogte. Bereken hoeveel druk er op de uitstroomopening komt te staan bij een hoogteverschil van 100 m.

8.2.1 communicerende vaten

Op de afbeeldingen wordt getoond dat als met elkaar in verbinding staande glazen buizen gevuld worden met water, het water in iedere buis even hoog gaat staan.

We noemen dit: **communicerende vaten**.

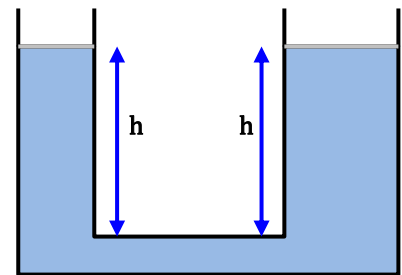
Het water gaat in iedere buis even hoog staan omdat er op de waterspiegel gedrukt wordt door de luchtdruk en die is bij alle buizen even groot. Is die druk niet even groot, dan zal de vloeistof stijgen of dalen afhankelijk van de situatie.



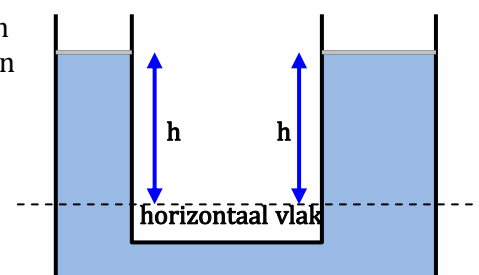
Druk

Regels

1. Als de vaten gevuld zijn met dezelfde vloeistof, dan liggen de vloeistofspiegels in hetzelfde horizontale vlak, omdat de druk op de vloeistof in elk even groot is, namelijk de druk van de buitenlucht.



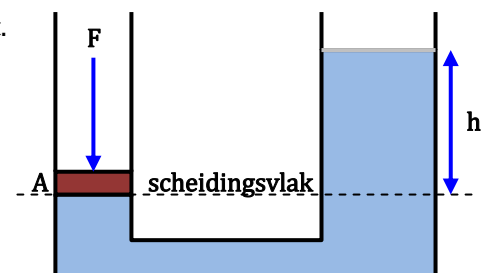
2. Zijn de vaten gevuld met dezelfde vloeistof dan is de druk in elk willekeurig gekozen horizontaal vlak in de vloeistof even groot.



3. Als op één van de vloeistofspiegels een druk wordt uitgeoefend, dan is de druk in het scheidingsvlak even groot.

$$p_{\text{links}} = p_{\text{rechts}}$$

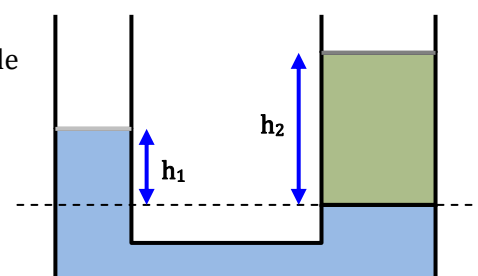
$$\frac{F}{A} = h \cdot \rho \cdot g$$



4. Zijn de vaten gevuld met verschillende vloeistoffen dan is de druk in het scheidingsvlak even groot.

$$p_{\text{links}} = p_{\text{rechts}}$$

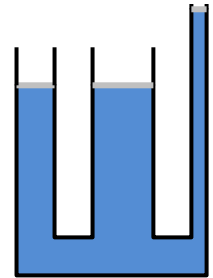
$$h_1 \cdot \rho_1 \cdot g = h_2 \cdot \rho_2 \cdot g$$



8.2.2 capillaire vaten

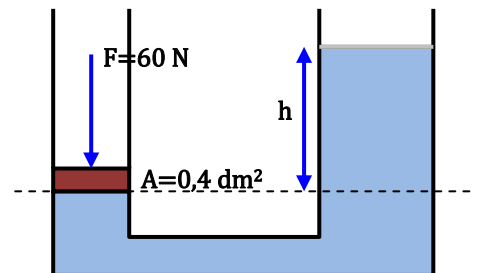
Capillaire vaten, ook wel haarvaten genoemd, zijn heel dunne buisjes. Door de aantrekkingskracht tussen de watermoleculen en de glasmoleculen kruipt het water in de haarvaten omhoog. Dit verschijnsel vindt men terug bij de werking van een spons, het opstijgen van water door de stengels van planten, maar ook bij het afdrogen van de vaat met een afdroogdoek.

Niet alle vloeistoffen hebben de neiging in haarvaten omhoog te kruipen. Als we kwik gebruiken in plaats van water, dan zien we dat het kwik in de haarvaten juist lager staat dan in de bredere vaten.



Voorbeeld

In een U-vormige buis wordt op een vloeistof een kracht van 60 N uitgeoefend door de zuiger. Er is evenwicht. De dichtheid van de vloeistof bedraagt 1250 kg/m³. Hoe groot is de hoogte h?



$$p_{\text{links}} = p_{\text{rechts}}$$

$$\frac{F}{A} = h \cdot \rho \cdot g$$

$$\frac{60}{0,004} = h \cdot 1250 \cdot 10$$

$$h = 1,2 \text{ m}$$

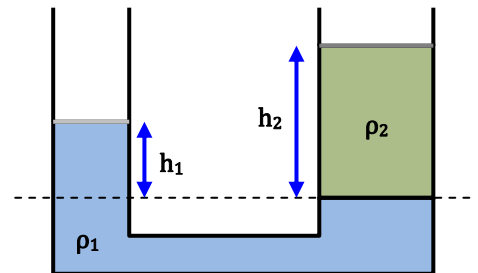
Voorbeeld

In het rechterbeen van een U-buis staat een hoeveelheid olie bovenop water. Er is evenwicht. Gegeven is:

$$\rho_1 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_2 = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$h_1 = 16 \text{ cm}$$



Bereken de hoogte van de olie.

$$p_{\text{links}} = p_{\text{rechts}}$$

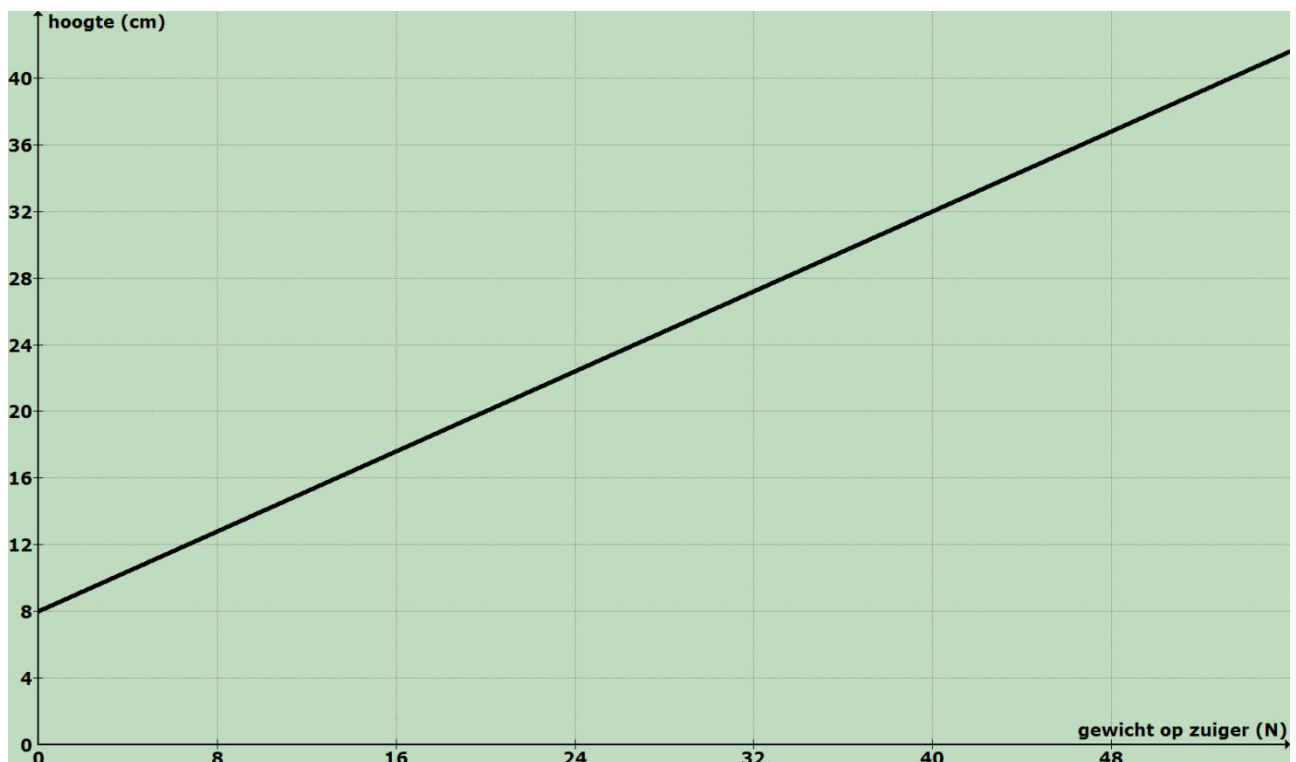
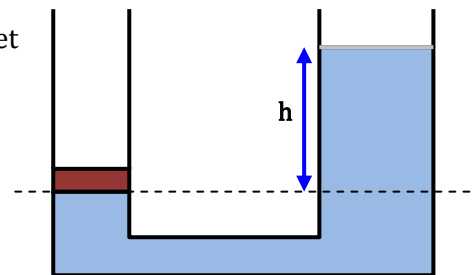
$$h_1 \cdot \rho_1 \cdot g = h_2 \cdot \rho_2 \cdot g$$

$$0,16 \cdot 1000 \cdot 10 = h_2 \cdot 800 \cdot 10$$

$$1600 = h_2 \cdot 8000 \quad \rightarrow \quad h_2 = 0,2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$$

Opgaven.

12. Een U-vormige buis is gedeeltelijk met water gevuld. In het brede deel van de buis rust een zuiger op het water. De zuiger kan zonder wrijving bewegen. De afstand h is het hoogteverschil tussen de waterniveaus in de beide delen van de buis. Op de zuiger worden verschillende gewichten geplaatst. Bij elk gewicht wordt de afstand h gemeten. De resultaten van deze metingen zijn in onderstaand diagram weergegeven.



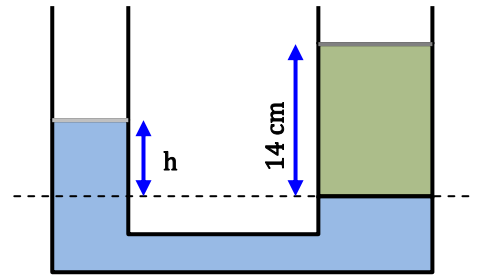
- Lees uit de grafiek af hoe groot de afstand h is, als op de zuiger een gewicht van 40 N is geplaatst.
- Lees uit de grafiek af hoe groot de afstand h is, als op de zuiger geen gewicht geplaatst is.

De zuiger blijft onbelast.

- Bereken de druk die door de zuiger op het water wordt uitgeoefend.

13. In het rechterbeen van twee communicerende vaten staat een vloeistofkolom van 14 cm met een dichtheid van $1,2 \text{ g/cm}^3$.
De andere vloeistof heeft een dichtheid van 2 g/cm^3 .

Bereken de hoogte h .



14. Twee communicerende vaten met doorsneden van resp. 5 cm^2 en 8 cm^2 zijn gevuld met kwik, waarop in het nauwe been een zuiger met een massa van 20 kg drukt.
Hoeveel staat het kwik in het andere been dan hoger?

15. De communicerende vaten zijn gevuld met een vloeistof.
In beide benen worden verschillende vloeistoffen gegoten.

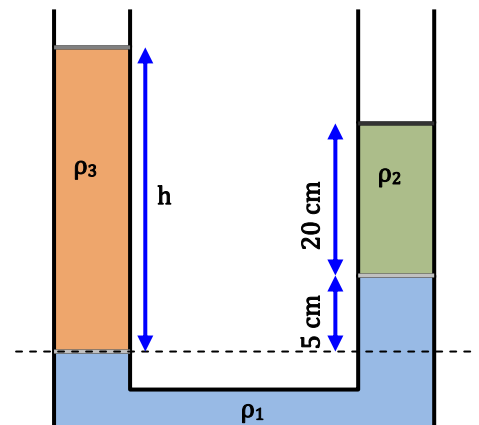
De gegevens zijn:

$$\rho_1 = 1,8 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_2 = 1,2 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_3 = 0,8 \text{ g/cm}^3$$

Bereken de hoogte h .



8.2.3 wet van Pascal

Bij vaste stoffen hebben de moleculen, door grote cohesiekrachten, een vaste plaats. Hierdoor kan een vast voorwerp een eigen vorm hebben.

Bij een vloeistof is de cohesiekracht geringer en kunnen de deeltjes zich langs elkaar verplaatsen. Daar elk deeltje wordt aangetrokken door de aantrekkingskracht van de aarde, zoekt het de laagste plaats op, zodat de vorm van de vloeistof afhangt van het vat, waarin het zich bevindt.

Men kan dit goed zien bij een smeltend stuk ijs, het gevormde water stroomt direct weg. Deze beweeglijkheid van vloeistoffen heeft nog een ander gevolg.

Stel men heeft een blok ijs en een bakje, met dezelfde vorm als het blok ijs, gevuld met water. Plaatst men op het ijs een massa, dan komen de deeltjes, die daar onder liggen, onder druk. Maar de moleculen, die links en rechts van de massa liggen, bemerken niets van deze druk. De drukverdeling is dus onregelmatig.

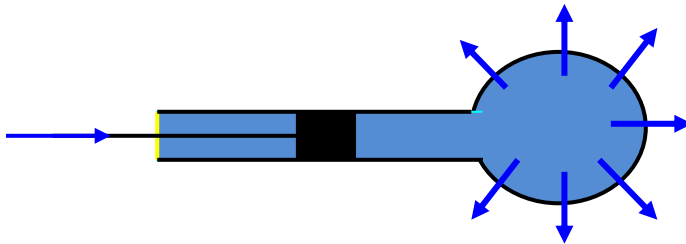
Plaatst men de massa op het water, dan wijken de vloeistofdeeltjes onmiddellijk terug, omdat ze zich langs elkaar verplaatsen kunnen. De massa zakt naar de bodem, het water stroomt over de rand van het bakje en nergens ontstaat druk.

Anders wordt dit laatste echter, als het bakje geheel gevuld en afgesloten is met een zuiger. Plaatst men op deze zuiger de massa, dan wil het water ontwijken, maar er is nu nergens ruimte. Het ene deeltje tracht langs het andere weg te komen, de gehele massa komt onder druk te staan, welke tenslotte door de wanden van het bakje wordt opgenomen.

Bij een vaste stof ontstaat dus door de massa plaatselijke druk, bij een vloeistof in een open ruimte ontstaat geen druk en bij een vloeistof in een gesloten ruimte is overal druk ontstaan. Voor dit laatste geval geldt de wet van Pascal, welke luidt:

wanneer zich in een afgesloten ruimte vloeistof bevindt en men oefent op die vloeistof een druk uit, dan zal deze druk zich in alle richtingen onveranderd voortplanten.

Om de wet van Pascal enigszins zichtbaar te maken, kan men gebruik maken van een glazen bol met diverse openingen die vastgemaakt is aan een glazen cilinder met een beweegbare zuiger.



8.2.4 hydraulische pers

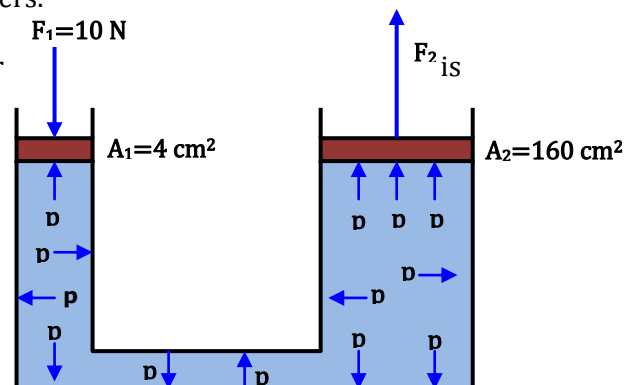
Een toepassing van de wet van Pascal is de hydraulische pers. Twee cilinders staan met elkaar in verbinding. Ze zijn gevuld met vloeistof, die in beide cilinders door een zuiger afgesloten.

Een kracht F_1 wordt uitgeoefend op de kleine linkerzuiger. Deze zuiger heeft een oppervlakte A_1 , het gewicht van de zuiger wordt buiten beschouwing gelaten.

Door deze kracht ontstaat een druk onder de kleine zuiger:

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ N/cm}^2$$

Deze druk verplaatst zich overal in de vloeistof en dus ook naar de onderkant van de grote zuiger.



Druk

Op het oppervlak van de grote zuiger werkt dan een kracht van:

$$p = \frac{F_2}{A_2} \quad \rightarrow \quad F_2 = p \cdot A_2$$

$$F_2 = 2,5 \cdot 160 = 400 \text{ N}$$

Als we de waarden in deze berekening met elkaar vergelijken, dan ontstaat:

$$A_1 : A_2 = 4 : 160 = 1 : 40$$

$$F_1 : F_2 = 10 : 400 = 1 : 40$$

Hieruit kan de volgende evenredigheid gehaald worden:

$$F_1 : F_2 = A_1 : A_2$$

Hierin is

F_1 = de kracht op de eerste zuiger, in N;

F_2 = de kracht op de tweede zuiger, in N;

A_1 = het oppervlak van de eerste zuiger, in m^2 ;

A_2 = het oppervlak van de tweede zuiger, in m^2 ;

De krachten verhouden zich als de oppervlakten van de zuigers waarop ze werken.

Het voorbeeld had ook met behulp van deze evenredigheid opgelost kunnen worden:

$$F_1 : F_2 = A_1 : A_2$$

$$10 : F_2 = 4 : 160$$

$$F_2 = \frac{10 \cdot 160}{4} = 400 \text{ N}$$

Soms wordt de oppervlakte van de zuigers niet gegeven, maar wel de diameters van de zuigers. De evenredigheid komt er dan als volgt uit te zien:

$$F_1 : F_2 = A_1 : A_2$$

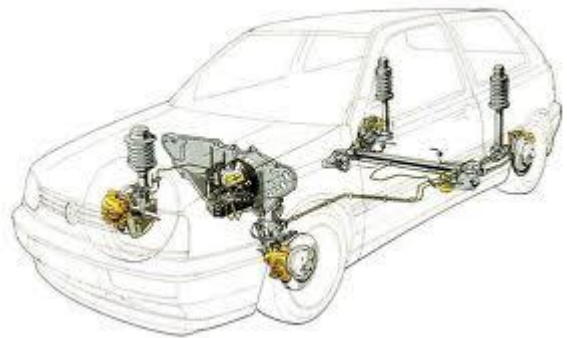
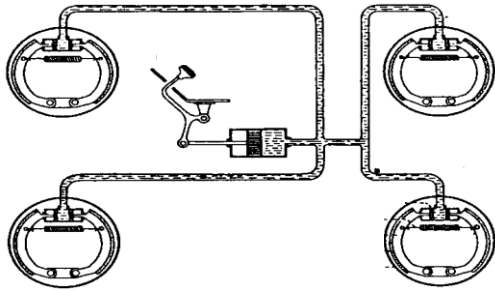
$$F_1 : F_2 = \frac{1}{4}\pi d^2 : \frac{1}{4}\pi D^2$$

$$F_1 : F_2 = d^2 : D^2$$

De krachten verhouden zich als de kwadraten van de diameters van de zuigers waarop ze werken.

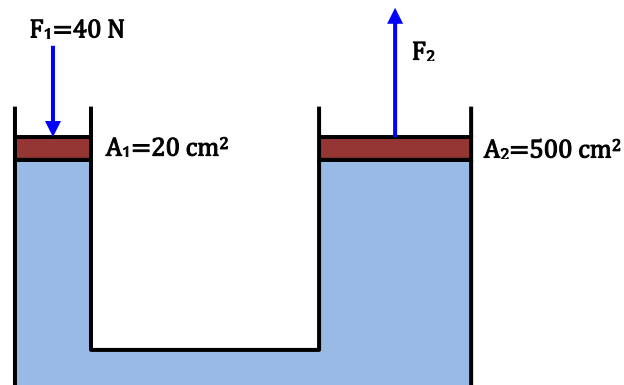
Druk

We noemen zo'n systeem van zuigers een **hydraulisch systeem**. Een dergelijk systeem kennen we bij de reminstallatie van een auto. Drukken we op de rem, dan komt er druk op de hoofdremlcilinder. Deze druk wordt dan voortgeplant in de remleidingen naar ieder wiel, waar de druk op een remcilinder gaat werken en de auto laat remmen.

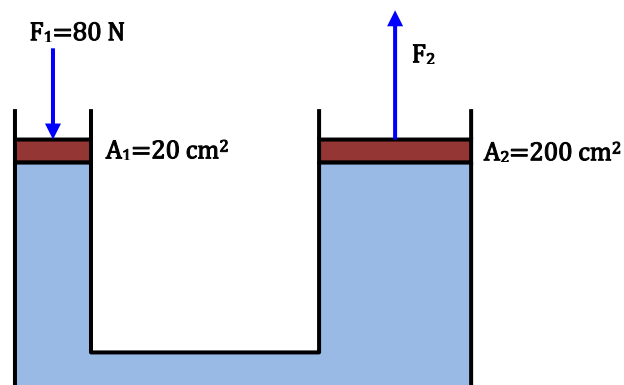


Opgaven.

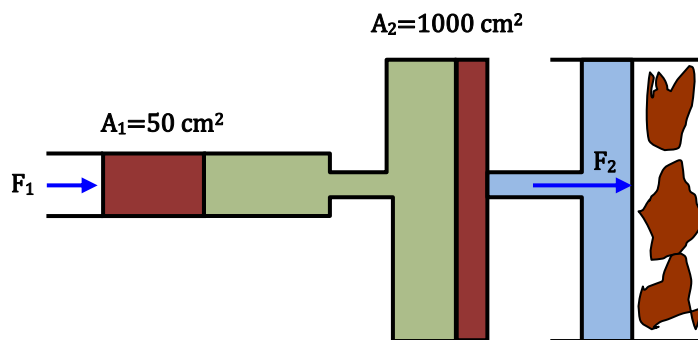
16. Hoe groot is de kracht op de rechter zuiger bij evenwicht?



17. Hoe groot is de kracht op de rechter zuiger bij evenwicht?

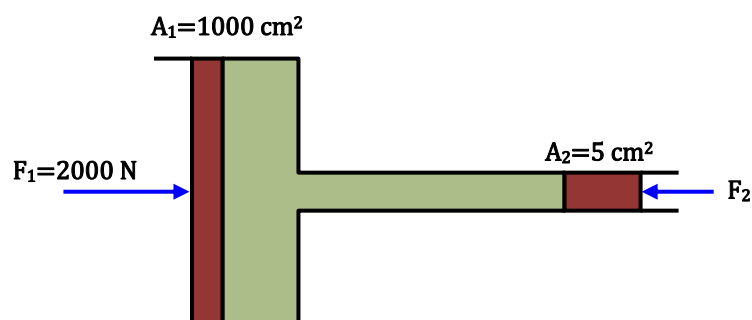


18. Bereken de kracht die op de grote zuiger van een hydraulische pers werkt als op de kleine zuiger een kracht van 500 N werkt. De oppervlakte van de kleine zuiger is 25 cm² en van de grote zuiger 150 cm².
19. Bereken het oppervlak van de grote zuiger van een hydraulische pers als gegeven is dat de massa van de kleine zuiger 4 kg bedraagt en de massa van de grote zuiger 16 kg. Het oppervlak van de kleine zuiger is 30 cm².
20. Voor het samenpersen van schroot gebruikt men een hydraulische pers.



Zie de figuur voor de oppervlakten van de zuigers.
De kracht F_1 op de kleine zuiger is 600 N. Verwaarloos de wrijving in de pers.
Hoe groot is de kracht F_2 waarmee het schroot door de grote zuiger wordt samengeperst?

21. In de figuur is een hydraulisch werktuig getekend. De oppervlakten van de zuigers zijn in deze figuur aangegeven.
Op de grote zuiger oefent men een kracht $F_1 = 2000$ N uit.
Hoe groot is de kracht F_2 , die nodig is om de kleine zuiger op zijn plaats te houden?



22. Van een vorkheftruck zijn de volgende gegevens bekend:

diameter zuiger	100 mm
het gewicht van het hefmechanisme	2000 N
het gewicht van de last	7000 N

Bereken de vloeistofdruk in het hydraulisch systeem.

opmerking: In de tekening is een vereenvoudigd schema van de hefinrichting van een heftruck weergegeven.



Dichtheid vloeistoffen	kg/m ³
Aceton	790
Kwik	13600
Water	1000
Zeewater	1025