

3. KRACHTEN

3.1 Algemeen: hefboom, balans, diverse toepassingen

Krachten vragen erom om direct aan den lijve ervaren te worden. Dit in tegenstelling tot de bewegingsleer, die veel sterker vanuit de voorstelling behandeld kon worden. Een goede introductie van het thema krachten bieden de *balans* en de *hefboom*.

Neem een lange lat (circa 2 m) en laat een leerling deze als een juk op de nek nemen, terwijl twee anderen de uiteinden verticaal naar beneden trekken. Laat de leerlingen ook horizontaal aan de uiteinden trekken. Vervolgens kan men de proef herhalen, waarbij de middelste leerling de lat nu niet meer in het midden steunt. Ervaringen: Bij verticale krachten aan de uiteinden moet de middelste leerling beide anderen weerstaan en dus alléén net zoveel doen als de twee anderen samen. Bij horizontale even sterke krachten hoeft de middelste niets te doen. Wordt de lat uit het midden gesteund, dan hoeft die leerling waarvan de afstand tot de dragende groter is minder te doen.

Hang de lat nu aan een statief met een mof als draaias en hang met behulp van ringen van ijzerdraad twee even zware gewichten aan de uiteinden. Verschuif de ringen vervolgens, terwijl er gewichtschijven worden toegevoegd.

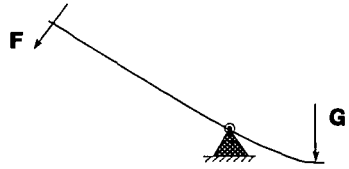


Er kunnen nu enige toepassingen van *hefbomen* besproken worden, zoals koevoet, kruiwagen e.d. Daarbij is na te gaan dat er in feite slechts drie verschillende situaties mogelijk zijn van steunpunt en krachten.

1. *Steunpunt tussen twee krachten*: bijv. koevoet, vaste katrol, kleminrichting.

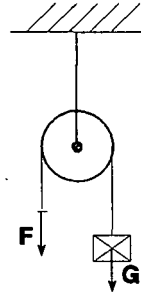
koevoet

Er wordt met een kracht F aan de koevoet getrokken en er kan een zwaar gewicht G worden opgetild.



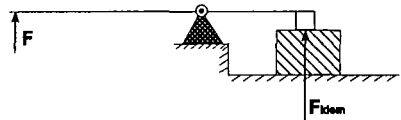
vaste katrol

De trekkracht F is gelijk aan het gewicht G .



kleinrichting

Wanneer het blokje de naar beneden gerichte klemkracht weerstaat, dan is de kracht van het blokje op de hefboom dus omhoog gericht.

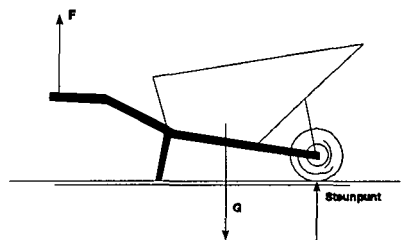


Afspraak: we tekenen de krachten op een voorwerp altijd zoals ze op dat voorwerp inwerken. Dus niet wat het voorwerp op de omgeving doet wordt getekend, maar wat de omgeving doet op het voorwerp.

2. ***Steunpunt en werkende kracht aan de uiteinden:*** bijv. kruiwagen, losse katrol, windas.

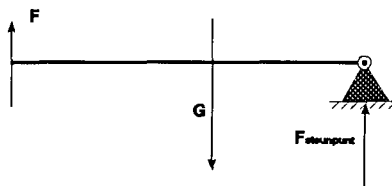
kruiwagen

De hefkracht F en het gewicht G staan in een bepaalde relatie tot elkaar, maar F is in ieder geval kleiner dan G .



De steunpuntskracht, die de grond op het kruiwagenwiel uitoefent, draagt G niet alleen, de kruiwagenrijder draagt ook:

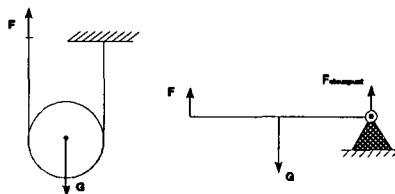
$$F_{\text{steunpunt}} = G - F$$



losse katrol

De trekkracht F en de steunpuntskracht F_s dragen samen het gewicht G en zijn gelijk in grootte:

$$F + F_s = G \quad \text{en} \quad F = F_s$$

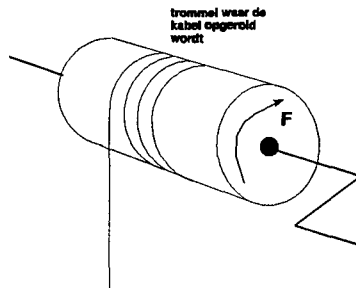


Algemeen:

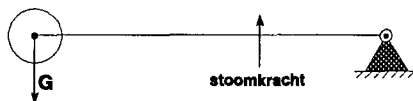
wanneer ergens in een touw een kracht werkt, dan werkt die kracht in het hele (gespannen gedeelte van het) touw.

windas (hijsinrichting voor een waterput, lier).

Afhankelijk van de lengte van het hengel in verhouding tot de straal van de trommel zal de draaikracht F in ieder geval kleiner zijn dan het gewicht G .



3. **Werkende kracht in het midden:** bijv. **veiligheidsklep** (pot van Papin). In dit geval moet de werkende kracht groter zijn dan het gewicht G .

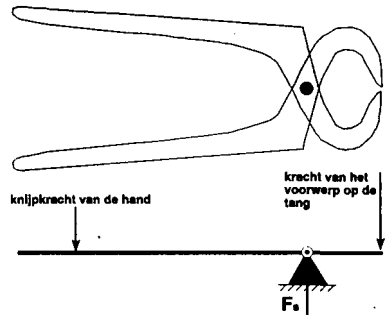


Van de drie bovenbeschreven situaties bestaan ook **dubbele hefboomen**, waarvan hieronder voorbeelden.

ad 1. *tang*

In het schema worden alleen de krachten op de gearceerde helft van de tang weergegeven. In het scharnierpunt S is de kracht het grootst:

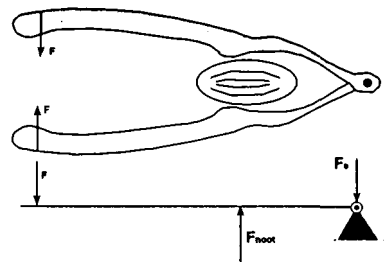
$$F_s = F_{\text{knijp}} + F_{\text{voorwerp}}$$



Het is belangrijk erop te wijzen dat de andere helft van de tang de kracht op het voorwerp niet verdubbelt, maar dat de hand, de tang en het voorwerp ieder voor zich een gesloten krachtensysteem is. De knijpkracht van de hand op de tang boven is gelijk maar tegengesteld aan die van onder. Ook in het scharnier zal de ene helft zich afzetten tegen de andere helft. Ook de kracht van de hand op de tang en die van de tang op de hand zijn even groot en tegengesteld. De actieve kracht van de hand en de kracht waarmee de tang deze weerstaat zijn afhankelijk van elkaar: de hand kan niet harder knijpen dan de tang kan weerstaan. Deze weerstand biedende kracht noemen we de reactiekracht. De actie van de hand wordt begrensd door de reactiemogelijkheid van de tang. De reactie begrenst aldus de actie. Het voorbeeld van een bevroren of een week pakje boter is zeer sprekend: op de weke boter kan een actiekracht nauwelijks ontwikkeld worden.

ad 2. *notenkraker*

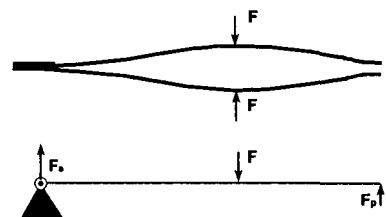
De noot duwt en weerstaat de invloed van de actiekracht F . De actie F wordt weer begrensd door de reactiemogelijkheid van de noot.



ad 3. *pincet*

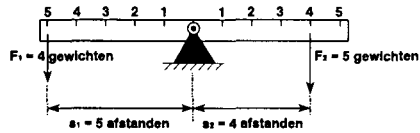
De actiekracht van de hand roept weer een reactiekracht van de postzegel of de splinter op.

Deze situatie kan in het groot worden gedemonstreerd met behulp van twee latten met een bout als scharnierpunt.



Na bespreking van deze voorbeelden van hefboomen kunnen we terugkeren naar de *balans* en proefondervindelijk de verhoudingen van afstand en kracht vaststellen. De wetmatigheid die de leerlingen al snel ontdekken is de volgende: krachten en afstanden zijn omgekeerd evenredig met elkaar. Dit wordt ook de gulden regel genoemd: wat men wint aan kracht verliest men aan afstand, en omgekeerd:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{F_2}{F_1}$$



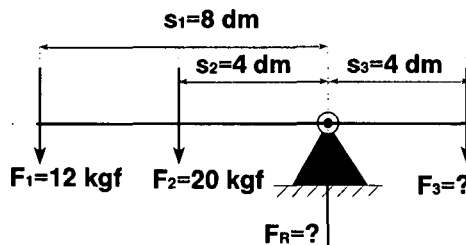
Deze verhoudingen zijn aan elkaar gelijk en dimensieloos. Dit verandert als we de verhoudingen omschrijven naar producten:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{F_2}{F_1} \rightarrow s_1 \cdot F_1 = s_2 \cdot F_2$$

Het product van afstand en kracht aan beide kanten van het draaipunt is gelijk. Dit product krijgt een naam: moment (M) of koppel en heeft de eenheid $\text{kgf} \cdot \text{m}$ (voorlopig wordt als eenheid van kracht de kilogramforce (kgf) gebruikt, omdat die in het dagelijks leven gebruikelijk is). Onder het begrip moment kan verstaan worden het effect van een kracht om een draaipunt. Bij alle genoemde voorbeelden hebben we te maken met een evenwicht van momenten. Daarom kan men zo'n moment ook een (statisch) moment noemen.

statisch moment = kracht \times statische afstand (kracht \perp afstand)

Als volgende stap kan de balans met meer dan twee krachten behandeld worden. Het steunpunt S kiezen we voorlopig ook als draaipunt voor het bepalen van de evenwichtstoestand (dit is niet noodzakelijk, want hiervoor zou ieder punt in de ruimte of van de balansarm gekozen kunnen worden).



Hoe groot moet F_3 zijn om de balansarm in evenwicht te houden?
Er zullen twee oplossingsmethoden besproken worden:

a. Vanuit de dimensieloze verhoudingen gaat dit als volgt:

Stel alleen F_1 moet in evenwicht gehouden worden, dan geldt:

$$\frac{S_1}{S_3} = \frac{8}{4} = 2 = \frac{F_3}{F_1} \rightarrow F_3 = 2F_1 = 24 \text{ kgf}^*$$

Om alleen F_2 in evenwicht te houden, geldt voor F_3 :

$$\frac{S_2}{S_3} = \frac{4}{4} = 1 = \frac{F_3}{F_2} \rightarrow F_3 = F_2 = 20 \text{ kgf}$$

Om beide krachten F_1 en F_2 in evenwicht te houden moet F_3 gelijk aan $24 + 20 = 44 \text{ kgf}$ zijn.

Het steunpunt moet alles dragen dus

$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 = 12 + 20 + 44 = 76 \text{ kgf}$$

b. Oplossing met statische momenten:

F_1 en F_2 zouden de balans tegen de klok in willen doen ronddraaien. Alleen door F_3 zou de balans met de klok mee willen gaan draaien. Bij statisch evenwicht is de som van alle momenten linksom gelijk aan de som van alle momenten rechtsom eenzelfde draaipunt:

$$\Sigma M_l = \Sigma M_r$$

Dit levert:

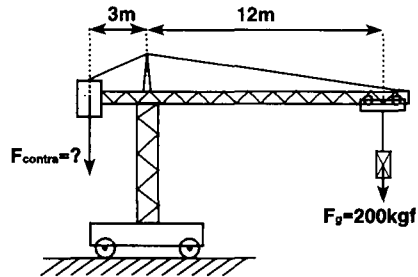
$$\begin{aligned} F_1 \times s_2 + F_2 \times s_2 &= F_3 \times s_3 \\ 12 \times 8 + 20 \times 4 &= F_3 \times 4 \\ F_3 &= 44 \text{ kgf} \end{aligned}$$

Voor de steunpuntkracht F_r geldt dezelfde berekening als onder a.

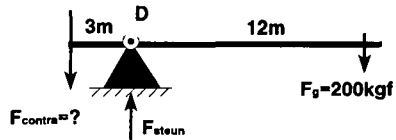
* Over het gebruik van kgf als eenheid van kracht zie paragraaf 3.4.6 en paragraaf 4.3.

Vervolgens kunnen er allerlei mechanische werktuigen en statische constructies besproken en berekend worden, zoals hijskranen, bruggen, viaducten, dakconstructies. Als voorbeeld wordt een hijskraan bekeken:

Hoe groot moet het contragewicht zijn om evenwicht te krijgen in de arm?



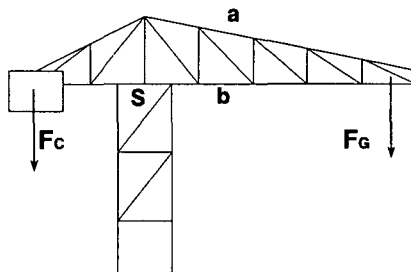
Maak een schematische tekening van alleen de bovenarm:



$$\begin{aligned} \Sigma M_l &= \Sigma M_r \\ F_{\text{contra}} \times 3 &= 200 \times 12 \\ F_{\text{contra}} &= \frac{200 \times 12}{3} = 800 \text{ kgf} \end{aligned}$$

De steunpuntskracht = $F_{\text{contra}} + F_g = 800 + 200 = 1000 \text{ kgf}$.

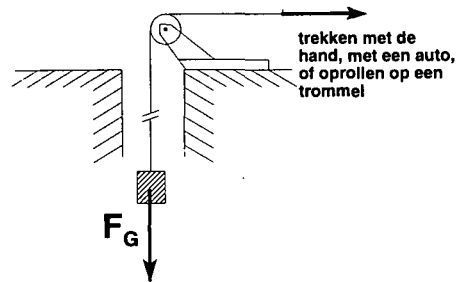
Vooruitlopend op het volgende onderwerp over het ontbinden van krachten kan hier gesproken worden over het vakwerk (vormvaste driehoeken) en over de trekstangen in de nok, waardoor er in plaats van buiging drukkrachten in de arm komen. Zonder trekstangen zou de arm er ongeveer als volgt uit moeten zien:



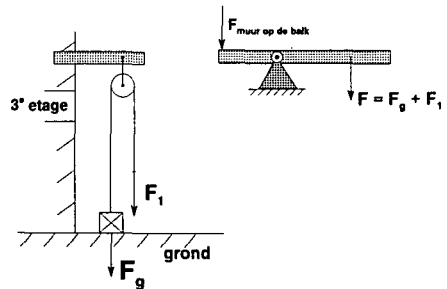
Om te ontdekken wat voor krachten er in de constructie werken kan men de vraag stellen: wat zou er gebeuren als de constructie op een bepaalde plaats wordt doorgezaagd? Wordt de zaagsnede verder open getrokken? Dan werkt daar een trekkracht. Wordt de zaagsnede dichtgedrukt? Dan werkt daar een drukkracht. Hoe zal nu de rest van de constructie reageren? In bovenstaande arm, die in S het sterkst op buiging belast wordt, treden aan de bovenkant (a) trekkrachten en aan de onderkant (b) drukkrachten op.

Desgewenst kan op het onderwerp katrollen en takels nog nader worden ingegaan. Wanneer een zwaar gewicht omhoog of omlaag gebracht moet worden, dan gebruikt men hiervoor vaak een takel. Enkele voorbeelden.

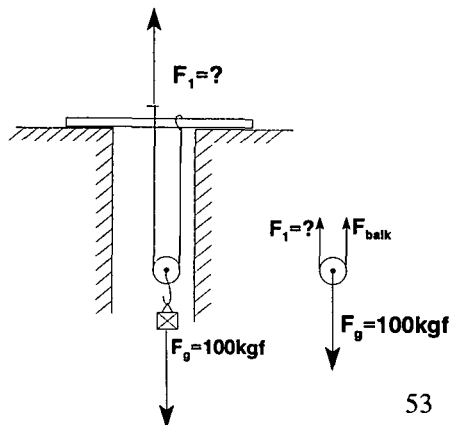
a. Uit een diepe put wil men iets omhoog brengen: het katrol wordt gebruikt om de krachtrichting te veranderen van verticaal naar horizontaal.



b. Een kist wordt naar de derde verdieping van een flat gehesen. De kracht F_1 is gelijk aan F_g (eigenlijk is F_1 iets groter in verband met de wrijving en het in beweging komen). Het katrol zorgt weer voor de richtingverandering van de kracht. De draagarm van het katrol moet de gewichtskracht en de trekkracht tezamen weerstaan.



c. Men staat boven een last en hijst deze op met behulp van een los katrol. Het losse katrol wordt belast door het gewicht F_g (dat nu niet direct aan het hijstouw zit) en door het hijstouw. De beide krachten in het linker- en rechterdeel van het touw, F_1 en F_{balk} , dragen samen F_g en zijn dus beide 50 kgf.



Het hijsen gaat dus twee keer zo gemakkelijk, maar men moet ook twee keer zoveel touw innemen.

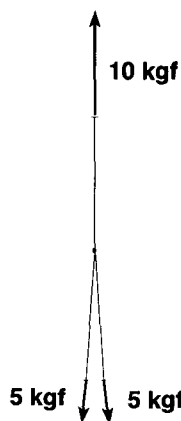
Deze proeven met katrollen kunnen net als bij de balans weer heel eenvoudig met drie leerlingen worden uitgevoerd in een horizontale opstelling.

3.2 Het samenstellen en ontbinden van krachten

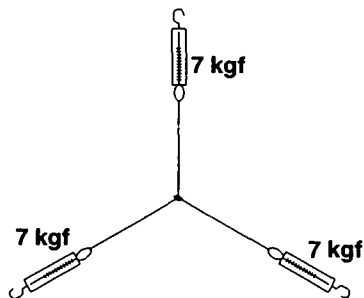
Neem een drietal touwen die in een punt aaneengeknoopt zijn. Drie leerlingen kunnen hieraan trekken onder verschillende hoeken ten opzichte van elkaar. Ga na een korte ervaringsoefening over tot het systematisch meten met behulp van veerunsters. Men kan de situatie hiernaast als uitgangspunt nemen.

Laat nu de leerlingen 2 en 3 uit elkaar gaan, terwijl ze een kracht van 5 kgf blijven uitoefenen. Leerling 1 moet zich aanpassen. De ervaring leert dat leerling 1 steeds minder heeft te doen.

Het is een aardig spel om bij de volgende opdracht de leerlingen eerst wat op het verkeerde been te zetten, door twee van de drie leerlingen dicht bij elkaar tussen de tafels in het lokaal te zetten en de derde ergens anders. De opdracht luidt dan: zorg ervoor dat jullie alle drie met een kracht van 7 kgf trekken. Na enige discussie en hulp van andere leerlingen ontstaat een regelmatige driester.

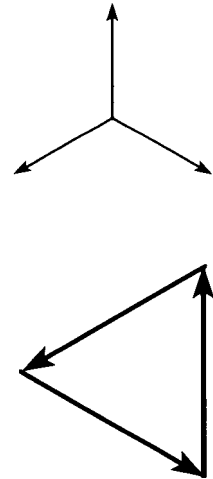


Bij het verwerken van de waarneming lijkt dit een goed moment om de leerlingen te wijzen op de verschillende stadia van abstractie. Als begin kan men ze een tekening in het schrift laten maken van de drie proefpersonen bezig met de proef, een soort foto-tekening. Zo'n tekening hebben we hier niet weergegeven. Als tweede stap kan dan een bovenaanzicht als hiernaast gemaakt worden; hierin zijn nog de fysieke dingen te zien, touwen en unsters. De proefpersonen zijn al weggelaten.



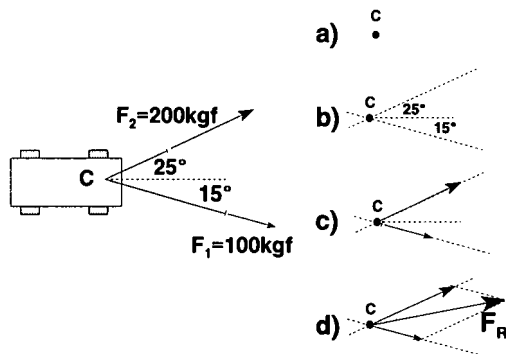
De derde stap is dan dat de krachten symbolisch weergegeven worden. Dat gebeurt op een heel natuurlijke manier met pijlen die groter zijn naarmate de kracht groter is. Verder kan bij deze figuur vermeld worden dat de krachten altijd in de richting van de touwen staan. De figuur is in dit stadium al in het abstracte wiskundige stadium beland.

Tenslotte kan je nu de krachten pijlen evenwijdig verschuiven totdat ze een gesloten figuur vormen. In de figuur wordt dan op een wiskundige manier duidelijk dat er hier sprake is van een evenwichtssituatie.



gesloten pijlenfiguur ↔ evenwicht van krachten

In plaats van het samenstellen van twee krachten tot een resultante kan een kracht ook ontbonden worden in twee krachten die samen hetzelfde effect opleveren. Verder kan het principe van het samenstellen of ontbinden van krachten ook worden toegepast op voorwerpen die met een constante snelheid bewegen, daar in zulke gevallen de weerstandskrachten het krachtensysteem sluiten. Er zullen enige voorbeelden besproken worden.



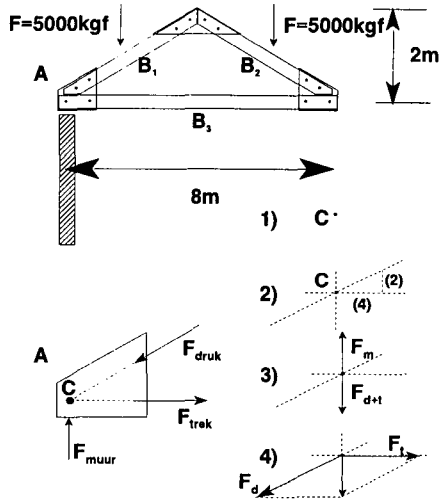
1. Een auto zit vast in de modder. Met behulp van touwen wordt er in twee richtingen aan de auto getrokken. Bepaal de resulterende kracht op de auto, waarbij we ervan uitgaan dat de auto niet in beweging komt:

- Bepaal C.
- Teken de werklijnen (een kracht mag langs zijn werklijn verplaatst worden, zonder dat de invloed ervan verandert).

- c. Teken de krachten op schaal.
- d. Stel de krachten samen tot de resultante F_r .
- e. Meet en bereken deze kracht F_r .
- f. F_r werkt als actiekracht op de auto en roept een reactiekracht op.

2. Een dakspant ligt op een muur en is door sneeuw en eigen gewicht belast met een kracht F . In A zijn de balken met behulp van een verbindingsplaat verbonden. In de balken B_1 en B_2 werkt een druk- en in B_3 een trekkracht. Hoekpunt A wordt dus als volgt belast:

De constructie moet zo gemaakt worden dat op de muur alleen een verticale, geen zijwaartse kracht werkt. De drie getekende krachten F_d , F_t en F_m houden elkaar dus in evenwicht. Dit betekent dat de resultante van de druk- en de trekkracht even groot maar tegengesteld is aan de kracht van de muur: deze kan op de geschetste wijze geconstrueerd worden.



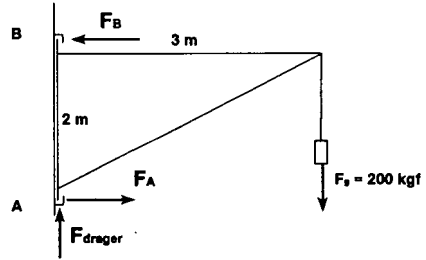
- 3. De wandkraan. Dit is eigenlijk een grote boekenplank. De krachten die hier werken, kunnen langs twee wegen gevonden worden:
 - a. Door het ontbinden van krachten:
In punt A wordt de wandkraan en het gewicht F_g gedragen en duwt de wandkraan zich tegen de muur. Bij B moet de wandkraan vastgehouden worden want daar wordt de bevestiging de muur uitgetrokken.
 - b. Met behulp van momenten:
De krachten bij A en B geven een linksdraaiend moment. F_g geeft een rechtsdraaiend moment, dat even groot is. Wat als draaipunt genomen wordt, maakt niets uit. We kiezen hier voor het punt B, zodat het duidelijk is dat de arm van F_g 3 m is:

$$M_l = M_r$$

$$F_A \cdot 2 = F_g \cdot 3$$

$$F_A = \frac{200 \cdot 3}{2} = 300 \text{ kgf}$$

$$F_B = F_A = 300 \text{ kgf}$$



3.3 Kracht en vormverandering

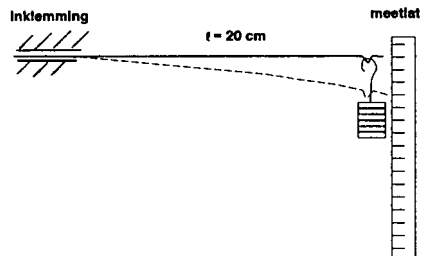
In 1678 ontdekte de engelsman R. Hooke dat elastische vormveranderingen evenredig zijn met de uitgeoefende kracht. Deze evenredigheid geldt zowel voor verlenging als draaiing (torsie), verschuiving en buiging.

Als inleiding op dit thema kan men de tegenstelling bespreken tussen de onzichtbare krachtstructuur en de meetbare vormverandering. Bijvoorbeeld: hoe zie je aan een brug hoe zwaar deze belast is? Of hang een staaf, touw of draad op, waarvan het begin- en uiteinde niet te zien zijn en vraag, hoe men alleen aan het zichtbare stuk kan onderzoeken hoe groot de krachten zijn die er op werken. Antwoorden:

- toch kijken naar de uiteinden;
- iets dat strak staat, klinkt met een heldere toon;
- het stuk doorsnijden en kijken wat er gebeurt;
- het stuk proberen te vervormen.

Wil men dit nader onderzoeken, dan moet er een verandering in de belasting optreden, die gepaard gaat met een vormverandering. Rijdt bijvoorbeeld een auto over een brug, dan zakt deze iets door. Het is zelfs zo, dat als een brug beter meegeeft (slank gebouwd is), deze langer meegaat. Bruggen zakken centimeters door en hoge, slanke flatgebouwen gaan centimeters heen en weer bij een flinke wind. De sterkteberekeningen in de constructiefase zijn gebaseerd op (toelaatbare) vervormingen en gebeuren grotendeels met empirische formules.

De relatie tussen vormverandering en kracht kan aan de hand van de doorbuiging van een verende stalen draad (dikte ca 3 mm) gemeten worden. Begin met een zekere voorspanning en meet vervolgens de doorbuigingstoename per 100 gf toename van de



last. Haal de gewichtjes er ook een voor een weer af en meet de afname van de doorbuiging. Zet de meetresultaten uit in een (F,s) -grafiek.

Technische toepassingen van de evenredige relatie tussen vormverandering en kracht zijn:

- de veerunster;
- de momentensleutel: hiermee kan een bout met een bepaald moment vastgezet worden, bijv. de kopbouten waarmee de kop met de kleppen op een cilinder gezet kan worden (circa 6 kgfm);
- rekstrookjes: toegepast op wisselend belaste constructiedelen, zoals bij bruggen, maar ook op roterende assen. Op een plakband wordt een dunne draad aangebracht. Door oprekking wordt de draad langer en zal de elektrische weerstand toenemen. Deze toename is een maat voor de kracht. Bij roterende meetopstellingen wordt de meetwaarde met behulp van een zender geregistreerd.

De onzichtbare krachtenstructuur en de zichtbare vormverandering zijn twee aspecten van een geheel, zoals bij de mens die zijn spieren spant de innerlijke wil en de uiterlijke vorm ook twee aspecten van een geheel vormen.

Kracht en vervorming zijn maar tot een bepaalde waarde evenredig. Na de elasticiteitsgrens treedt blijvende vervorming op. De evenredigheidsconstante is een maat voor de elasticiteit van een stof. Deze elasticiteitsmodulus wordt berekend door de spanning σ (kracht per cm^2) te delen door de relatieve vormverandering $(\Delta l/l)$:

$$E = \frac{\sigma}{\Delta l/l}$$

Ofwel: de lengteverhouding $\Delta l/l$ komt overeen met de verhouding van de spanning tot de elasticiteitsmodulus σ/E . Beide verhoudingen zijn dimensieloos (E heeft de dimensie van spanning). Dit betekent dat de lengte verdubbelt wanneer σ gelijk is aan E .

De lengtevermeerdering gaat over het algemeen niet gepaard met een evenredige diktevermindering, zoals men in eerste instantie zou verwachten. De diktevermindering wordt uitgedrukt in het poissongetal μ . Voor een diktevermindering in verhouding met de lengtevermeerdering moet het poissongetal ongeveer 0,5 zijn. Enkele waarden voor E en μ zijn:

	E (in 10^5 kgf/cm^2)	μ (in kgf/cm^2)
ijzer	22	0,29
koper	12	0,35
aluminium	7	0,34
glas	7	0,25

(glas is vrij elastisch, maar ook bros: net als ijs breekt het snel)

tin	5,5	0,33
beton	3	
lood	1,5	0,45
ijs	4,105	

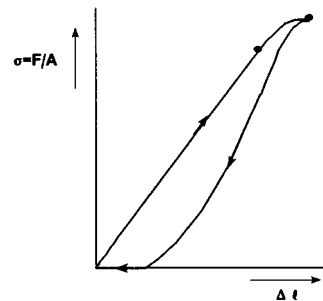
Uit de tabel zien we dat de diktevermindering altijd kleiner is dan 0,5 en afhankelijk van het materiaal. Vergelijken we de drie metalen:

lood	1,5	0,45
tin	5,5	0,33
ijzer	22	0,29

dan zien we dat het lood weliswaar gemakkelijk oprekt, maar dat haast al het materiaal voor verlenging uit de dikte komt. IJzer rekt meer dan tien keer minder op bij dezelfde spanning, maar de oprekking gaat nauwelijks gepaard met diktevermindering. We zouden kunnen zeggen dat lood uitwendig elastisch is: alles komt uit de lengte of de breedte, terwijl ijzer meer inwendig elastisch is. In karaktertrekken uitgedrukt zou men kunnen zeggen: het lood is meegaand pragmatisch, terwijl het ijzer echt innerlijk betrokken is en zeer standvastig.

Een tweede bijzonderheid is dat een materiaal dat elastisch vervormd is tijdsafhankelijk terugveert. Vervormt men een materiaal snel en niet te ver, dan veert het gemakkelijk terug. Vervormt men echter een materiaal langdurig en in de buurt van de elasticiteitsgrens, dan veert het als volgt terug (zie figuur).

Dit is ook herkenbaar als psychologisch proces. Heeft men gedurende lange tijd een grote inspanning geleverd, dan vraagt het herstelproces tijd: "de tijd heelt wonden". Het terugveren van het materiaal kan uren of dagen duren, afhankelijk van hoe lang het onder spanning heeft gestaan.



Een derde bijzonderheid is dat de volume-elasticiteit bij toenemende druk groter wordt en bij toenemende temperatuur afneemt. Dit is geheel volgens de wetmatigheid van proces en tegenproces (zie deel I, paragraaf 4.6 en 4.9.4). De toenemende volume-elasticiteit is het verzet tegen de volumevermindering door de druk. Het fenomeen van proces en tegenproces betekent dat natuurprocessen er steeds naar streven om de evenwichtstoestand die er is te handhaven. Stijgt de temperatuur, waardoor uitzetting

plaatsvindt, dan zal de stof zich gemakkelijker laten samendrukken. Neemt de druk toe, dan zal de stof zich steeds meer verzetten tegen verdergaande samendrukking. De verhouding van druk σ en volume-elasticiteit M kan als een dimensieloze grootte worden vastgelegd:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\sigma}{M} \quad (1/M \text{ wordt de compressibiliteit genoemd})$$

Enige waarden van de volume-elasticiteit M bij 180°C:

M (in 10^5 kgf/cm²)

ijzer	17
lood	7,4
tin	5,8
kwik	2,6
water	2 (bij 100 bar 22×10^3 en bij 200°C 12×10^3)
olijfolie	16
alcohol	9

3.4 Achtergronden en ideeënvorming

3.4.1 Open en gesloten systemen

Een statisch evenwicht van krachten vormt een gesloten systeem. Om het karakter hiervan duidelijk te typeren vergelijken we dit gesloten krachtencomplex met het fenomeen van beweging zonder kracht.

Beweging

Een beweging zonder kracht komt het duidelijkst tot verschijning in het planetenstelsel. (Vergelijk paragraaf 2.7.4) Ook de vrije val is als zo'n beweging te beschouwen. De weerstandsloze vrije val is immers onafhankelijk van grootte, vorm en aard van de stof en ontstaat niet door een gravitatiekracht, maar door de gravitatieversnelling.

Statische krachten

Een krachtencomplex zonder beweging is te vinden in elke balkconstructie die op de aarde rust.

Een vrije beweging oriënteert zich niet op zijn omgeving, wordt niet door de omgeving gestoord, maar bestaat voor zichzelf, is helemaal aan zichzelf overgeleverd. Hij is georiënteerd op een punt in het oneindige of op een centrum. Een beweging vindt zijn oriëntatie in de richting die hij als bewegings-organisme heeft.

Een statische constructie met de daarop werkende krachten vormt steeds een gesloten geheel, dat in zichzelf stabiel is. Een krachtencomplex is niet georiënteerd op een richting, maar is sferisch, alzijdig. Het is ingebed in zijn omgeving. Het vormt zelf een krachtenruimte in de ruimte.

In deel I, paragraaf 4.9 werd een inleiding gegeven op de projectieve meetkunde en de toepassing ervan binnen de fenomenologische natuurkunde. Hierbij kwam ook het begrip grensvlak ter sprake. Dit is een oneindig ver, in alle richtingen gelegen, alzijdig en volkomen plat vlak. In het onderstaande wordt onderzocht welke relatie er bestaat tussen dit oneindig verre vlak en het fenomeen beweging zonder kracht tegenover het statische krachtencomplex.

Een beweging zonder kracht is georiënteerd op een oneindig ver gelegen punt of centrum. Van het grensvlak, dat alle mogelijke richtingen vertegenwoordigt, is één richting geactualiseerd. De beweging is zelf steeds middelpunt ten opzichte van de oneindigheid.

Het statische krachtencomplex is ingebed in de omgeving. Van het grensvlak is het sferische, alzijdige karakter geactualiseerd, wat tot uitdrukking komt in het ruimtelijke en gesloten karakter.

Alleen vrije beweging zonder kracht en statische krachtensystemen die ideaaltypisch worden opgevat vormen in zichzelf gesloten systemen. In de werkelijkheid werkt er altijd een invloed uit de omgeving, waardoor deze systemen een ruimtelijk open karakter krijgen. Ieder bewegend object is ingebed in een omgeving die remmend, weerstand biedend op de beweging inwerkt. Op elke constructie werkt de omgeving, werken de elementen van weer en wind e.d. zodanig in, dat hij belast wordt en verzwakt door oxidatie, verwerking en vermoeiing.

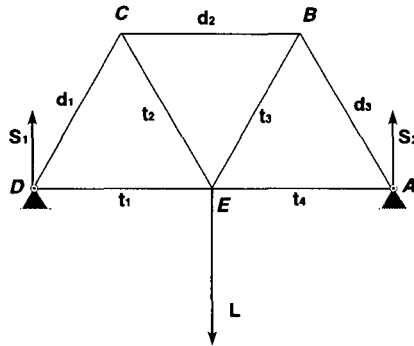
Is een statisch krachtensysteem niet gesloten, dan ontstaat oriëntatie in de ruimte. Een voorwerp waarop de kracht inwerkt komt dan in beweging. De relatie tussen het bewegingsverloop en de versnellingskracht moet experimenteel gevonden worden. Dus:

- Een *gesloten* krachtensysteem wordt gekenmerkt door *vormvastheid*. De vaste stoffen tenderen via geringe vormverandering naar een blijvende vorm, vloeistoffen en gassen vertonen tijdelijke vormen, zoals wervels en golven.
- Bij een *open* krachtensysteem ontstaat altijd een *oriëntatie in één richting*. In plaats van vorm ontstaat beweging.

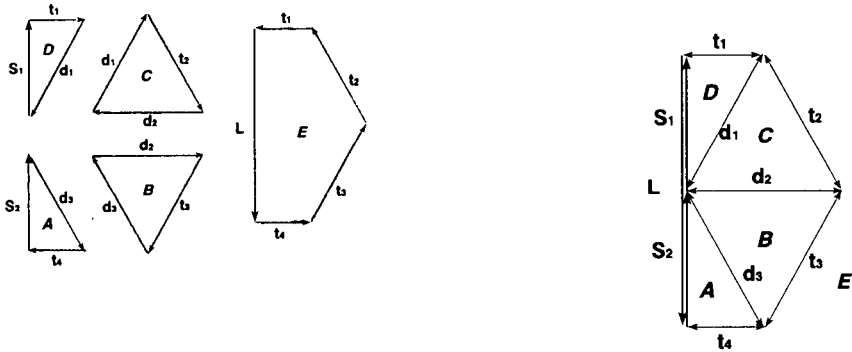
3.4.2 De vakwerkbrug als toepassing van een gesloten krachtensysteem

In een bouwwerk van staven (en eventueel ook van touwen) kunnen we de krachten gemakkelijk construeren. Er zijn in een bouwwerk, waarin de staven alleen aan de uiteinden aan elkaar vastgemaakt zijn, eigenlijk maar twee soorten krachten mogelijk, namelijk *trekkrachten* en *drukkrachten*.

Een symmetrische situatie



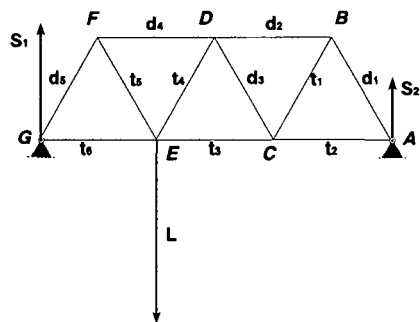
Op een zeer eenvoudige brug, bestaande uit een vakwerk van drie gelijkzijdige driehoeken, staat een auto precies op het middelste knooppunt. In deze situatie worden de staven alleen op trek of op druk belast. Als de auto verder rijdt dan worden de liggers DE en EA ook op buigkrachten belast. Het eerste wat we na kunnen gaan is de soort kracht die in de staven werkt. In de drie staven AB, BC en CD werkt drukkracht. De andere vier staven worden in deze situatie zuiver op trek belast en kunnen nu dus ook door touwen (kabels) vervangen worden. In de figuur is de last aangegeven met de pijl L aangrijpend in E; de twee even grote steunkrachten S_1 en S_2 , ieder gelijk aan $\frac{1}{2}L$, grijpen aan in A en D. Als je nu in elk van de knooppunten A, B, C, D en E de krachten tekent in een krachtenveelhoek, dan weet je uit het feit dat er in elk van de knooppunten evenwicht is dat deze krachtenveelhoeken gesloten figuren moeten zijn.



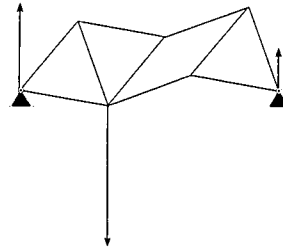
Gegeven de grootte van de steunkracht S_2 en de richtingen van de krachten in de staven bij knooppunt A kan de driehoek van krachten in A gemakkelijk getekend worden. Uit deze figuur halen we dan genoeg informatie voor de krachtenveelhoek bij knooppunt B. Op dezelfde manier kan dat voor de knooppunten C en D. In het knooppunt E komen vier staven bijeen en de krachtenveelhoek is hier een vijfhoek. We hebben nu vier driehoeken waarin de richting van de krachten met de klok mee is gericht een één vijfhoek waarin deze tegen de klok in gericht is. Van alle optredende krachten kunnen we nu uit de figuren aflezen hoe groot ze zijn. De veelhoeken zijn ook op een geheel andere manier te tekenen als gesloten figuren, maar het is duidelijk aan de tekeningen dat deze manier van weergeven ons de mogelijkheid geeft om het geheel op een handige wijze samen te vatten in één figuur. In deze figuur, die het "cremonaplan" wordt genoemd, is goed te zien dat de last L door de steunkrachten S_1 en S_2 wordt gecompenseerd. Verder is goed te zien dat elke kracht in de staven tweemaal voor komt, precies zoals een trekstaaf ook in twee knooppunten zijn trek uitoefent. Bij het cremonaplan komt duidelijk de geslotenheid van het statische krachtensysteem tot uiting.

Een asymmetrische situatie

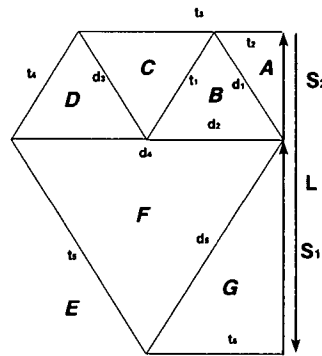
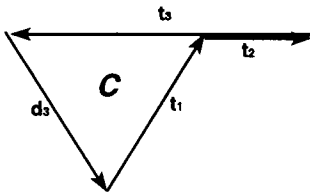
Op analoge wijze kunnen we de krachten in een vakwerkbrug door een constructie bepalen als de brug niet symmetrisch belast wordt. Zie figuur. In deze situatie zijn weer alle staven aan de onder- rand op trek en aan de bovenrand op druk belast; van de binnenstaven is er één (CD) die ook op druk belast is. Dat kunnen we goed zien



door juist deze staaf weg te laten en na te gaan hoe de brug dan zou instorten: de ruimte waarin de staaf CD zat zou dan kleiner worden, dus moet deze staaf op druk belast zijn.



De situatie is iets ingewikkelder en om toch een mooi cremonaplan te kunnen maken bedenken we dat de krachten in een krachtenveelhoek ook langs elkaar kunnen vallen. Zie bijvoorbeeld de krachtenveelhoek van punt C. Op deze wijze past die precies tegen de veelhoeken van A en B.

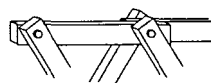
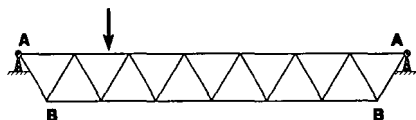


In het cremonaplan zijn weer alle krachten naar grootte en richting terug te vinden. Hier zijn nu voor de duidelijkheid niet steeds twee pijlen tegen elkaar in getekend, maar is met een lijntje volstaan. De krachtenveelhoek van punt E vormt weer de buitenste rand van het plan. In het vakwerk komen steeds een aantal krachten bij elkaar in een knooppunt. Dit knooppunt is terug te vinden in het cremonaplan als een vlakje waaromheen de krachten staan. Omgekeerd vinden we alle vakken van de brug in het cremonaplan terug als punten. Er is hier dus sprake van een soort polaire relatie tussen het vakwerk en het cremonaplan.

Een zelf te maken model

Een model van een vakwerkbrug kan eenvoudig gemaakt worden. Het kan zo niet in de les dan vast en zeker door enkele enthousiaste leerlingen na de lessen aan de hand van een bouwhandleiding in elkaar gezet worden. We nemen 26 latjes van 40×20 mm en 40 cm lang. Aan weerszijden worden gaten (8 mm) geboord zo, dat deze gaten 34 cm uit elkaar zitten.

Met 15 bouten $M8 \times 100$, moeren en ringen maken we een rij van 13 driehoeken.



Bij elk van de hoekpunten B hebben we nog één vulklosje nodig en bij de hoekpunten A nog twee. De brug kan daarna met lijmklemmen aan de rand van een tafel geklemd worden. Hij is nu goed beloopbaar, maar het is wel aan te raden de proefpersoon een hand te geven, want de brug is niet bestand tegen zijdelingse krachten, zoals wiebelen. Met enige zorg en durf kan zelfs de leraar erover lopen! Door de ruimte in de gaten zakt de brug een beetje door, maar niet echt veel.

3.4.3 Kracht, vormverandering, krachtenveld

Het begrip kracht vormt een van de moeilijkste vraagstukken in de natuurkunde. Hoe is het bijvoorbeeld mogelijk dat aan een touw getrokken kan worden zonder dat het breekt? Alleen vaste dingen kunnen in elkaar gedrukt of uit elkaar getrokken worden, zonder dat de samenhang verloren gaat of ritmische bewegingen optreden, zoals in lucht of water. Een karakteristieke eigenschap van vaste stoffen is hun inwendige hechtheid. De aard van deze hechtheid is vooralsnog een raadsel. Vloeistoffen vertonen in hun oppervlaktespanning en dunste filmdikte ook een hechtheidsfenomeen, dat aan de grenzen werkzaam is en door het oppervlak bepaald wordt. Gassen vertonen aan hun grensvlakken eveneens nog iets van hechtheid, zoals tot uitdrukking komt in de lichtbreking aan luchtlagen.

Welke begrippen kunnen ontwikkeld worden om het raadsel hechtheid van een stof op een andere wijze te benaderen dan met de begrippen adhesie en cohesie? Aan de hand van een praktisch voorbeeld zullen een aantal fenomenen besproken worden die hiertoe op weg kunnen helpen.

Wanneer een stalen haak belast wordt, dan werkt er van buiten af een kracht op de haak in, waardoor deze in lichte mate vervormt. In de haak ontstaat een krachtenstructuur die bepaald wordt door vorm, afmetingen en materiaaleigenschappen. Zolang de haak elastisch vervormt treden er geen bijzondere wijzigingen op. Een moeilijk te begrijpen verschijnsel vormt echter de metaalmoetheid. Soms begeeft een materiaal het opeens. Dit gaat meestal gepaard met haarscheurtjes in het materiaal. Aan dit voorbeeld laten zich de volgende gedachten ontwikkelen.

Het voorwerp en het krachtenveld kunnen denkend onderscheiden worden als twee zelfstandige entiteiten, die door de vormverandering met elkaar samenhangen. Het voorwerp is zintuiglijk waarneembaar en het krachtenveld is door het fenomeen van de vervorming denkend waarneembaar. Wat is nu de oorsprong van de kracht, die tot uitdrukking komt in de weerstand van het voorwerp tegen vormverandering? In plaats van aan te nemen dat deze kracht veroorzaakt wordt door een atomaire stoffelijke structuur, moeten we vaststellen dat voor deze weerstand biedende kracht geen ruimtelijke oorzaak gevonden wordt. We kunnen hier aansluiting zoeken bij de denkwijze van Aristoteles, die drie niet zintuiglijke entiteiten onderscheidt, die in hun samenwerking of samenhang ten grondslag liggen aan de zintuiglijke wereld: materie, ruimte, en kwaliteiten.

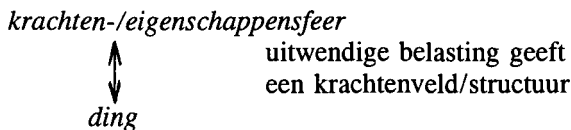
Aristoteles zag de "materia prima" als een onruimtelijke entiteit, een beginsel dat zich laat verbinden met kwaliteiten, zodat de "materia signata", de materie met eigenschappen, in de ruimte tot verschijning kan komen. Een dergelijke onruimtelijke entiteit, die een werkzaamheid in het ruimtelijke kan uitoefenen, noemen we sfeer. Zo willen we de oorsprong van de weerstand biedende kracht, die zich uitdrukt in de vormverandering van een vaste stof, een krachtensfeer noemen. Hieraan wordt de polaire structuur van de ruimte zichtbaar: voorwerp en krachtensfeer staan polair maar intrinsiek met elkaar verbonden tegenover elkaar. Het vervormde voorwerp behoort tot de zintuiglijke wereld en het krachtenveld, de krachtenstructuur tot het innerlijk van de wereld. Beide zijn inherent in samenhang met elkaar.

Het aristotelische onderscheid tussen "potentie" en "act" sluit hier ook volledig bij aan. Met vaste stoffen is in potentie een krachtensfeer verbonden die zich actualiseert wanneer een uitwendige kracht op een voorwerp werkt. De krachtensfeer trekt als het ware naar binnen, de vormverandering en alle andere stofveranderingen zijn de zintuiglijke uitdrukking van dit proces. Uit deze gedachtengang mag blijken dat het noodzakelijk is om tot een uitbreiding te komen van het gangbare ruimtebegrip. Van de eenzijdige opvatting van de ruimte als puntruimte, waarbij slechts punten centra van krachten kunnen zijn, moeten we komen tot een polaire dynamische ruimte, waarbij de polariteiten, zoals die van het ding tegenover de ermee verbonden krachtensfeer, overal in de ruimte werkzaam kunnen zijn. Als voorbeelden van zulke polariteiten kunnen beschouwd worden:

<i>ding</i>	<i>krachtensfeer</i>
punt	lijn, vlak
naast elkaar	in elkaar
op één plaats	overal
ding op zichzelf	relaties
contour, begrenzing	onbegrensd

De ruimtepolariteit wordt in tegenstellingen als klein-groot, weinig-veel of compact-ijl in feite nog te statisch weergegeven. Hij moet dynamisch gedacht worden: het sferische heeft geen ruimtelijke plaats, maar kan zich overal, als een samenhang tussen de dingen, actualiseren. Overal zijn oneindigheid en puntachtigheid als tendensen werkzaam. Wanneer men bijvoorbeeld alleen de wet van Hooke (vormverandering evenredig met kracht) in ogenschouw neemt en niet de stap wil maken naar de idee die eraan ten grondslag ligt, dan is dat te vergelijken met het beschrijven van iemand die boos is door op te merken dat hij rood en gespannen wordt en het uitbrult, zonder dat men oog heeft voor de (onzichtbare) aanleiding, die eigenlijk primair is maar alleen voelend en denkend te vatten is.

Ieder voorwerp dat door uitwendige krachten belast wordt heeft een heel bepaalde krachten- en vervormingsstructuur. Werken er krachten op een constructie, dan hangt het van de grootte van de krachten én van de constructie af hoe deze structuur eruit komt te zien. Afhankelijk van het feit of een rechthoek ABCD een metalen plaat is, een houten plank met een bepaalde nerf, een pijpen-constructie of bestaat uit twee staven AC en BD en een omtrek van touw, zal een bepaalde vervormingsstructuur optreden. Op grond van het voorgaande kunnen we de samenhang als volgt in beeld brengen:



Het gestructureerde krachtenveld mag niet statisch opgevat worden, daar het nog een bepaalde tendens heeft. Zo geldt voor alle metalen dat ze sterker worden door blijvende (onelastische) vervorming. Een staaf die op trek belast wordt, zal na de elasticiteitsgrens blijvend oprekken en dunner worden, maar toch moet de kracht vergroot worden om de verlenging/verdunding nog te laten toenemen. Het materiaal wordt sterker tot aan het breekpunt toe. Per oppervlak wordt de kracht die weerstaan kan worden steeds groter. In het krachtenveld spreekt zich dus een tendens uit tot intensivering. Naarmate de belasting groter wordt, zal de krachtensfeer zich sterker actualiseren, totdat het materiaal met een knal breekt. Dit is weer een voorbeeld van proces en tegenproces. Op deze wijze zijn er vier aspecten te onderscheiden:

- het ruimtelijke ding;
- verbonden met het ding is een krachtensfeer;
- bij belasting ontstaat een krachtenveld met een bepaalde structuur;
- dit krachtenveld heeft de tendens om zich te versterken.

3.4.4 De meervoudige aard van het krachtbegrip

In de ontwikkeling van de natuurwetenschap heeft de krachtenleer een dubbel leven geleid. Aan de ene kant beleefde de mens de natuur als doordrongen van krachten en zocht hij de oorsprong daarvan, de oerkrachten, te doorgronden. Aan de andere kant ondervond hij in de arbeid die hij verrichtte zijn eigen spierkracht, die hij bij tillen, trekken, duwen, splijten etc. van voorwerpen moest inzetten om verplaatsingen en vervormingen teweeg te brengen. Men zou kunnen zeggen: in het gebied van de krachten waren verschillende sferen te onderscheiden, een meer innerlijke sfeer die met het levende in de natuur samenhangt, en een meer uiterlijke sfeer die zich manifesteert in de ervaarbare verschijnselen van de mechanica.

Het griekse denken culmineerde op dit gebied in de leer van de vier elementenkrachten: vuur, lucht, water en aarde werden gezien als oerprincipes waarop de ordening van de wereld is gebouwd en die, in wisselende verhoudingen, aan elke verschijningsvorm ten grondslag liggen. Deze vier elementen staan volgens Aristoteles in het spanningsveld van centrifugale en centripetale krachten en zijn bovendien verbonden met de polariteiten warm-koud en vochtig-droog, waardoor hun verschillende werkingen te begrijpen zijn. De uiterlijke mechanische verschijnselen waren in deze visie ingebed.

Na de griekse cultuur volgde in de Middeleeuwen een periode van inkeer en verchristelijking, die met een verzelfstandiging van de menselijke ziel gepaard ging. Een nieuwe visie op de constituerende oerkrachten kwam op. Als Paracelsus (1493-1541) zijn onderzoekende geest op de mens en de natuur richt, spreekt hij niet meer van de vier elementen: hij breekt volledig met deze opvatting en verscheurt zelfs de oude boeken. Paracelsus zocht een hogere natuur achter de uiterlijk zichtbare en vond die in de drie principes van sal, mercur en sulphur, de tria prima. Sal, het structuurvormende principe zoals dat bijvoorbeeld in het kristalliseren tot uitdrukking komt, verbond hij met het denken. We spreken dan ook van een kristalheldere gedachte. Sulphur, het veranderlijke, vernieuwende principe, zag hij in overeenstemming met de wil. Zo kent het element zwavel vele vormen, amorf en kristallijn, waarin het in de natuur voorkomt. Mercur tenslotte, het verbindend-beweeglijke principe, zag hij in samenhang met het menselijke gevoel, dat ook in de ziel de verbindende schakel vormt tussen denken en doen. Kwik, of kwikzilver zoals het vroeger werd genoemd, rolt overal heen en heeft zo'n speelse manier van bewegen, dat het spreekwoordelijk is geworden. Dit idee van de tria prima werd de basis van de alchemie en daarmee tevens van het krachtenspel tussen de aardse substanties.

Met de Renaissance gaat dit aspect van de krachtenleer een sluimerend bestaan leiden. De door Galilei (1564-1642) ingezette experimentele aanpak van de natuurverschijnselen leidt tot een helder wiskundig te

beschrijven mechanica, die door het werk van Newton (1642-1727) en vele anderen een enorme impuls krijgt. De mechanica wordt in de loop van de volgende eeuwen tot de basis van de fysica: het streven is erop gericht alle natuurverschijnselen in de zin van de uiterlijke mechanische krachten te verklaren en te beschrijven. De grondslag wordt gezocht in elementaire atomaire deeltjes, protonen, neutronen, elektronen; als oerkrachten worden zwaartekracht, elektriciteit, magnetisme en de kernkrachten beschouwd. Zelfs het licht als meest immaterieel natuurverschijnsel blijkt zich in bepaalde opzichten in deze beschouwingswijze te laten vangen: de fotonen vormen de elementaire deeltjes van de kwantenmechanica.

Hoe dieper echter de mechanische beschouwingswijze in de natuurverschijnselen doordringt, des te verder verwijderd zich het krachtsbegrip van de direct ervaarbare spierkrachtinspanning. De voorstelling van de materie als 'samengeklonterde' deeltjes is al lang prijsgegeven en naarmate het onderzoek zich verdiepte werd het beeld van de materie steeds 'ijler' en de wisselwerking tussen de deeltjes meer 'op afstand'. Ook in de elektromagnetische veldtheorieën moest die werking op afstand worden geïntroduceerd, aanvankelijk nog gedacht door bemiddeling van een middenstof, maar uiteindelijk teruggebracht tot een beïnvloeding van de ruimtestructuur als zodanig. Krachten in de fysica zijn dus in feite, buiten het gebied van de directe mechanische overbrengingen, tot 'werkingen' geworden, waarvan de grondslag niet met uiterlijke middelen waarneembaar is. Daarmee staat de natuurwetenschap aan een drempel. De noodzaak lijkt zich voor te doen een nieuwe visie op het begrip kracht te ontwikkelen, zodanig dat tussen 'innerlijke' en 'uiterlijke' krachten een verband kan worden gelegd. Zo'n visie, die als opgave voor de komende eeuw kan worden beschouwd, kan voor de technische toepassingen die uit de natuurwetenschap voortvloeien belangrijke gevolgen hebben.

3.4.5 Techniek in relatie tot de mens

Techniek is in oorsprong antropomorf van aard: vele gereedschappen zijn van menselijke organen afgeleid.

<i>gereedschap</i>	<i>mens</i>
zaag, mes, vijl, rasp	tanden, nagels
hamer/lepel	vuist/hand
bankschroef, klem	knijpen
hefboom	arm, been, skelet/spieren
boor	vingers
wiel, rad	lopen

Later zijn naast gereedschappen machines ontstaan, die samengesteld zijn en veel meer functies in zich verenigen. De machines kan men globaal in drie groepen verdelen, geordend naar primaire functie:

- besturing (hoofd): - rekenliniaal, telraam, rekenmachine, computer
- bemiddeling (romp): - katrol, bel, trein, radio, t.v., telefoon, fax, modem
- kracht (ledematen): - zeilboot, windmolen, verbrandings-, elektromotor

Machines zijn gerealiseerde gedachten. Aan de huidige machines ligt het gesloten-systeem-denken ten grondslag: men gaat uit van een gesloten ruimte - een black box - waar zich een in de tijd lineair proces afspeelt. De leidende gedachte daarbij is de omzetting van energie. Hoe zou een techniek eruit zien, ontwikkeld vanuit gedachten die uitgaan van open systemen, waartoe o.a. Keely en later Steiner met de zogenoemde stradermachine een poging hebben gedaan? Zo'n techniek zou zijn voorbeelden hebben in het leven. Alle levende wezens zijn open systemen. In een open systeem stroomt iets binnen dat in de voorwaarden niet is vastgelegd, zoals bijvoorbeeld de vorm van een plant of dier die niet uit de chemische of energetische randvoorwaarden is af te leiden. Het leven is echter voor de natuurwetenschap nog steeds een groot raadsel dat om die reden door sommigen zelfs als niet existent wordt beschouwd.

Een andere eenzijdigheid van de huidige techniek is de dominantie van rechte en rondgaande bewegingen. Een techniek die gebruik maakt van ritmische bewegingen zou een tegenwicht kunnen bieden. In dat verband is te wijzen op het werk van Paul Schatz*, die constructies ontwikkelde op basis van de zogenoemde polysomatische vormen (o.a. de oloïd). Toepassingen hiervan zijn gerealiseerd in de menging van stoffen en de waterzuivering; ook zijn experimenten gaande op het gebied van voortstuwing van schepen. Hiermee is een stap gezet in de richting van een techniek die niet ten koste gaat van de natuur maar in harmonie daarmee werkt.

Dit is niet alleen maar een interessant onderwerp om naar te verwijzen. De strekking gaat verder. De omgang van de mens met de aarde is in de huidige tijd een punt van serieuze bezinning. Zorg voor de aarde en betrokkenheid bij het ontwikkelen van een mens- en milieuvriendelijke techniek is als intentie bij de leraar een voorwaarde om leerlingen op dit gebied in hun wil aan te spreken.

* Paul Schatz: *Rhythmusforschung und Technik*.

3.4.6 De eenheid van kracht

In de 10e klas wordt voor het eerst in de bovenbouw de mechanica behandeld. In de onderbouw is in de 7e klas de krachtenleer al wel behandeld aan de hand van takels, hefbomen, wiggen, enz. Het is dan nog niet aan de orde om lang bij de eenheid van kracht stil te staan. De aansluiting bij het gangbare taalgebruik met de kilogram als eenheid van gewicht en kracht is op deze leeftijd vanzelfsprekend. Maar hoe is dat in de 10e klas? Ook dan ligt het voor de hand in eerste instantie aan te sluiten bij het gangbare taalgebruik en als eenheid van kracht de kgf te nemen. De toevoeging van de letter f als aanduiding voor kracht (force) is al wel een aanwijzing dat er kennelijk naast de kilogramforce (kgf) nog een andere kilogram bestaat. Bij de behandeling van de dynamica komt dan de historische ontwikkeling van het massa- en krachtbegrip ter sprake en het dilemma van de kg-kracht tegenover de kg-massa. Dat is dan het juiste moment om te laten zien waarom de natuurkundigen de eenheid van massa (samen met de eenheden van lengte, tijd en temperatuur) als basiseenheid hebben gekozen voor het samenhangende eenhedenstelsel. Dat had tot gevolg dat voor kracht een nieuwe, van de basiseenheden afgeleide eenheid moest worden gedefinieerd. Deze nieuwe eenheid van kracht is de newton (N) genoemd.

De newton is gedefinieerd als die kracht, die aan een massa van 1 kg een versnelling geeft van 1 m/s^2 . Eerder was reeds het verband vastgelegd: wanneer een kracht van 1 kgf aan een voorwerp een versnelling geeft van $g \text{ m/s}^2$, dan is de massa daarvan 1 kg. Hieruit volgt:

$$g \text{ N} = 1 \text{ kgf}$$

ofwel:

$$1 \text{ N} = \frac{1}{g} \text{ kgf} \approx \frac{1}{9,81} \text{ kgf}$$

Daar newton als eenheid van kracht in het dagelijks leven (nog) niet of nauwelijks wordt gebruikt en het hier puur om afspraken gaat, kan men ervoor kiezen in de periode de eenheid kgf te blijven gebruiken met vermelding, dat binnen de wereld van natuurkundigen en technici de eenheid newton gebruikt wordt. Bij dit gebruik is dan in vakuren aan te sluiten (zie ook paragraaf 4.3).