

3 Kracht

2 havo / 2 vwo

3.0 Inhoud

3.1	Wat is een kracht?	3
	– Elastische en plastische vervorming	3
	– De grootte van een kracht	4
	– Kracht heeft een richting	4
	– Kracht weergeven door een pijl	4
	– De grootte van de kracht en de lengte van de krachtpijl	5
	– Een verhoudingstabel	5
3.2	Krachten optellen	7
	– Krachten optellen	7
	– Krachten in evenwicht	8
3.3	Zwaartekracht, gewicht en normaalkracht	9
	– De zwaartekracht	9
	– Het zwaartepunt	9
	– Een voorwerp in evenwicht	10
	– Stabiel en labiel evenwicht	10
	– Gewicht	10
	– Gewichtloos	11
	– De normaalkracht	11
3.4	Kracht en vervorming	12
	– De veerconstante	12
	– Vervorming en lengte	13
	– Vervorming waarbij $F = C \cdot u$ niet geldt	13
3.5	De momentenwet (hefboomwet)	14
	– Het draaien van een voorwerp	14
	– De arm van een kracht	14
	– De momentenwet (hefboomwet)	15
3.6	Kracht en versnelling	17
	– De drie wetten van Isaac Newton	17
	– Wet 1 – traagheid	17
	– Wet 2 – versnellen en vertragen	18
	– Wet 3 – krachtparen	19
	– Actie = – reactie	20

3.7	Samenvatting	21
	– Grootheden en eenheden	21
	– Weten	21
	– Formules	22
	– Figuren	22

3.1 Wat is een kracht?

Een kracht kun je niet rechtstreeks waarnemen, maar je merkt het wel als er een kracht werkt. Want door een kracht gaat het voorwerp vervormen en/of versnellen of vertragen.

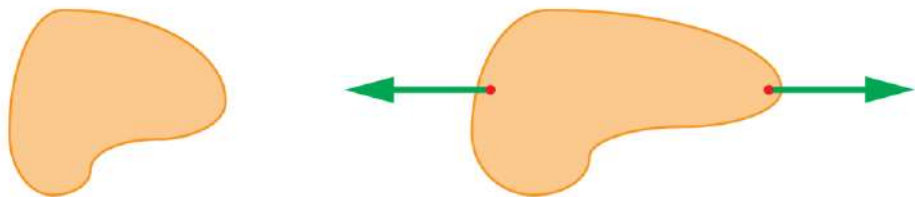
Kracht veroorzaakt een vervorming en/of een versnelling of vertraging.

Vaak komt het voor dat niet één, maar twee of meer krachten op een voorwerp werken. In dat geval zien we het resultaat van alle krachten samen. Werken de krachten elkaar precies tegen, dan gaat het voorwerp alleen vervormen. Als ze elkaar niet precies tegenwerken gaat het voorwerp zowel vervormen als versnellen of vertragen.

Elastische en plastische vervorming

Eerst bekijken we de situatie waarin twee krachten in tegengestelde richtingen worden uitgeoefend, waardoor het voorwerp vervormt.

Figuur 1 Vervorming door twee krachten in tegengestelde richting.



De vervorming kan **elastisch** of **plastisch** zijn. Bij een elastische vervorming krijgt het voorwerp zijn oorspronkelijke vorm terug als de krachten zijn verdwenen. Bij een plastische vervorming gebeurt dit niet en blijft de vervorming bestaan.

Elastische vervorming:

Als de krachten verdwijnen krijgt het voorwerp zijn oorspronkelijke vorm terug.

Plastische vervorming:

Als de krachten verdwijnen blijft het voorwerp zijn nieuwe vorm houden.

VOORBEELD elastische vervorming

pijl en boog

- je oefent kracht uit om een boog te spannen
- zodra je loslaat krijgt de boog zijn oude vorm terug

een spiraalveer indrukken

- je drukt een spiraalveer een eindje in
- zodra je loslaat krijgt de veer zijn oude vorm terug

VOORBEELD *plastische vervorming*

een deuk in de auto

- je rijdt met een auto tegen een paaltje
- als de auto weggrijdt blijft de deuk in de auto zitten

een blok klei vervormen

- je knijpt met je hand een kuil in een blok klei
- als je stopt met knijpen blijft de kuil in de klei zitten

De grootte van een kracht

Een **krachtmeter** geeft aan hoeveel kracht er wordt uitgeoefend.

Dit is de **grootte** van de kracht. Kracht heeft als symbool hoofdletter

F en als eenheid de newton (N)

Figuur 2 Met een krachtmeter (veerunster) meet je de grootte van een kracht.



**De grootte van kracht heeft als symbool de hoofdletter F (van "force").
De eenheid van kracht is de newton (N).**

Kracht heeft een richting

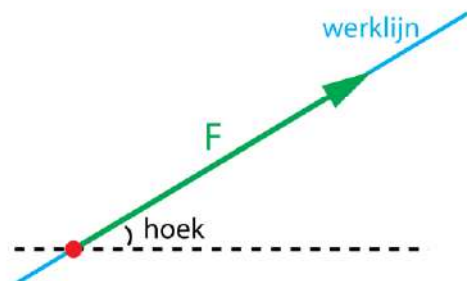
Weet je de grootte van de kracht dan weet je nog niet alles, want kracht heeft ook een **richting**. Als je opschrijft dat er een kracht werkt van bijvoorbeeld 10 newton dan is het nog niet duidelijk welke richting deze kracht heeft. Het kan naar rechts zijn maar ook naar boven. Grootheden waarbij behalve de hoeveelheid ook de richting er toe doet zijn **vector-grootheden**. Kracht is dus een vectorgrootheid en je spreekt van een **krachtvector**.

Kracht heeft een grootte en een richting → kracht is een vector.

Kracht weergeven door een pijl

Omdat kracht een vector is wordt het in een figuur weergegeven door een pijl.

Figuur 3 Kracht is een vector en wordt door een pijl weergegeven. De pijl heeft een lengte, een werklijn en een aangrijpingspunt (rode stip).



- 1) De lengte van de pijl geeft de grootte van de kracht aan.
- 2) De werklijn geeft de richting van de kracht aan.
- 3) Het aangrijpingspunt geeft de plaats aan waar de kracht wordt uitgeoefend.

De grootte van de kracht en de lengte van de krachtpijl

Uit de lengte van de krachtpijl kun je de grootte van de kracht berekenen. Je moet dan eerst weten hoeveel newton hoort bij één centimeter van de getekende pijl. Dit noemen we de **krachtschaal**.

De krachtschaal is de grootte van de kracht gedeeld door de lengte van de getekende krachtpijl.

$$\text{krachtschaal} = \frac{\text{grootte van de kracht}}{\text{lengte van de pijl}}$$

VOORBEELD **krachtschaal**

Een kracht van 20 newton is getekend als een pijl met een lengte van 4 cm.

Bereken de krachtschaal.

- $F = 20 \text{ N}$ | lengte pijl = 4 cm
- $\text{krachtschaal} = \frac{\text{grootte van de kracht}}{\text{lengte van de pijl}}$
- $\text{krachtschaal} = \frac{20}{4} = 5 \text{ newton per centimeter}$

De krachtschaal is gekozen door de tekenaar en zegt niets over de kracht zelf. De tekenaar kan ervoor kiezen om bijvoorbeeld alle krachtpijlen twee keer zo lang te tekenen, maar daarmee verandert de hoeveelheid kracht die hij uitbeeldt niet.

De gekozen krachtschaal zegt niets over de grootte van een kracht.

Een verhoudingstabel

Stel je geeft een kracht van 20 newton aan met een 4 centimeter lange pijl. Wil je daarna een kracht van 50 newton aangeven dan moet je een pijl tekenen met een lengte van 10 cm, want de kracht is $50 / 20 = 2,5$ keer zo groot en dus moet de krachtpijl 2,5 keer zo lang zijn: $2,5 \cdot 4 = 10 \text{ cm}$.

Dit kun je uitrekenen door een verhoudingstabel te maken.

<u>newton</u>		20		50
centimeter		4		x

Je kunt het onbekende getal x berekenen door **kruislings** te **vermenigvuldigen**:

$$\frac{50}{20} = \frac{x}{4} \rightarrow 50 \cdot 4 = 20 \cdot x \rightarrow x = \frac{200}{20} = 10 \text{ cm}$$

VOORBEELD bereken de kracht

Een krachtpijl is 4 cm lang. De krachtschaal is 30 N ↔ 5 cm.

Bereken de grootte van de kracht.

- verhoudingstabel:

newton	30	x
centimeter	5	4
- kruislings vermenigvuldigen: $30 \cdot 4 = 5 \cdot x$
- $x = \frac{30 \cdot 4}{5} \rightarrow x = \frac{120}{5} = 24 \rightarrow F = 24 \text{ N}$

VOORBEELD bereken de lengte van de krachtpijl

Er is een kracht van 75 N. De krachtschaal is 30 N ↔ 5 cm.

Bereken de lengte van de krachtpijl.

- verhoudingstabel:

newton	30	75
centimeter	5	x
- kruislings vermenigvuldigen: $75 \cdot 5 = 30 \cdot x$
- $x = \frac{75 \cdot 5}{30} \rightarrow x = \frac{375}{30} = 12,5 \rightarrow \ell = 12,5 \text{ cm}$

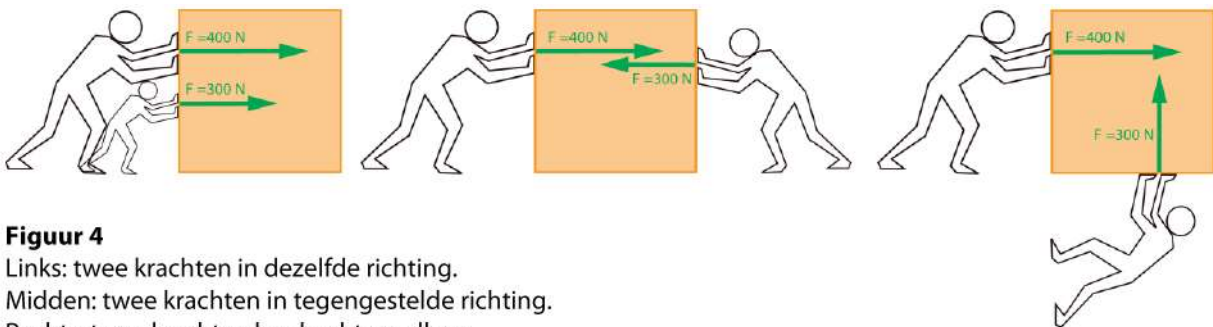
3.2 Krachten optellen

Krachten optellen

Vaak komt het voor dat er twee of meer krachten zijn. In dat geval moet je de krachten bij elkaar **optellen**. Daarbij moet je rekening houden met de richtingen van de krachten. Staan twee krachten in dezelfde richting, dan geeft de optelling een ander resultaat dan als ze in tegengestelde richting staan. Tel je alle krachten bij elkaar op dan is het resultaat de **resulterende kracht** ΣF , ook wel de **somkracht** of **nettokracht** genoemd.

De resulterende kracht ΣF is de vectorsom van alle krachten.

In figuur 4 werken op een kist twee krachten. Links staan de twee krachten in dezelfde richting, de somkracht is dan $400 + 300 = 700$ N. Midden staan de twee krachten in tegengestelde richting, de somkracht is nu $400 - 300 = 100$ N. Rechts staan de krachten loodrecht op elkaar. De krachten hebben niet dezelfde richting en ook niet de tegengestelde richting. Je mag dus niet zeggen dat de somkracht $300 + 400 = 700$ N is en ook niet dat de somkracht $400 - 300 = 100$ N is. De somkracht zit tussen 100 N en 700 N in en is in dit geval 500 N.



Figuur 4

Links: twee krachten in dezelfde richting.
Midden: twee krachten in tegengestelde richting.
Rechts: twee krachten loodrecht op elkaar.

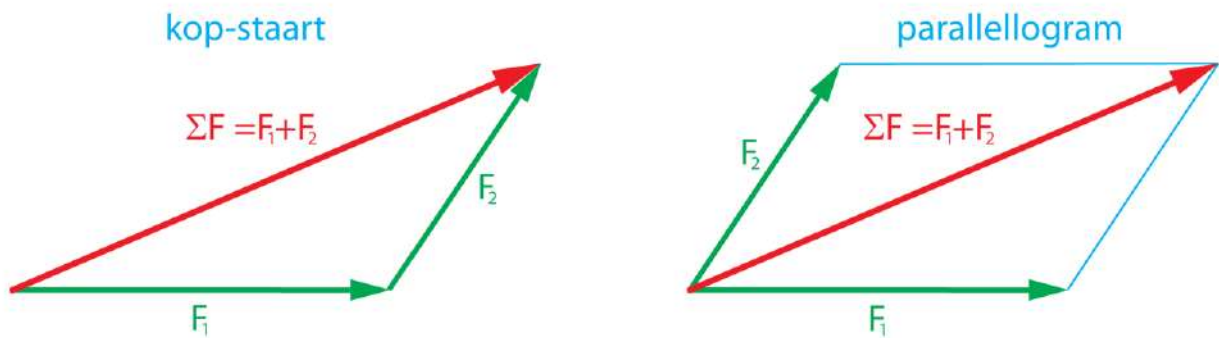
Om de totale kracht te bepalen moet je een tekening maken. Zo'n tekening van krachten heet een **constructie**. Stel er zijn twee krachten F_1 en F_2 en je wil de totale kracht weten, dan moet je de krachtpijlen F_1 en F_2 tekenen en daarna een constructie maken. Er zijn twee methoden waaruit je kunt kiezen.

– kop-staartmethode –

- begin met de krachtpijl van F_1
- F_2 begint waar F_1 ophoudt \rightarrow de krachten staan kop-staart achter elkaar
- $F_1 + F_2$ is de pijl die begint bij het begin van F_1 en eindigt bij het einde van F_2

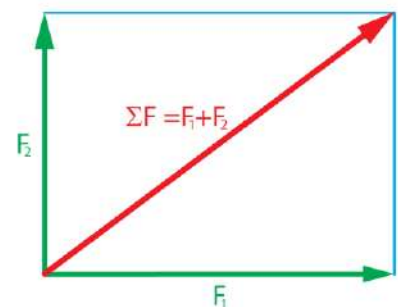
– parallellogrammethode –

- construeer een parallellogram met F_1 en F_2 als schuine zijden
- $F_1 + F_2$ is de pijl die begint bij het begin en eindigt in de hoek schuin tegenover



Figuur 5 Krachten kun je bij elkaar optellen door ze kop-staart te tekenen (links) of door een parallellogram te tekenen (rechts).

Pas je de parallellogrammethode toe voor de situatie in figuur 4 rechts, dan krijg je de figuur 6. Door de lengte van de krachtpijlen te meten en de verhouding te gebruiken vind je een resulterende kracht van 500 N.



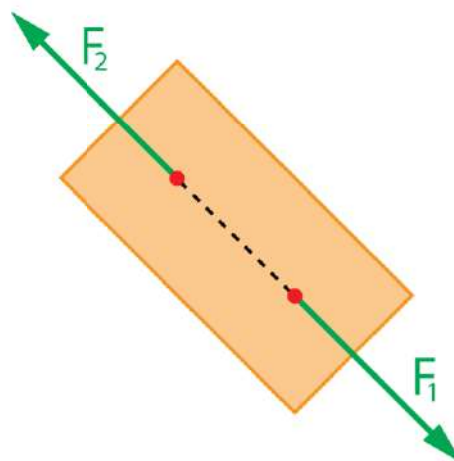
Figuur 6 Constructie van de twee krachten in figuur 4 rechts. De resulterende kracht is 500 N.

Krachten in evenwicht

Als de som van de krachten op een voorwerp nul is zeggen we dat de krachten met elkaar in **evenwicht** zijn. In dat geval werken de krachten elkaar tegen. Zie figuur 7. Het voorwerp waarop deze krachten werken gaat dan niet versnellen of vertragen. Staat het voorwerp stil, dan blijft het stilstaan.

Krachten zijn in evenwicht als de resulterende kracht nul is.

$$\text{Evenwicht: } \Sigma F = 0$$



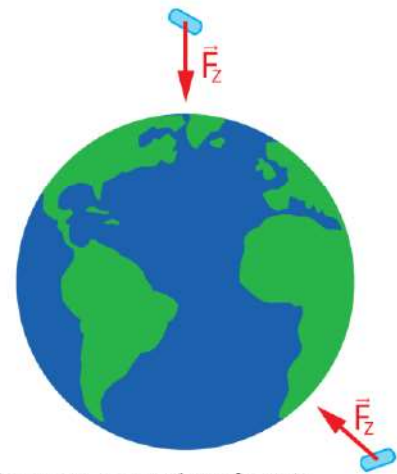
Figuur 7 Twee krachten in evenwicht.

3.3 Zwaartekracht, gewicht en normaalkracht

De zwaartekracht

Een kracht waar we veel mee te maken hebben is de **zwaartekracht** F_z . Dit is de kracht waarmee de aarde aan ieder voorwerp trekt. De zwaartekracht is altijd verticaal naar beneden gericht, naar het middelpunt van de aarde. Aan voorwerpen met veel massa trekt de aarde harder dan aan voorwerpen met weinig massa.

Om de grootte van de zwaartekracht op aarde te berekenen moet je de massa in kilogram vermenigvuldigen met het getal 9,81. Het getal 9,81 is de versnelling die ieder voorwerp krijgt als het naar de aarde valt en wordt daarom de **valversnelling** genoemd met het symbool g .



Figuur 8 De aarde oefent op ieder voorwerp zwaartekracht uit.

$$F_z = m \cdot g$$

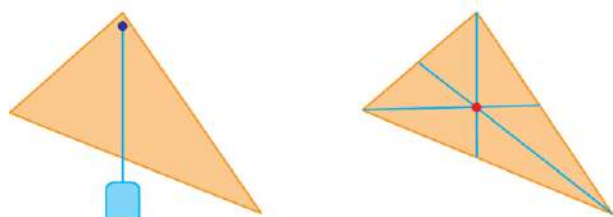
- F_z is de zwaartekracht in newton (N)
- m is de massa van het voorwerp in kilogram (kg)
- g is de valversnelling in meter per seconde kwadraat (m/s^2)

De grootte van de valversnelling wordt bepaald door de massa en de straal van de aarde. Ieder hemellichaam heeft een andere waarde van g . De formule $F_z = m \cdot g$ volgt uit de algemene gravitatiewet van Newton, waarover je in een ander hoofdstuk meer te weten komt. De oorzaak van zwaartekracht is nog steeds niet goed bekend. Volgens Newton is er altijd een aantrekkende kracht tussen twee voorwerpen. Deze aantrekkende kracht is recht evenredig met de massa's van de voorwerpen en is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tussen de voorwerpen.

Het zwaartepunt

Ieder voorwerp heeft een denkbeeldig punt waar de zwaartekracht aangrijpt. Dit is het **zwaartepunt** dat je op de volgende manier kunt bepalen. Zie figuur 9.

- hang het voorwerp draaibaar op
- teken een lijn uit het ophangpunt loodrecht naar beneden
- hang het voorwerp nu op aan een ander ophangpunt
- teken opnieuw een lijn loodrecht naar beneden
- het snijpunt van de twee lijnen is het zwaartepunt



Figuur 9 Methode om het zwaartepunt te bepalen.

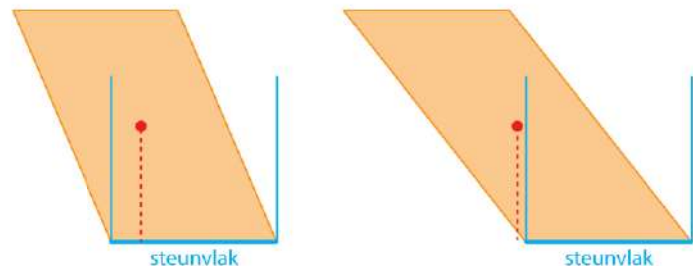
Een voorwerp in evenwicht

Een voorwerp is in evenwicht als het niet spontaan omvalt. Om in evenwicht te zijn, moet het zwaartepunt zich boven het **steunvlak** bevinden. Het steunvlak is de oppervlakte tussen de buitenste steunpunten.

Voorwerp in evenwicht → zwaartepunt ligt boven het steunvlak.

In figuur 10 zie je twee situaties. Links bevindt het zwaartepunt zich boven het steunvlak. Het voorwerp is daarom in evenwicht en valt niet om. Rechts bevindt het zwaartepunt zich naast het steunvlak. Dit voorwerp is niet in evenwicht en valt om.

Figuur 10 Links ligt het zwaartepunt boven het steunvlak en is het blok in evenwicht. Rechts ligt het zwaartepunt niet boven het steunvlak en valt het blok om.

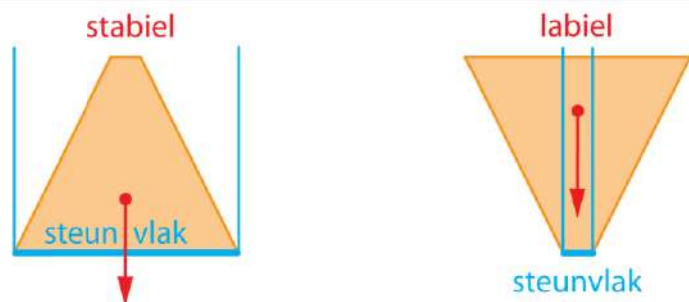


Stabiël en labiel evenwicht

Het evenwicht kan **stabiël** of **labiel** zijn. Bij een stabiël evenwicht kun je flinke duw geven zonder dat het voorwerp omvalt. Bij een labiel evenwicht is een klein duwtje al genoeg om het voorwerp om te laten vallen. Een **stabiël evenwicht** krijg je als het steunvlak groot is en het zwaartepunt dicht bij het steunvlak ligt. Een **labiel evenwicht** krijg je als het steunvlak klein is en het zwaartepunt ver boven het steunvlak ligt.

Stabiël evenwicht → groot steunvlak + laag zwaartepunt.
Labiel evenwicht → klein steunvlak + hoog zwaartepunt.

Figuur 11 Stabiël en labiel evenwicht.



Gewicht

Staat een voorwerp op een vloer, of hangt het aan een koord, dan oefent het een kracht uit op de vloer of op het koord. Deze kracht is het **gewicht** van het voorwerp. Het gewicht is dus een kracht die **door het voorwerp** wordt uitgeoefend **op het steunvlak**. Net als iedere kracht heeft gewicht als eenheid newton. Een veel gemaakte fout is om gewicht in kilogram uit te drukken. In de natuurkunde mag dit niet, want kilogram is de eenheid van massa en niet van kracht.

Het gewicht is de kracht die het voorwerp op het steunvlak uitoefent.
Het gewicht is een kracht en wordt uitgedrukt in newton (N).

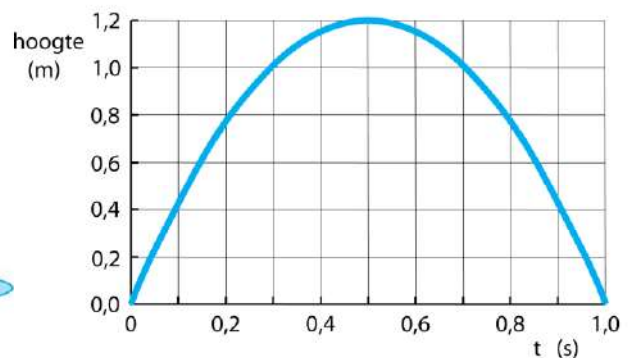
Gewichtloos

Een weegschaal meet de kracht die een voorwerp uitoefent. Dit is het gewicht van het voorwerp en moet in newton worden uitgedrukt. Maar dat gebeurt niet. Een weegschaal geeft de gemeten waarde in kilogram. De weegschaal rekent namelijk het gewicht om naar massa. Op het oppervlak van de aarde geldt dat een massa van 1,00 kg een gewicht heeft van 9,81 N. De weegschaal meet dus de kracht in newton en deelt dit door 9,81 om de massa te berekenen. Zolang de weegschaal op aarde wordt gebruikt gaat dit goed, maar op de maan of tijdens een verticale versnelling of vertraging geeft de weegschaal een verkeerde waarde aan.

Als je omhoog springt en in de lucht zweeft krijg je eerst een vertraging omhoog van $9,81 \text{ m/s}^2$ en daarna een versnelling omlaag van $9,81 \text{ m/s}^2$. Tijdens de sprong en de val oefen je geen kracht uit op een vloer en is je gewicht nul. Je ben heel even **gewichtloos**. Een weegschaal geeft nul kg aan, maar je massa is natuurlijk niet veranderd. Zie figuur 12.

Tijdens een sprong omhoog of een val omlaag ben je gewichtloos.

Figuur 12 Als je in de lucht zweeft oefen je geen kracht uit op een vloer of op een koord en ben je gewichtloos.



De normaalkracht

Krachten zijn in evenwicht als $\Sigma F = 0$. Dit is het geval als een kist op een vloer staat. Op de kist werkt de zwaartekracht en omdat $\Sigma F = 0$ moet er behalve de zwaartekracht nog een kracht op de kist zijn. Dit is de kracht waarmee de vloer terugduwt tegen de kist. Deze kracht noem je de **normaalkracht** F_n . Op de kist werken dus twee krachten F_z en F_n die even groot zijn en een tegengestelde richting hebben. Ze heffen elkaar dus op.

De normaalkracht is de kracht die op een voorwerp wordt uitgeoefend door de vloer waarop het staat of door het koord waaraan het hangt.

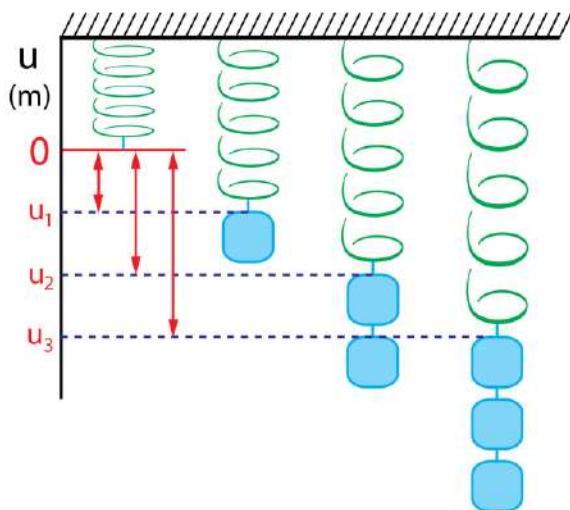
Later in dit hoofdstuk leer je dat krachten altijd in paren voorkomen. De kracht die A op B uitoefent is altijd even groot als de kracht die B op A uitoefent. Deze krachten hebben een tegengestelde richting. Het gewicht en de normaalkracht zijn daarom altijd even groot en tegengesteld gericht.

$$F_n = -F_{\text{gewicht}}$$

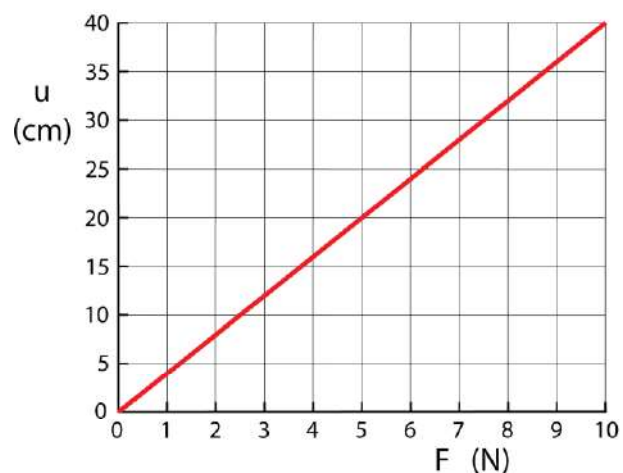
3.4 Kracht en vervorming

Een voorwerp waarop een kracht werkt vervormt. Bij stugge voorwerpen is deze vervorming niet te zien, maar bij flexibele voorwerpen wel. We kunnen de relatie tussen de vervorming en de kracht onderzoeken door massa's aan een spiraalveer te hangen. Zie figuur 13. De vervorming u_2 bij twee gelijke massa's is twee keer zo groot als de vervorming u_1 bij één massa. Bij drie massa's wordt de vervorming drie keer zo groot.

Het symbool voor vervorming is u . De eenheid van vervorming is meter (m).



Figuur 13 Vervorming van een spiraalveer.
 u_2 is twee keer zo groot als u_1 ,
 u_3 is drie keer zo groot als u_1 .



Figuur 14 (u , F)-diagram van een spiraalveer.

In het ideale geval is de vervorming **recht evenredig** met de kracht. In een (u , F)-diagram staat de kracht op de horizontale as en de vervorming op de verticale as. De grafiek is een **rechte lijn door het nulpunt**. In figuur 14 zie je een voorbeeld van een (u , F)-diagram. Voor de vervorming geldt de volgende formule:

$$F = C \cdot u$$

- F is de kracht op de spiraalveer in newton (N)
- C is de veerconstante in newton per meter (N/m)
- u is de vervorming van de spiraalveer in meter (m)

De veerconstante

De veerconstante C is het aantal newton dat nodig is om een voorwerp één meter uit te rekken of één meter in te drukken. Is C groot dan kost het veel kracht om het voorwerp te vervormen. Er geldt: $C = F / u$.

Uit de grafiek in figuur 14 kun je de veerconstante bepalen. Omdat de lijn recht is en door het nulpunt gaat kun je een willekeurig punt op de lijn kiezen.

- kies $F = 10 \text{ N}$ $C = \frac{F}{u} \rightarrow C = \frac{10}{0,40} = 25 \text{ N/m}$
- kies $F = 6 \text{ N}$ $C = \frac{F}{u} \rightarrow C = \frac{6}{0,24} = 25 \text{ N/m}$

Vervorming en lengte

Het is belangrijk om te onthouden dat de vervorming niet hetzelfde is als de lengte van de spiraalveer. Stel je hebt een spiraalveer van 10 cm lang. Als je er een gewichtje aan hangt wordt hij 14 cm lang. De vervorming is in dat geval $14 - 10 = 4 \text{ cm}$. We gebruiken ℓ voor de lengte en u voor de vervorming die door een kracht wordt veroorzaakt.

Vervorming is de lengte met kracht min de lengte zonder kracht.

$$u = \ell_{\text{met kracht}} - \ell_{\text{zonder kracht}}$$

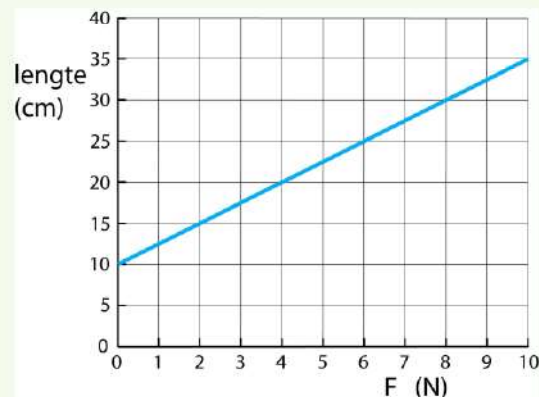
VOORBEELD de veerconstante bepalen

In figuur 15 zie je een diagram waarin de lengte van een spiraalveer is uitgezet tegen de kracht.

Bepaal de veerconstante.

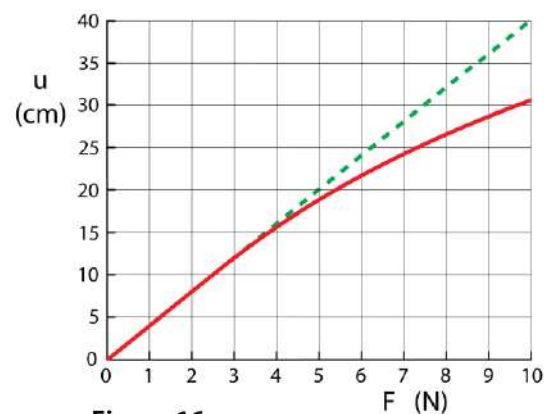
- $F = 0,0 \text{ N} \rightarrow \ell = 0,10 \text{ m}$
- $F = 10 \text{ N} \rightarrow \ell = 0,35 \text{ m}$
- $u = \ell_{\text{met kracht}} - \ell_{\text{zonder kracht}}$
- $u = 0,35 - 0,10 = 0,25 \text{ m}$
- $C = \frac{F}{u} \rightarrow C = \frac{10}{0,25} = 40 \text{ N/m}$

Figuur 15



Vervorming waarbij $F = C \cdot u$ niet geldt

Bij een ideale spiraalveer is de vervorming recht evenredig met de kracht, maar dat is niet altijd het geval. Vaak is het zo dat bij een kleine kracht de vervorming recht evenredig is, maar dat bij een grote kracht de formule $F = C \cdot u$ niet helemaal meer klopt. In figuur 16 zie je een situatie waarbij $F = C \cdot u$ alleen geldt voor een kracht kleiner dan 3 N. Bij een grote kracht wordt de veer stugger, waardoor C niet meer constant is maar steeds groter wordt. De grafiek is nu geen rechte lijn maar buigt af.



Figuur 16

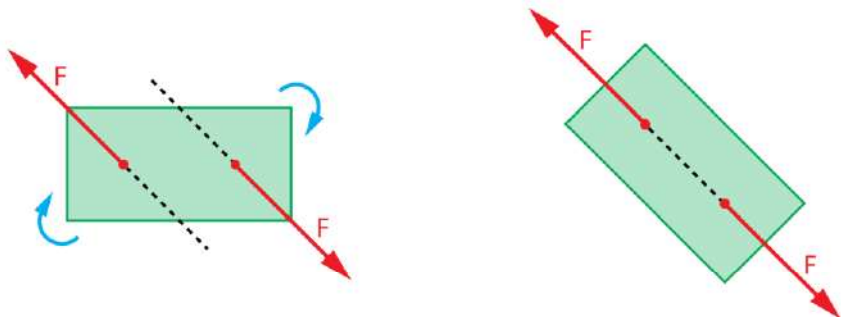
3.5 De momentenwet (hefboomwet)

Het draaien van een voorwerp

We hebben gezien dat als de resulterende kracht nul is, een voorwerp niet in beweging komt en niet gaat versnellen of vertragen. Maar dit geldt alleen als alle krachten aangrijpen in één punt, bijvoorbeeld het zwaartepunt. Om het niet te ingewikkeld te maken hebben we een voorwerp tot nu toe opgevat als een punt. In deze paragraaf bekijken we wat er gebeurt als de krachten op een voorwerp niet hetzelfde aangrijpingspunt hebben.

Stel er zijn twee even grote en tegengestelde krachten, dan kunnen deze krachten verschillende werklijnen hebben. Als deze werklijnen elkaar niet snijden (geen gemeenschappelijk punt hebben) gaat het voorwerp draaien. Het draaien stopt zodra de werklijnen elkaar snijden, of als ze samenvallen. Zie figuur 17.

Figuur 17 Links: op een blok werken twee krachten waarbij de werklijnen elkaar niet snijden. Het blok zal hierdoor gaan draaien. Rechts: het draaien stopt als de werklijnen elkaar snijden of samenvallen.

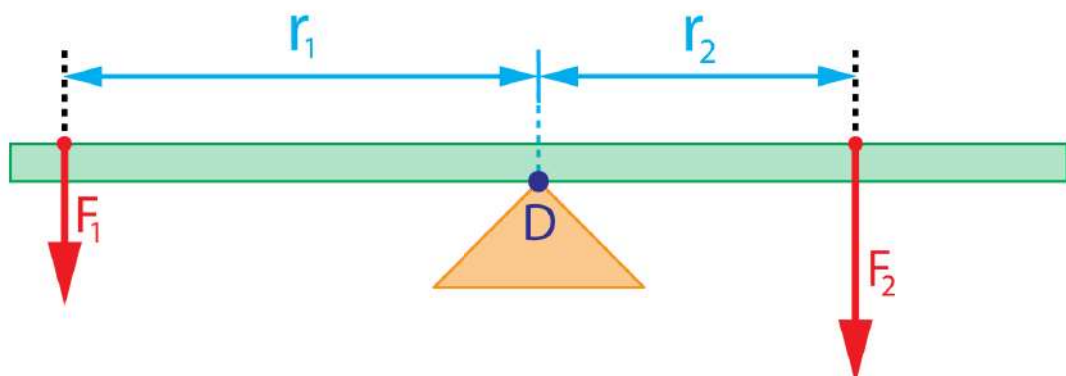


De arm van een kracht

Met de momentenwet (hefboomwet) kun je berekenen of een voorwerp wel of niet gaat draaien. Bij deze berekening moet je niet alleen de krachten op het voorwerp weten maar ook de **arm** van deze krachten.

De arm van een kracht is de afstand tussen de werklijn van de kracht en het draaipunt.

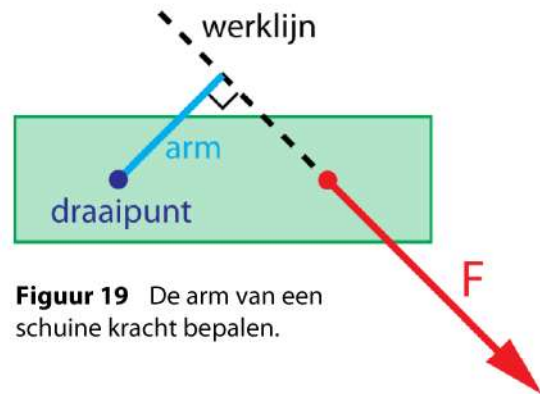
Stel er zijn twee krachten F_1 en F_2 . Zie figuur 18. De stippellijnen zijn de werklijnen van F_1 en F_2 . De arm is de afstand tussen de werklijn van de kracht en het draaipunt D . r_1 is de arm van F_1 en r_2 is de arm van F_2 . D is het draaipunt.



Figuur 18

Ook bij een kracht die schuin staat kun je de arm bepalen. Zie figuur 19.

- teken de werklijn van de kracht
- teken een lijn loodrecht op de werklijn door het draaipunt
- meet de afstand van de werklijn tot het draaipunt



Figuur 19 De arm van een schuine kracht bepalen.

De momentenwet (hefboomwet)

Stel op een voorwerp werken twee krachten F_1 en F_2 . Zie figuur 18. Met alleen F_1 zal het voorwerp gaan draaien. Werkt alleen F_2 dan zal het voorwerp de ander kant uit draaien. Als beide krachten werken zal het voorwerp niet gaan draaien als de **kracht keer arm** van kracht 1 gelijk is aan kracht keer arm van kracht 2.

Een voorwerp gaat NIET draaien als:

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

$$F_1 \cdot r_1 > F_2 \cdot r_2$$

het voorwerp gaat draaien in de richting van kracht 1

$$F_1 \cdot r_1 < F_2 \cdot r_2$$

het voorwerp gaat draaien in de richting van kracht 2

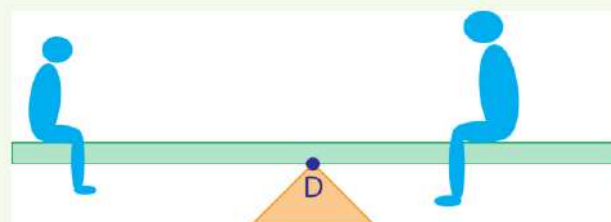
De kracht vermenigvuldigd met de arm noem je het **moment M** van de kracht.

Het moment van een kracht is de kracht vermenigvuldigd met de arm.

$$M = F \cdot r$$

VOORBEELD wipwap

Aan de linkerkant van een wipwap zit Anna (A). Anna heeft een massa van 40 kg en zit 1,8 m van het midden. Rechts gaat Bea (B) zitten. Bea heeft een massa van 60 kg. Als er niemand op de wip zit is de wip in evenwicht. Zie figuur 20.



Figuur 20

Waar moet Bea gaan zitten zodat de wip in evenwicht is (niet gaat draaien)?

- $F_z = m \cdot g \rightarrow F_{zA} = 40 \cdot 9,81 = 392,4 \text{ N}$ en $F_{zB} = 60 \cdot 9,81 = 588,6 \text{ N}$
- momentenwet: $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$
- $r_1 = 1,8 \text{ m} \mid r_2 = \dots \text{ m}$
- $392,4 \cdot 1,8 = 588,6 \cdot r_2 \rightarrow r_2 = 1,2 \text{ m}$

VOORBEELD Krachtenevenwicht op een draaischijf

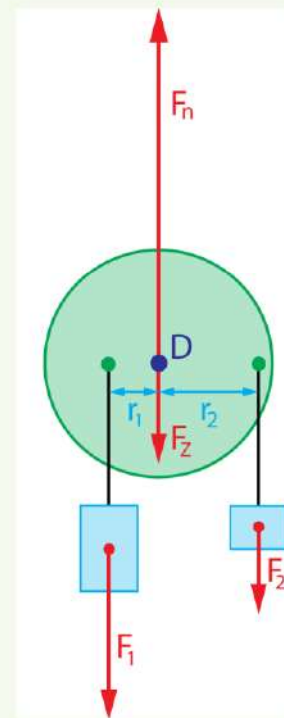
Aan een draaischijf hangen twee gewichtjes. Zie figuur 21.
 $F_1 = 12 \text{ N}$ en $F_2 = 6,0 \text{ N}$. De zwaartekracht op de schijf is $7,0 \text{ N}$.
 $r_1 = 8,0 \text{ cm}$. De schijf is in rust.

Bereken de arm van kracht 2 .

- op de schijf werken vier krachten: F_Z , F_n , F_1 en F_2
- de werklijnen van F_Z en van F_n gaan door het draaipunt waardoor de armen van F_Z en F_n nul zijn
- momentenwet: $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$
- $F_1 = 12 \text{ N} \mid r_1 = 8,0 \text{ cm} \mid F_2 = 6 \text{ N} \mid r_2 = \dots \text{ cm}$
- $12 \cdot 8 = 6 \cdot r_2 \rightarrow r_2 = 16 \text{ cm}$

Bereken de normaalkracht F_n

- in rust $\rightarrow F_{\text{res}} = 0$
- $F_1 + F_2 + F_Z - F_n = 0$
- $12 + 6 + 7 - F_n = 0$
- $F_n = 25 \text{ N}$



Figuur 21

VOORBEELD steekwagen

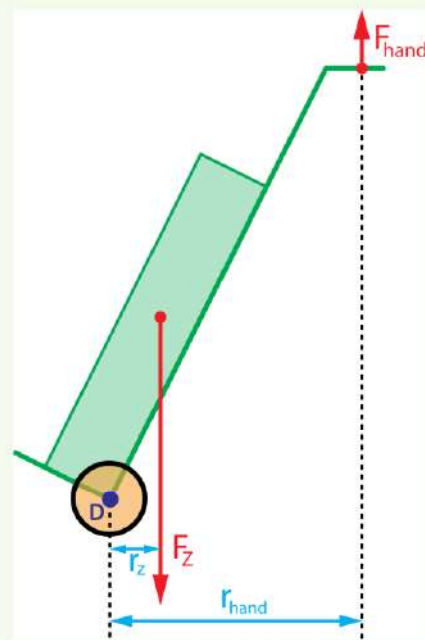
Een last van $61,2 \text{ kg}$ wordt met een steekwagen in evenwicht gehouden. Zie figuur 22.

Bereken de kracht op het handvat.

- $F_Z = m \cdot g \rightarrow F_Z = 61,2 \cdot 9,81 = 600 \text{ N}$
- momentenwet: $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$
- opmeten r_Z en $r_{\text{hand}} \rightarrow r_{\text{hand}} = 5 \cdot r_Z$
- $600 \cdot r_Z = F_{\text{hand}} \cdot 5 \cdot r_Z$ r_Z wegstrepen
- $600 = F_{\text{hand}} \cdot 5 \rightarrow F_{\text{hand}} = \frac{600}{5} = 120 \text{ N}$

Bereken de normaalkracht op het wiel.

- in rust $\rightarrow \Sigma F = 0$
- $F_Z - F_{\text{hand}} - F_n = 0$
- $600 - 120 - F_n = 0 \rightarrow F_n = 480 \text{ N}$



Figuur 22

3.6 Kracht en versnelling

De drie wetten van Isaac Newton

Isaac Newton heeft in 1687 een beroemd boek geschreven waarin hij beweert dat het versnellen of vertragen van een voorwerp wordt veroorzaakt door een kracht. Is de resulterende kracht nul, dan verandert de snelheid niet. Bij een grote massa kost het veranderen van de snelheid meer kracht dan bij een kleine massa. Verder komt een kracht nooit alleen voor. Twee voorwerpen kunnen elkaar aantrekken of afstoten en de krachten die hierbij een rol spelen zijn altijd aan elkaar gelijk en tegengesteld gericht. Hij gaat uit van drie waarheden, die wij nu kennen als de drie wetten van Newton. Met deze drie wetten kun je de beweging van ieder voorwerp uitrekenen als je voor ieder moment de resulterende kracht op dit voorwerp weet.

- 1** Ieder voorwerp behoudt een toestand van rust of van constante snelheid in een rechte lijn, tenzij het deze toestand moet veranderen door de werking van een kracht.

$$\Sigma F = 0 \Leftrightarrow a = 0$$

- 2** De verandering van de snelheid is recht evenredig met de kracht die wordt uitgeoefend en heeft de richting van de rechte lijn waarin deze kracht werkt.

$$\Sigma F = m \cdot a$$

- 3** Op iedere actie volgt altijd een tegenovergestelde reactie. De wederzijdse acties van twee voorwerpen op elkaar zijn altijd gelijk en tegengesteld gericht.

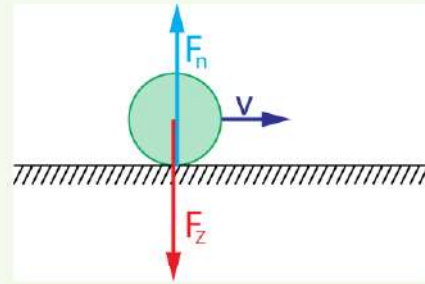
$$F_{A \rightarrow B} = -F_{B \rightarrow A}$$

Wet 1 – traagheid

De eerste wet wordt ook wel de **traagheidswet** genoemd. Met traagheid bedoel je dat de beweging van een voorwerp niet zomaar verandert. Laat je een voorwerp met rust dan verandert zijn snelheid niet. Deze wet is het gevolg van het inzicht dat snelheid **relatief** is. Of iets stilstaat of met constante snelheid in een rechte lijn beweegt is afhankelijk van de waarnemer. Wat de ene waarnemer ziet als beweging ziet de ander als stilstaan. Maar de natuurkundige werkelijkheid is objectief en niet afhankelijk van de waarnemer. Stilstaan of met constante snelheid in een rechte lijn bewegen zijn dus aan elkaar gelijk. Voor stilstaan heb je geen kracht nodig en dus ook niet voor beweging met constante snelheid in een rechte lijn.

VOORBEELD Wet 1 – bowlingbal

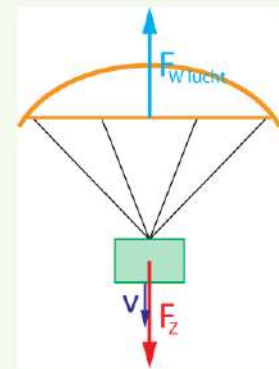
Een bowlingbal rolt vrijwel zonder weerstand. Er werken twee krachten op de bowlingbal F_z en F_n . Deze krachten zijn even groot en tegengesteld gericht. ΣF is dus nul. Volgens de eerste wet van Newton is de versnelling dan ook nul. De snelheid van de bowlingbal verandert niet en de bal beweegt daarom met een constante snelheid in een rechte lijn.



Figuur 23

VOORBEELD Wet 1 – parachute

Een kist wordt aan een parachute uit een vliegtuig gegooid. Op de kist en de parachute werken twee krachten de zwaartekracht F_z en de luchtweerstand $F_{W_{lucht}}$. Deze krachten zijn even groot en tegengesteld gericht. ΣF is dus nul. Volgens de eerste wet van Newton is de versnelling dan ook nul. De snelheid van de parachute met kist verandert niet en de parachute beweegt daarom met een constante snelheid in een rechte lijn omlaag.



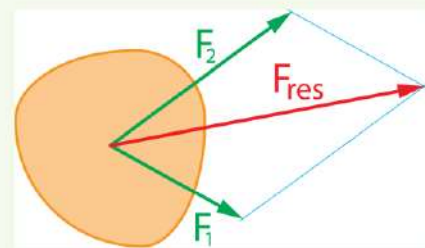
Figuur 24

Wet 2 – versnellen en vertragen

Met de tweede wet kun je uitrekenen hoe groot de versnelling van een voorwerp is als er een kracht op werkt en als de massa constant is. Voor de versnelling geldt $a = \Sigma F / m$. Weet je de versnelling dan kun je op ieder tijdstip de snelheid uitrekenen. De toekomst van het voorwerp ligt hiermee vast.

VOORBEELD Wet 2 – versnellen en vertragen

Op een voorwerp werken twee krachten. De resulterende kracht is niet nul en het voorwerp gaat versnellen. De grootte van de versnelling vind je door de resulterende kracht te delen door de massa. De richting van de versnelling is gelijk aan de richting van de resulterende kracht.



Figuur 25

VOORBEELD Wet 2 – versnellen en vertragen

- Om een bowlingbal van 2,7 kg evenveel te versnellen als een pingpongbal van 2,7 gram is 1000 keer meer kracht nodig.
- Om een auto in 5 seconden van 0 naar 100 km/h te brengen is 4 keer meer kracht nodig dan om deze auto in 20 seconden van 0 naar 100 km/h te brengen.

VOORBEELD Wet 2 – afremmen en optrekken van een auto

Een auto remt voor een rood stoplicht in 20 seconden af van 30 m/s tot stilstand. De auto heeft een massa van 1200 kg.

Bereken de remkracht op de auto.

- $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow a = \frac{30}{20} = 1,5 \text{ m/s}^2$
- $\Sigma F = m \cdot a \rightarrow \Sigma F = 1200 \cdot 1,5 = 1,8 \cdot 10^3 \text{ N}$

Als het stoplicht op groen springt oefent de motor een kracht uit van 3000 N.

Bereken de versnelling.

- de resulterende kracht is de motorkracht $\Sigma F = 3000 \text{ N}$
- $a = \frac{\Sigma F}{m} \rightarrow a = \frac{3000}{1200} = 2,5 \text{ m/s}^2$

Wet 3 – krachtparen

De derde wet zegt iets over de oorsprong van kracht. Voorwerpen oefenen krachten uit op elkaar. Ze kunnen elkaar aantrekken of afstoten. In het dagelijks leven zijn er maar twee krachten die ertoe doen, de zwaartekracht en de elektromagnetische kracht. De zwaartekracht zijn we al tegengekomen en veroorzaakt niet alleen het vallen van voorwerpen op aarde maar ook het bewegen van alle sterren, planeten, kometen en satellieten. De elektromagnetische kracht is de oorzaak van elektrische en magnetische verschijnselen. Alle chemische reacties worden erdoor veroorzaakt, en daarmee ook alle biologische processen. Naast deze twee krachten zijn er nog de zwakke en de sterke kernkrachten die alleen invloed hebben binnen een atoomkern. En dat is het. Meer krachten zijn er niet en voor al deze krachten gelden de wetten van Newton. Toch is dit niet het hele verhaal, want als je een voorwerp hebt met heel weinig massa, zoals een atoom, dan gelden de wetten van Newton niet. Je hebt dan een nieuwe theorie nodig en dat is de **kwantummechanica** die rond 1925 is ontwikkeld en voor alle voorwerpen groot of klein het beste werkt. Het is een rare theorie die niemand begrijpt, maar een betere theorie is er (nog) niet.

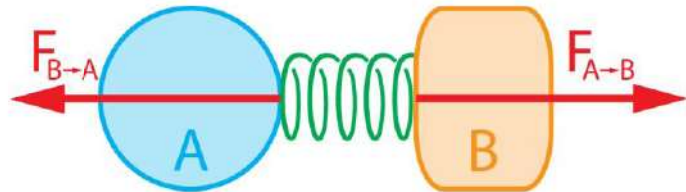
VOORBEELD Wet 3 – krachtenparen

- Een boek dat op een tafel ligt oefent een kracht uit op de tafel. De tafel oefent een even grote tegengestelde kracht uit op het boek.
- Als je een veer indrukt oefent je hand een kracht uit op de veer. Door de veer wordt een even grote tegengestelde kracht uitgeoefend op je hand.
- Als een auto optrekt oefenen de autobanden een kracht uit op het wegdek. Het wegdek oefent een even grote tegengestelde kracht uit op de auto.
- Als een ballon leegloopt oefent de ballon een kracht uit op de uitstromende lucht. De uitstromende lucht oefent een even grote tegengestelde kracht uit op de ballon.
- Als een appel valt oefent de aarde een kracht uit op de appel. De appel oefent een even grote tegengestelde kracht uit op de aarde.

Actie = - reactie

De derde wet van Newton $F_{A \rightarrow B} = -F_{B \rightarrow A}$ wordt soms geformuleerd als "actiekracht is min reactiekracht" of "actie is min reactie". Deze formulering suggereert dat er eerst een actiekracht is en pas daarna een reactiekracht, maar dat is niet het geval. Beide krachten zijn altijd tegelijkertijd aanwezig. De "actiekracht" en "reactiekracht" zijn samen het gevolg van een **interactie** van twee voorwerpen. A en B oefenen krachten uit **op elkaar**. Zie figuur 26.

Een bekende denkfout is dat de actiekracht en de reactiekracht elkaar opheffen omdat ze altijd even groot en tegengesteld gericht zijn. Volgens deze redenering is de resulterende kracht dan altijd nul. Maar dat is niet zo, want de actiekracht en de reactiekracht werken op **verschillende voorwerpen**. $F_{A \rightarrow B}$ is de kracht die voorwerp A op voorwerp B uitoefent en $F_{B \rightarrow A}$ is de kracht die B op A uitoefent. Op voorwerp A werkt dus alleen $F_{B \rightarrow A}$ en op B werkt alleen $F_{A \rightarrow B}$. Als er geen andere krachten zijn zullen beide voorwerpen in tegengestelde richting versnellen. Het voorwerp met de kleinste massa versnelt het meest.



Figuur 26 Twee voorwerpen oefenen krachten op elkaar uit. Ze hebben interactie met elkaar.

3.7 Samenvatting

Grootheden en eenheden

- F is de kracht in newton (N)
- m is de massa in kilogram (kg)
- a is de versnelling in meter per seconde kwadraat (m/s^2)
- g is de valversnelling in meter per seconde kwadraat (m/s^2)
- u is de vervorming in meter (m) [de verandering van de lengte](#)
- C is de veerconstante in newton per meter (N/m)
- r is de arm van een kracht in meter (m)
- M is het moment van een kracht in newton keer meter (N·m)

Weten

- Kracht veroorzaakt een vervorming → elastisch of plastisch.
- Kracht heeft een grootte en een richting → kracht is een vector.
- Kracht wordt weergegeven door een krachtpijl.
- De krachtschaal geeft het verband tussen de lengte van de krachtpijl en de grootte van de kracht. Gebruik een verhoudingstabel.
- De resulterende kracht ΣF is de som van alle krachten.
- De resulterende kracht ΣF veroorzaakt een versnelling of een vertraging.
- Krachten optellen moet met een parallellogram of met de kop-staart methode.
- Krachten zijn in evenwicht als $\Sigma F = 0$.
- Op aarde is de valversnelling: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.
- Voorwerp in evenwicht → zwaartepunt ligt boven het steunvlak.
- Stabiël evenwicht → groot steunvlak + zwaartepunt ligt laag.
Labiël evenwicht → klein steunvlak + zwaartepunt ligt hoog.
- Het gewicht is de kracht die het voorwerp op het steunvlak uitoefent.
- Tijdens een sprong omhoog en een val omlaag ben je gewichtloos.
- De normaalkracht is de kracht die de vloer op een voorwerp uitoefent.
- De arm van een kracht is de kortste afstand tussen de werklijn en het draaipunt.
- Het moment van een kracht is de kracht keer de arm.

Formules

$F_z = m \cdot g$ zwaartekracht

$F = C \cdot u$ veerkracht

$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$ hefboomwet (momentenwet)

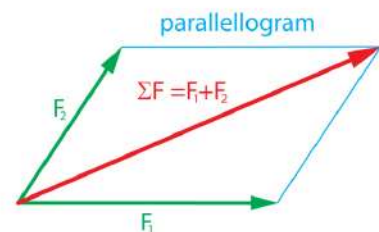
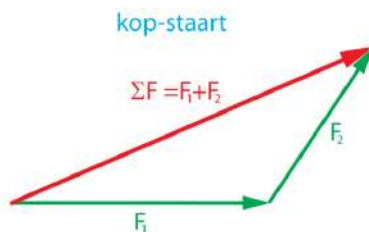
$\Sigma F = 0 \Leftrightarrow a = 0$ 1^e wet van Newton

$\Sigma F = m \cdot a$ 2^e wet van Newton

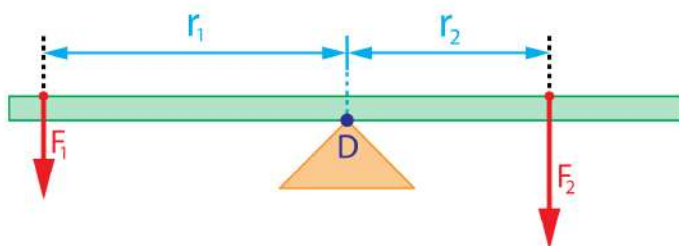
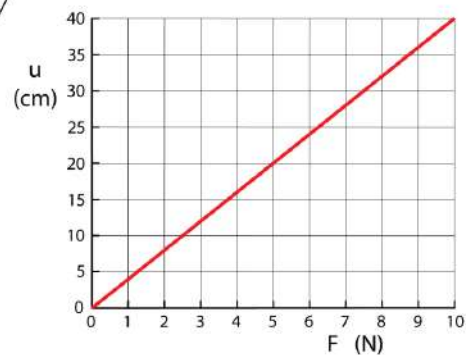
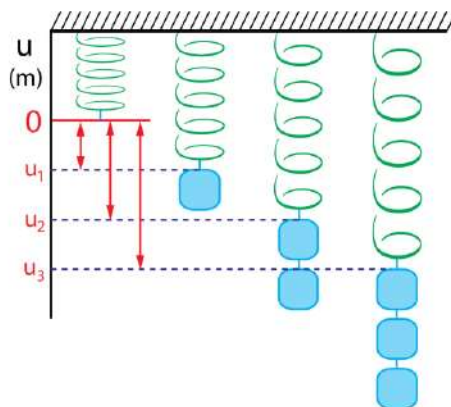
$F_{A \rightarrow B} = -F_{B \rightarrow A}$ 3^e wet van Newton

Figuren

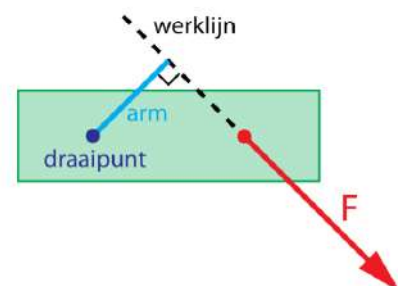
Krachten optellen met een parallellogram (links) of met de kop-staart methode (rechts).



Vervorming van een veer. Recht evenredig verband tussen F en u.



Op een hefboom werken twee krachten waardoor de hefboom kan gaan draaien.



De arm van een kracht is de afstand tussen de werklijn van de kracht en het draaipunt.