

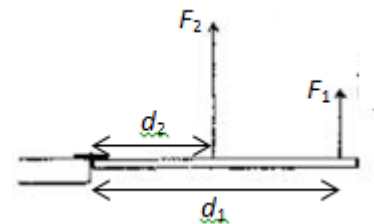
LPD 25 De leerlingen tonen de werking van het krachtmoment aan in verschillende sport- en bewegingssituaties.

- ✓ Je kan het krachtmoment t.o.v. een punt bepalen vanuit experimentele waarnemingen.
- ✓ Je kan het resulterende krachtmoment bepalen in verschillende sport- en bewegingssituaties. Voorbeelden die je aan bod kan brengen:
 - het dode punt bij fietsen als de trapstangen verticaal staan;
 - krachtmoment bij de roerriemen van een gewone roeiboot en een wedstrijdroeiboot.
- ✓ Je kan hier soorten hefbomen aan bod laten komen. Voorbeelden:
 - hefboomwerking van spieren in het menselijk lichaam (dit kan in functie van LPD 38, 39 behandeld worden);
 - tiltechnieken om belasting van de onderrug te voorkomen bij het optillen van zware voorwerpen (dit kan in functie van LPD 10 behandeld worden).

1) Het moment van een kracht op een draaibaar lichaam

Als introductie kiezen we het voorbeeld van een deur. Een deur is immers draaibaar rond een ingebeeldde as door de scharnieren.

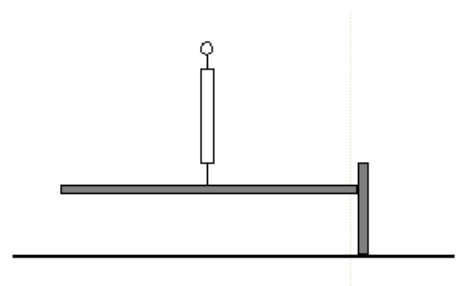
- Situering: als je een zware deur wilt openen, dan moet je harder duwen of trekken naarmate je kracht dichterbij de scharnieren aangrijpt. Hoe verder van de scharnieren hoe minder hard je moet duwen of trekken. Dit is de reden waarom de deurklink tamelijk ver van de scharnieren is bevestigd.



- Het effect van een kracht op een draaibaar lichaam is dus afhankelijk van
 - de grootte van de kracht
 - en de (loodrechte) afstand van die kracht tot de draaias of het draaipunt.Die afstand noemen we de krachtarm en stellen we voor door het symbool d .
- We vermoeden dat er tussen de grootte van de kracht (F) en de krachtarm (d) een omgekeerd evenredig verband is.

Dit zou betekenen dat bij een half zo grote krachtarm er een dubbele kracht nodig is; of dat bij een 3 keer zo kleine krachtarm een 3 keer zo grote kracht nodig is; ...

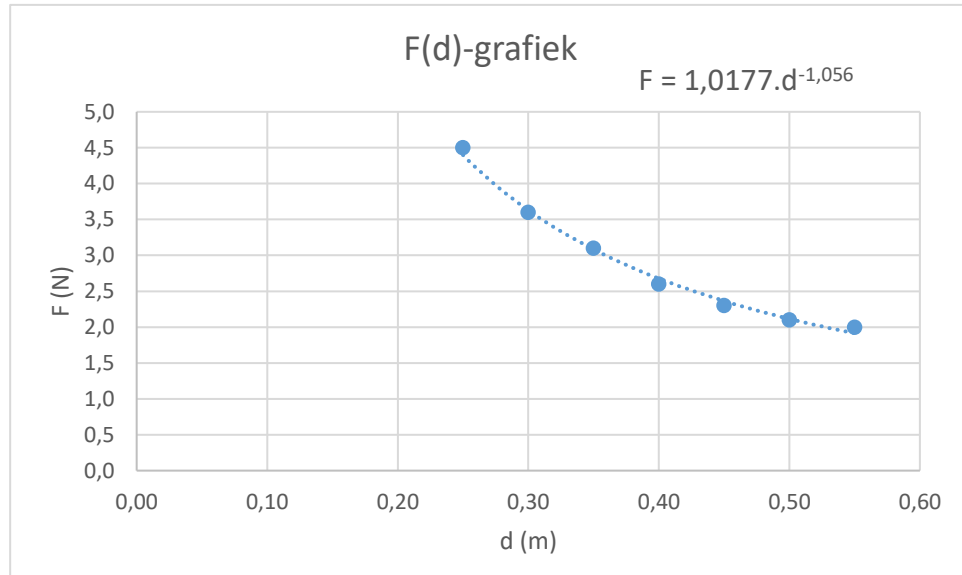
- We onderzoeken dit aan de hand van een statiefje dat we horizontaal houden door op verschillende plaatsen op de staaf een kracht met een dynamometer uit te oefenen. Bij een verkennende meting stellen we vast dat naarmate d (= gegeven waarde) toeneemt, dat F (= gemeten waarde) afneemt.



Dit is al een eerste voorlopige bevestiging van ons vermoeden dat er hier een omgekeerd evenredig verband is.

- Zet je dit grafisch uitzet in een $F(d)$ -grafiek dan bekom je een grafiek die men in de wiskunde een hyperbool noemt.

d (m)	F (N)	F.d (Nm)
0,250	4,5	1,13
0,300	3,6	1,08
0,350	3,1	1,09
0,400	2,6	1,04
0,450	2,3	1,04
0,500	2,1	1,05
0,550	2,0	1,10
		1,07



Om zeker te zijn van het omgekeerd evenredig verband dat we vermoeden, berekenen we in de 3^{de} kolom van de tabel $F \cdot d$ en gaan na of dit een constante oplevert.

$F \cdot d$ definiëren we daarom als het moment van een kracht op een draaibaar voorwerp en is dus een maat voor het effect van een kracht op een draaibaar voorwerp.

Definitie van het moment van een kracht: $M = F \cdot d$

en de eenheid is $[M] = [F \cdot d] = \text{Nm}$ (newtonmeter).

Uit de vergelijking van de “trendlijn macht” volgen nu twee zaken:

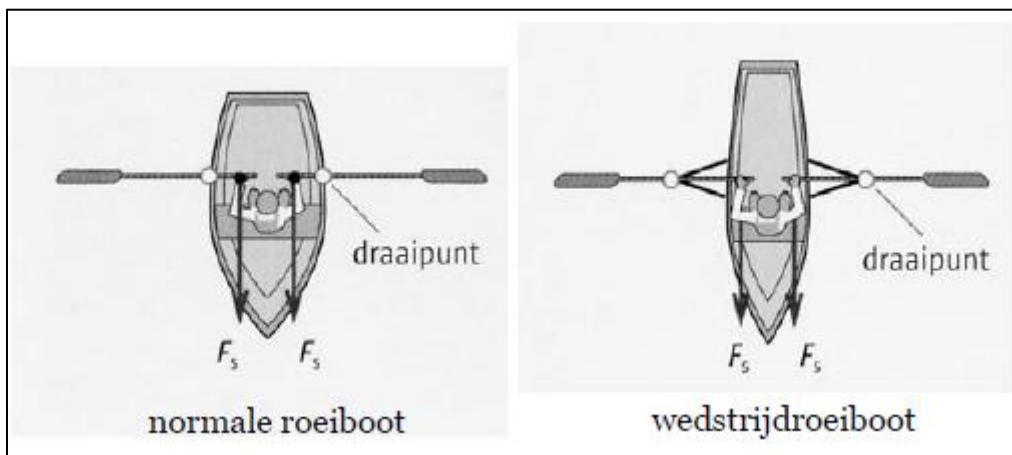
- de exponent van de macht (-1,056) ligt dicht bij -1. Dit bevestigt dat $F \sim 1/d$.
- de coëfficiënt (1,0177) komt overeen met het gemiddelde van de 3^{de} kolom $F \cdot d$

Opmerking voor de leraar: als je het dit nogal verregaand vind voor leerlingen dan kan je er eventueel voor opteren om enkel de trendlijn macht te laten tekenen, zonder de vergelijking er aan toe te voegen.

Voorbeeld:

(Bron: 'Krachten in de sport', bij NEWTON, Natuurkunde voor de 2^{de} fase V4)

Bij roeien draait de roeispaan om een draaipunt en daardoor wordt de kracht van de hand op de steel omgezet in een kracht van het blad op het water. Bij een normale roeiboot zit het draaipunt op de rand van de boot, bij een wedstrijdroeiboot zit het draaipunt, de dol genoemd, een stukje buiten de boot (figuur 19). De lengte van de roeispaan wordt door de reglementen voorgeschreven.



Waarom zit het draaipunt bij een wedstrijdroeiboot verder naar buiten?

De beweging van het blad door het water heet de haal. Het is voor wedstrijdroeiers belangrijk om lange halen te maken. Als het draaipunt verder naar buiten ligt, verandert ook de haal.

Wat is het effect van het verplaatsen van het draaipunt op de haal? Leg uit.

Daar de roeispaan heel lang is, zou in het geval het draaipunt op de rand van het bootje zou liggen, de krachtarm klein zijn en zou de kracht die de roeier zou moeten uitoefenen te groot zijn.

Hoe zorgen wedstrijdroeiers ervoor dat er toch een lange haal gemaakt kan worden?

Het zitje is niet vast, maar kan schuiven volgens de lengte van de boot.

2) De momentenwet (de momentenbalans)

Wat doen we nu als er meerdere krachten (en dus momenten) op een draaibaar lichaam werken?

Voorbeeld: een wipplank (zie ook bij <https://www.youtube.com/watch?v=6oFuYu6JaQs>)

Experiment:

In de handel zijn er staafjes met een draaipunt in het midden van iets meer dan 40 cm beschikbaar. Er bevinden zich 8 gaatjes om de 5,0 cm om massa's aan te hangen.

Je kan dit ook in hout zelf maken, door gaatjes te boren. De centrale opening kan je dan gebruiken om een spijker door te stoppen.

De spijker kan je via een dubbelnoot bevestigen aan een statief.

Vaststelling: er is evenwicht.

- aan het linker uiteinde hangt een massa van 100 g
- rechts op 10,0 cm van het midden hangt 200 g

Berekeningen:

- links: $F_1 = F_z = m \cdot g = 0,100 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} = 0,981 \text{ N}$
 $\Rightarrow M_1 = F_1 \cdot d_1 = 0,981 \text{ N} \cdot 0,200 \text{ m} = 1,96 \text{ Nm}$
- rechts: $F_2 = F_z = m \cdot g = 0,200 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} = 1,96 \text{ N}$
 $\Rightarrow M_2 = F_2 \cdot d_2 = 1,96 \text{ N} \cdot 0,100 \text{ m} = 1,96 \text{ Nm}$

Hieruit volgt dat bij evenwicht $M_1 = M_2$

of in woorden: bij evenwicht zijn beide momenten even groot (= de momentenwet).



Alternatief via een probleemstelling:

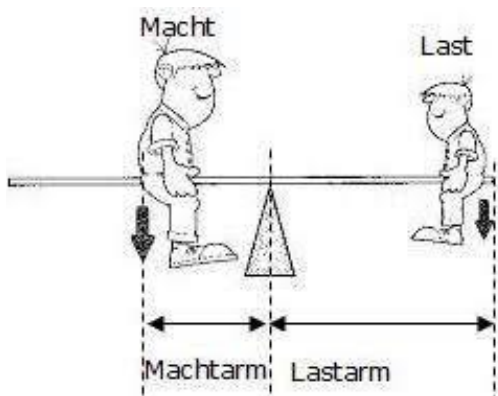
Een meisje van 30 kg zit op het uiteinde van een wipplank van 4,00 m lang. Haar moeder weegt 60 kg. Waar moet de moeder zitten opdat de wipplank in evenwicht zou zijn?

Zie ook https://phet.colorado.edu/sims/html/balancing-act/latest/balancing-act_en.html

Je hebt keuze uit

- Intro
- Balance lab (zie hieronder)
- Game

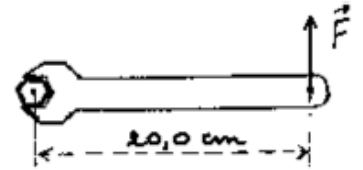
The screenshot shows the PhET Balancing Act simulation in a web browser. The main interface features a seesaw on a green ground against a blue sky. A 30 kg girl is sitting at the left end, and a 60 kg woman is sitting on the right. The seesaw is supported by a central fulcrum. A ruler below the seesaw shows distances in meters, ranging from 0 to 2 on both sides. On the right side, there are three control panels: 'Show' with checkboxes for 'Mass Labels' (checked), 'Forces from Objects' (checked), and 'Level' (unchecked); 'Position' with radio buttons for 'None', 'Rulers' (selected), and 'Marks'; and 'People' with two character icons labeled '30 kg' and '60 kg'. At the bottom, there is a navigation bar with icons for 'Intro', 'Balance Lab', and 'Game', along with a home icon and the PhET logo. The Windows taskbar is visible at the very bottom, showing the time as 12:00 on 8/11/2019.



3) Hefbomen

- Het moment van een kracht kent talrijke toepassingen.

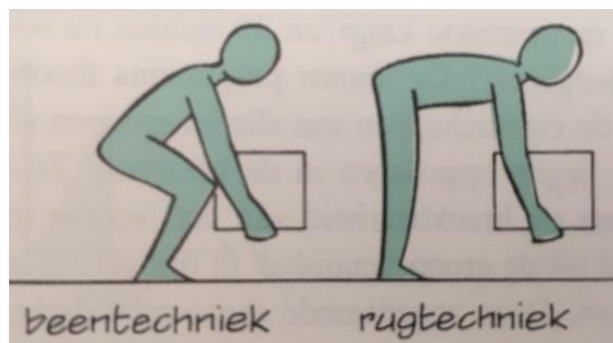
Zo zal je bij een Engelse sleutel minder kracht moeten uitoefenen om bv. een moer of een bout los te krijgen naarmate de arm (het handvat) langer is.



Zo is het effect van een kracht die een wielrenner uitoefent op de pedalen het grootst als de trapstangen horizontaal staan. In dat geval is de krachtarm maximaal. Als de trapstangen verticaal staan ga je zelf door wat men een "dood punt" noemt. Dan is de krachtarm nul. Dit is ook het ogenblik waarop je op een zeer steile helling zal omvallen met je fiets omdat je heel vermoeid bent en geen voldoende grote kracht meer kan uitoefenen.

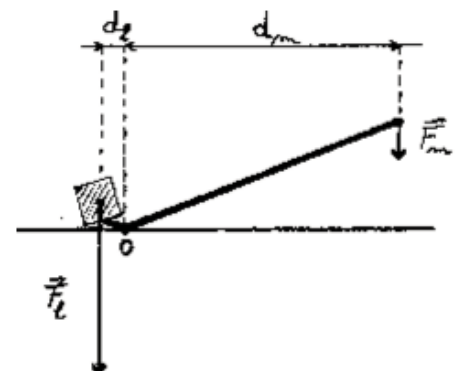


Als je een zware krat moet opheffen, dan doe je dat best door de krat zo dicht mogelijk bij je lichaam te houden i.p.v. dit te doen met gestrekte of gekromde rug. De kracht die je nodig hebt in beide gevallen is wel even groot. Maar met je rug heb je een langere krachtarm en is het moment van de kracht dus groter. Dit kan op de lange duur leiden tot rugblessures.



- Bij een hefboom heb je nu de kracht die je zelf uitoefent en de kracht die de hefboom uitoefent. We spreken van de macht (F_m) en last (F_l) en bijhorende machtsarm (d_m) en lastarm (d_l).

Hoe groter de machtsarm (d_m) is in vergelijking met de lastarm (d_l) hoe minder kracht je zelf moet uitoefenen om de last op te tillen of hoe groter de last die je kan optillen met de maximale kracht die jij kan leveren



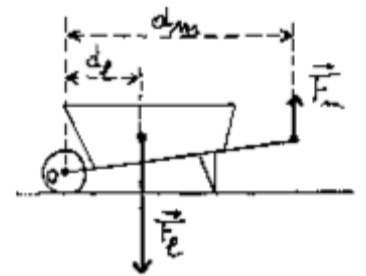
- Opmerking 1 voor de leraar.
Een kwantitatieve behandeling zoals hoger is misschien niet weggelegd voor alle leerlingen. Eventueel kan je die kwantitatieve behandeling enkel gebruiken bij die leerlingen die een uitdaging nodig hebben.
- Opmerking 2 voor de leraar.
Hou er wel rekening mee dat de krachtarm steeds loodrecht op de kracht moet gemeten worden. Zo niet komt er hoekafhankelijkheid bij kijken en dat is hier niet aangewezen.

4) Soorten hefboomen

Afhankelijk van de onderlinge plaats van het steunpunt (O/S), de macht (M) en de last (L) kunnen we 3 soorten hefboomen onderscheiden.

Het steunpunt in het midden: MOL of MSL

Bij een koevoet oefen je met je hand een kleine macht uit met een lange machstarm, waardoor je met het andere korte deel (= kleine lastarm) een grote last verkrijgt die een spijker of een plank van een kist kan losmaken.

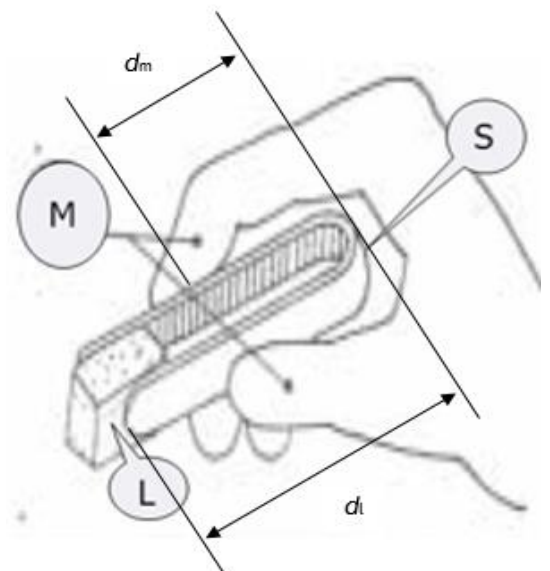


De last in het midden: OLM of SLM

Bij een kruiwagen oefen je op de handvaten een kleinere macht met een lange machtsarm uit, terwijl de kruiwagen en zijn inhoud een grotere last hebben maar met een kleinere lastarm.

De macht in het midden: OML of SML

Hier is de machstarm kleiner dan de lastarm. De macht die je moet uitoefenen is dus kleiner dan de last. Dit is hier echter geen nadeel, aangezien je dan niet het risico loopt het suikerklontje kapot te knijpen. Daarenboven verkrijg je door een kleine beweging van duim en wijsvinger een grotere verplaatsing van de uiteinden van de suikertang.



5) Hefbomen in het menselijk lichaam

De skeletspieren van het spierstelsel en de beenderen van het skelet zorgen ervoor dat het lichaam in staat is om krachten uit te oefenen. De spieren en de beenderen doen dit door hefboomen in te zetten.

Hefbomen maken gebruik van een draaipunt, last, lastarm, macht en machtsarm.

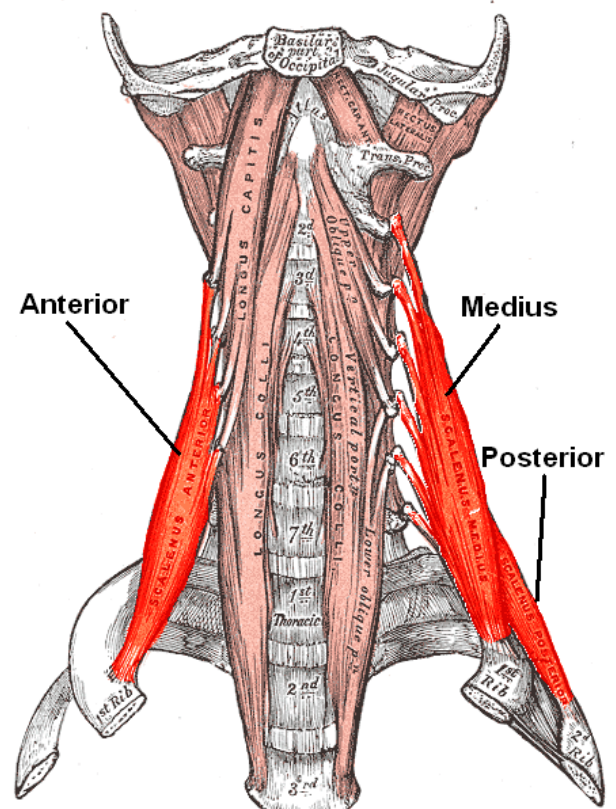
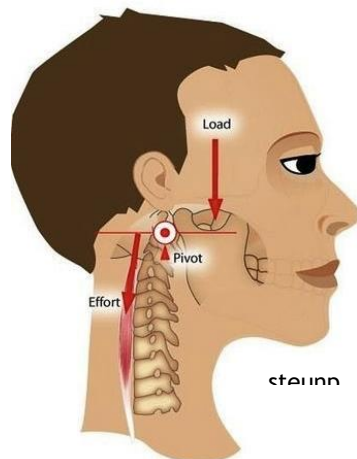
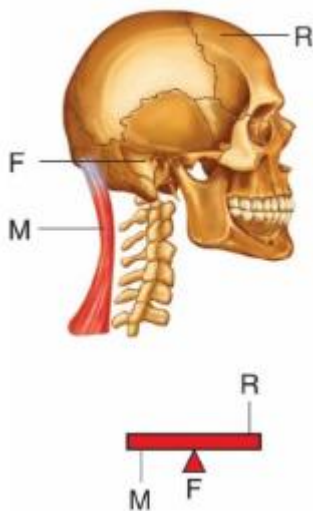
Een hefboom kan een krachts- of afstandsvergroter zijn. De eerste twee types zijn krachtvergroeters. Het 3^{de} type is een afstandsvergroter.

<https://wetenschap.infonu.nl/anatomie/135194-spiere-hefbomen-en-kracht.html>

Draaipunt in het midden

De spieren die aanhechten op de achterzijde van de schedel samen met het gewricht tussen schedel en atlas is een voorbeeld van een hefboom met draaipunt in het midden.

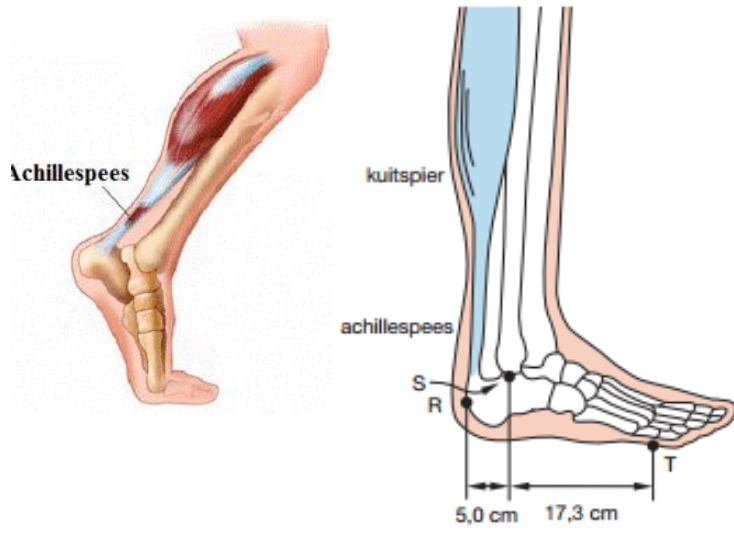
De atlas is de bovenste rugwervel, die men aanduidt als C1. Op de atlas rust het hoofd.



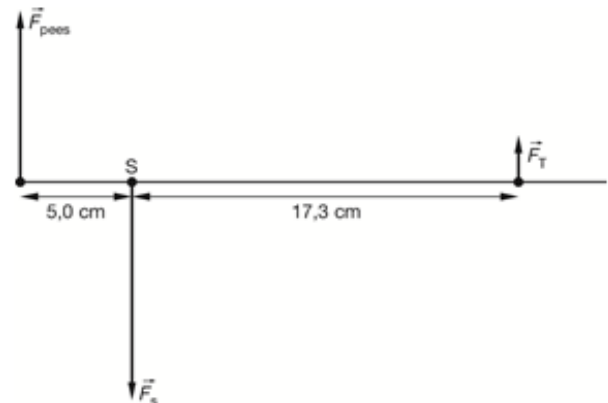
Last in het midden

De kracht die Achillespees op het draaipunt van de voorvoet uitoefent, is een voorbeeld van een hefboom met macht in het midden.

De achillespees die het hielbeen tijdens het lopen omhoogtrekt. Als de hak loskomt van de grond, oefent de kuitspier via de achillespees de macht uit. De last is het gewicht van het lichaam van de loper. Het draaipunt is het contactpunt van de voorvoet met de bodem.



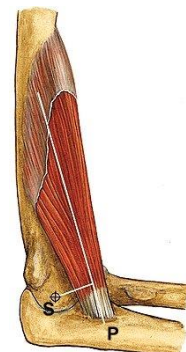
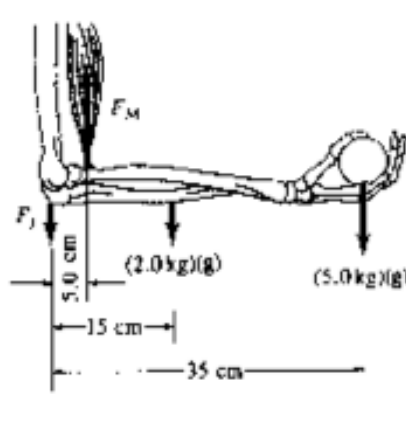
Hier zie je een voorstelling van hoe de hefboom in de voet werkt.



Macht in het midden

Bij de biceps hebben we te maken met een hefboom met macht in het midden. Dat is dus een afstandsvergroter.

De machtsarm is bv. maar 5,0 cm terwijl zowel de onderarm zelf en het voorwerp in je hand voor de last zorgen. De macht is dus aanzienlijk groter dan de last. Dit lijkt niet zo interessant, maar is toch te verklaren doordat spieren maar enkele cm kunnen samentrekken. Met een kleine samentrekking van de biceps, krijg je toch een verplaatsing over een grotere afstand. Merk ook op dat de figuur hierboven links niet helemaal klopt aangezien de biceps in werkelijkheid niet loodrecht op de onderarm staat. Zie hiervoor de figuur hieronder rechts.



De kracht op de biceps is dus nogal groot in vergelijking met de last (onderarm + voorwerp) die moet opgetild worden.

We kunnen dit berekenen met de momentenbalans:

$$F_{biceps} \cdot d_{biceps} = F_{onderarm} \cdot d_{onderarm} + F_{voorwerp} \cdot d_{voorwerp}$$

$$F_{biceps} \cdot 5,0 \text{ cm} = 2,0 \text{ kg} \cdot g \cdot 15 \text{ cm} + 5,0 \text{ kg} \cdot g \cdot 35 \text{ cm}$$

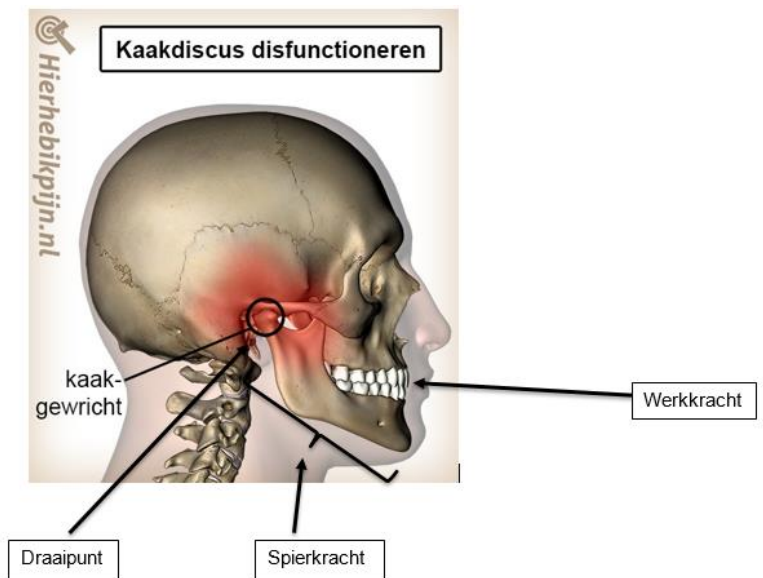
$$F_{biceps} = \frac{2,0 \text{ kg} \cdot g \cdot 15 \text{ cm} + 5,0 \text{ kg} \cdot g \cdot 35 \text{ cm}}{5,0 \text{ cm}}$$

$$F_{biceps} = 2,0 \text{ kg} \cdot g \cdot 3 + 5,0 \text{ kg} \cdot g \cdot 7 = 402 \text{ N}$$

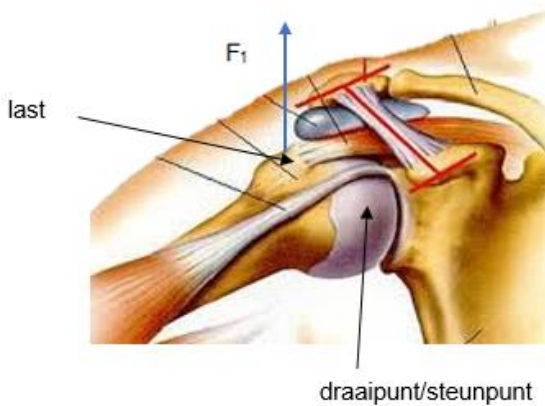
Dit komt neer op een massa van 41 kg.

De kaakspieren oefenen een kracht uit op de onderkaak. De last komt overeen met de werkkraft ter hoogte van de tanden als we kauwen.

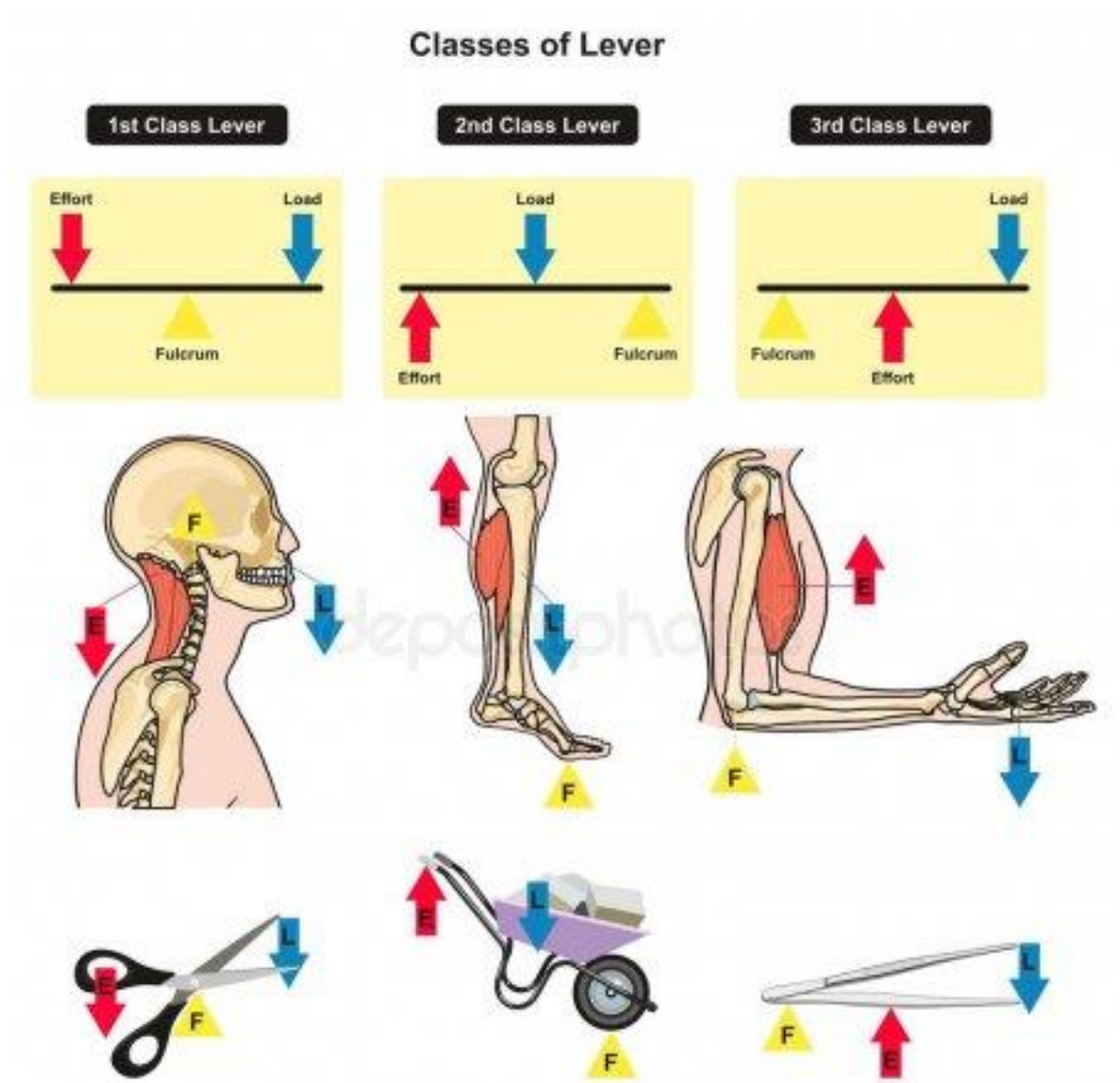
Ook hier ligt de macht tussen het draaipunt en de last.



Een volgend voorbeeld van een hefboom met een macht in het midden is het schoudergewricht. Hou je je arm zijdelings naast je gestrekt omhoog, dan maak je gebruik van de spieren in je schouder om je arm omhoog te houden. De kracht uitgeoefend door schouder spier bevindt zich tussen het draaipunt en de last. De spier hangt vast aan de bovenarm juist naast het draaipunt.



In deze figuur vind je een samenvatting van de 3 soorten hefboomen, telkens met een voorbeeld uit het dagelijks leven en een voorbeeld in het menselijk lichaam.



Een interessante website over hefboomen en anatomie vind je via <http://www.10voorbiologie.nl/index.php?cat=2&id=229&thm=102>

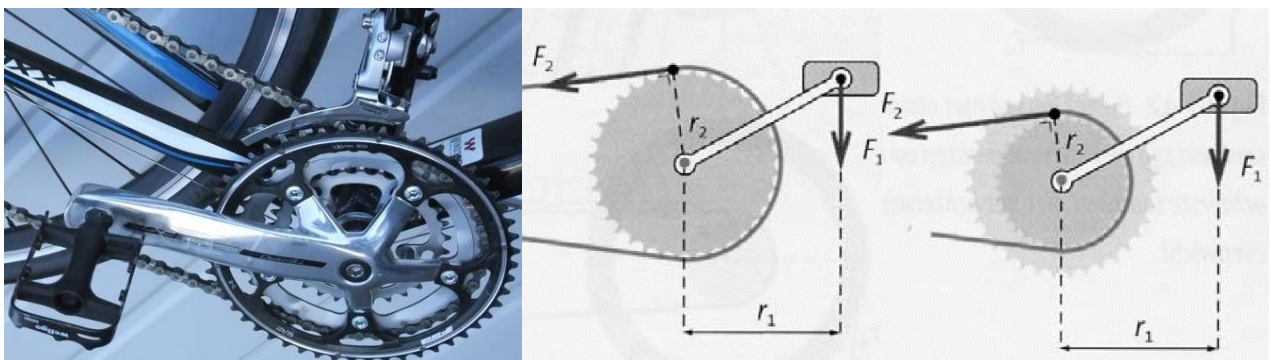
Krachtsmoment bij fietsen

Wielrenners hebben de mogelijkheid om tijdens het fietsen de hefboom te veranderen door een ander verzet te schakelen.

Bij wielrennen is er sprake van twee draaibewegingen: de trappers en de wielen met daartussen een ketting. We kijken eerst naar de trappers en het kettingwiel.

I. Trappers en kettingwiel

Het kettingwiel en de trappers draaien om de trapas, en daardoor wordt de kracht van de voet op het pedaal omgezet in een kracht van het kettingwiel op de ketting. Als een wielrenner de ketting van het grote blad naar het kleine blad schakelt dan veranderen zowel de trapkracht als het tempo waarmee hij zijn benen beweegt. De wielrenner wil met dezelfde snelheid blijven fietsen.



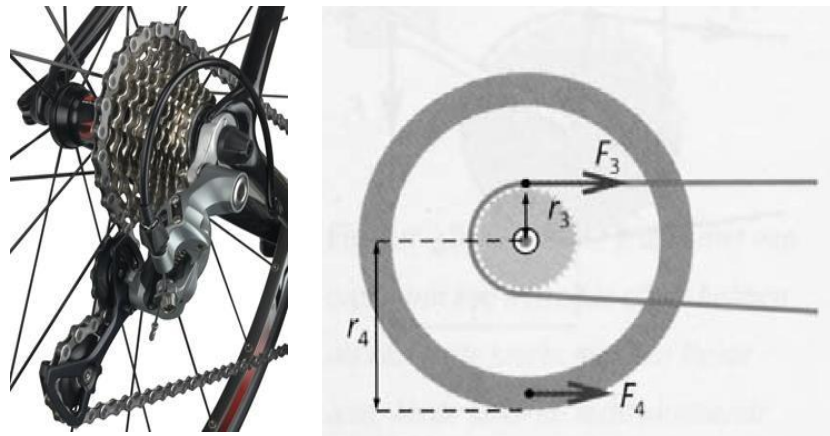
- ✓ Wat is het effect van het schakelen naar het kleine blad? Waarom?
- ✓ Wat zou er gebeuren als de wielrenner met dezelfde kracht blijft trappen als bij het grote blad?

Bij het tekenen van de krachten is wel iets merkwaardigs aan de hand. Je zou verwachten dat de kracht op de ketting naar rechts is gericht, de hefboom zet immers de kracht op de trappers om in een kracht op de ketting.

In de fysica tekenen we liever de kracht van de ketting (spankracht) op het kettingwiel. Anders zouden beide krachten in dezelfde richting draaien.

II. Achterwiel

Bij een fiets wordt de trapkracht via twee draaibewegingen overgebracht op de weg. Die draaibewegingen zijn met elkaar verbonden door een ketting.



De ketting oefent een kracht uit op het tandwiel, en door de hefboom wordt die kracht omgezet in een kracht op de weg. (In de tekening is niet de kracht op de weg getekend, maar de even grote kracht van de weg op het wiel).

- ✓ Wat is het effect van deze hefboom?
- ✓ Is de kracht op de weg groter of kleiner dan de kracht van de ketting?

De wielrenner schakelt over op een kleiner tandwiel achter. Hij blijft even hard trappen, dus de spankracht van de ketting blijft gelijk.

- ✓ Wat zal er nu gebeuren?

Een wielrenner zal in de bergen een ander tandwiel kiezen dan in de sprint.

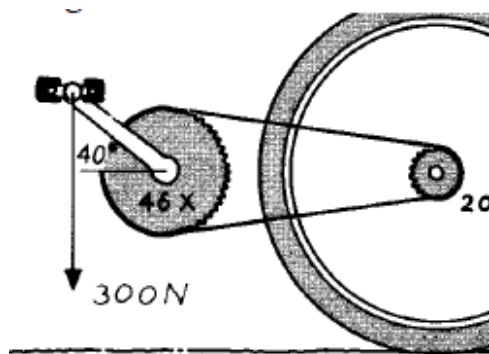
- ✓ Welk tandwiel gebruikt een wielrenner in de bergen? Waarom?
- ✓ Welk tandwiel gebruikt een wielrenner in de sprint? Waarom?

Opmerking:

Een website over het ovalen voorste tandwiel van een racefiets, dat mogelijk zou maken om sneller te rijden, kan je raadplegen via http://www.fietsica.be/he_dode_punt_omzeilen.htm

Oefeningen

1. Bij een fiets wordt de kracht F_{trap} die je op de trappers uitvoert eerst omgezet in een spankracht in de ketting $F_{ketting}$. Daardoor gaat het achterwiel draaien, waarbij de kracht van het wiel op de weg voor de voorwaartse kracht F_v zorgt.



In de situatie van de tekening wordt een trapkracht van 300 N verticaal op de trapper uitgeoefend. De trapper en het voorste tandwiel vormen één geheel.

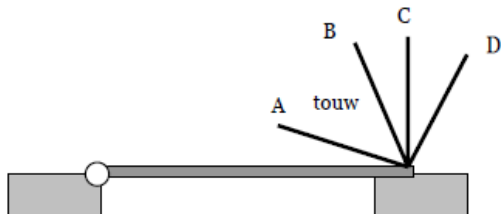
- a. Welk deel van de ketting wordt tijdens het trappen strak gespannen?
- b. Teken de spankracht van de ketting op het voorste tandwiel, en geef bij beide krachten de armen aan.
- c. Is de spankracht $F_{ketting}$ groter, kleiner of gelijk aan de trapkracht F_{trap} ?
Leg uit met behulp van momenten.
- d. Bij een mountainbike is het kleinste tandwiel van het voorblad veel kleiner dan bij een gewone fiets met versnellingen. Leg uit dat de ketting dan ook veel sterker moet zijn.

2. Yentle houdt in ruglig beide benen samen omhoog van de grond. Aanvankelijk houdt ze de benen loodrecht omhoog, vervolgens houdt ze de benen gestrekt, enkele cm boven de grond.

Waarom is dit laatste veel zwaarder om vol te houden? Verklaar wetenschappelijk.



3. Simon wil met behulp van een touw aan het uiteinde van het luik openen. Daarbij kan hij in verschillende richtingen te trekken.
- a. In welke richting (A, B, C of D) kost het hem de minste kracht om het luik op te tillen als het luik nog dicht is? In welke richting is de kracht het grootst? Verklaar je antwoorden.



- b. In welke richting (A, B, C of D) kost het hem de minste kracht om het luik op te tillen als het luik gedeeltelijk geopend is?

