Nieuwe Natuurkunde

Wisselwerking & Beweging

5 VWO – hoofdstuk 5
Grenzen aan de mogelijkheden

Lesplanning

In de lesplanning is een verdeling gemaakt in klassikale activiteiten, groepswerk en individuele opdrachten (of huiswerk).

les	datum	kern/keus	Onderwerp	klassikaal/ groepswerk	opdrachten huiswerk
1		keuze	1.1 Inleiding	1 t/m 5	6
2		kern	2.1 Kracht, energie en arbeid	7, 8, 9	10, 11, 12
3		kern	2.2 Kracht en richting	13 t/m 16	17 t/m 20
4		keuze	2.3 De fiets en de roeiboot	21 t/m 24	25, 26
5		keuze	Afronden hefbomen en arbeid		
6		kern	3.1 Sportprestaties en energieverbruik	27 t/m 30	31
7		keuze	3.2 Verschillen in topsnelheid	32 t/m 35	36
8		keuze	3.3 Extra: Je eigen vermogen meten		37
9		keuze	3.4 Hoe hard kun je op ‘menskracht’?	38, 39	40, 41
10		kern	3.5 Tegen een berg op	42, 43, 44	45 (46)
11		keuze	Afronden Vermogen en snelheid		
12		kern	4.1 Besparen door ‘Het nieuwe rijden’	47 t/m 50	51, 52
13		kern	4.2 Besparen in de bebouwde kom	53 t/m 56	57
14		keuze	4.3 Is zonne-energie een alternatief?	58, 59	
15		keuze	Afronden brandstof besparen		

Inhoud

NiNa – Nieuwe Natuurkunde
Wisselwerking & Beweging
VWO
5 Grenzen aan de mogelijkheden

1 Inleiding

1.1 Mechanica - grenzen aan de mogelijkheden

Wat gaan we doen?

Mechanica gaat over het beschrijven en verklaren van de bewegingen van voorwerpen onder invloed van krachten. Daarmee kun je een groot aantal situaties in de sport, het verkeer en technisch en wetenschappelijk onderzoek beter begrijpen en verklaren.

Maar daarmee is de mechanica niet af. In veel situaties merk je dat we aanvullende begrippen nodig hebben, zoals *energie*, *vermogen*, *impuls* en *arbeid*. Wellicht heb je die woorden al eens gehoord: het zijn de hoofdbegrippen in de komende hoofdstukken. In deze introductie zijn de centrale vragen:

- *Welke situaties kun je met het krachtbegrip niet (helemaal) begrijpen?*
- *Wat heb je aan mechanica als je de prestaties in die situaties wilt verbeteren?*

In deze introductie bekijken we enkele situaties waarin voorwerpen bewegen onder invloed van krachten. Maar met alleen het krachtbegrip lukt het niet om de situatie volledig te begrijpen. Deze inleiding geeft een beeld van wat je aan die begrippen hebt, en welk type vraagstuk je er mee op kunt lossen.

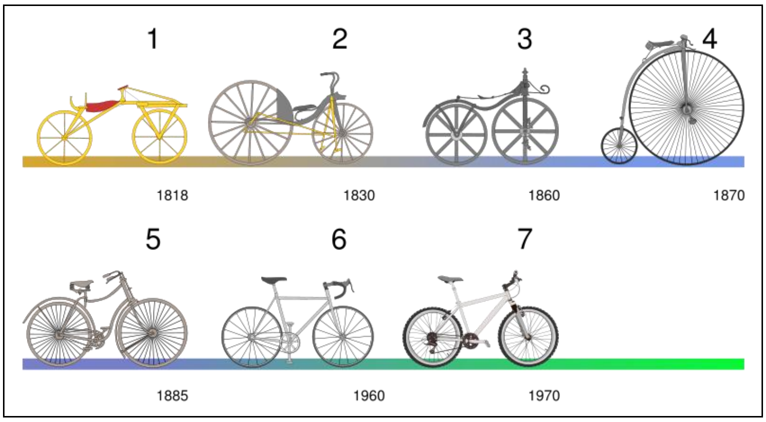
Vijf praktijksituaties – kies er één

Hieronder volgen vijf opdrachten. Vorm een groepje en kies er één uit om te beantwoorden. Verdeel de opdrachten over de klas en vergelijk de antwoorden.

1 Grenzen van de voortbeweging op spierkracht

De fiets is in de loop van de jaren sterk veranderd. Op welke manier zorgen die veranderingen van fiets nu eigenlijk voor die verbeterde prestatie?

Figuur 1 – Bij een tijdritfiets is al het mogelijke gedaan om een maximale prestatie te leveren



Figuur 2 - De geschiedenis van de ontwikkeling van de fiets/

Ontwikkeling van de fiets (fig 2).
http://nl.wikipedia.org/wiki/Fiets
1: Karl von Drais (Duitsland),
2: Thomas McCall (Schotland),
3: Piere Llallement (Frankrijk),
4: James Starley (Frankrijk),
5: John Kemp Starley (Engeland),
6: Racefiets (USA),
7: Mountain Bike (USA)

De eerste fiets (de loopfiets of draisine, afb. 1 en 2) heeft alleen wielen en een zadel. De vélocipède of bicyclette (afb. 3 en 4) heeft trappers maar geen ketting.

a. Leg kort uit hoe trappers voor een prestatieverbetering zorgen.

b. Leg kort uit hoe een ketting (afb. 5) voor een prestatieverbetering zorgt.

c. Een racefiets heeft een racestuur en versnellingen. Leg kort uit hoe deze veranderingen voor een prestatieverbetering zorgen.

d. Met alleen de begrippen kracht en snelheid kun je de voorgaande vragen niet volledig beantwoorden. Ken je al andere begrippen uit de mechanica die je daarvoor nodig hebt? Zo ja, noem en beschrijf die dan zo precies mogelijk, in je eigen woorden.

e. De uitvinders van de fiets hadden natuurlijk technische kennis nodig om de fiets te bouwen, maar om de prestaties te verbeteren hadden ze ook verstand van mechanica nodig. Welke rol speelde hun mechanica kennis volgens jou in de ontwikkeling van de fiets?

f. Welke andere situaties kun je bedenken waarin de combinatie van techniek en mechanica tot prestatieverbetering kan leiden?

2 Grenzen van het menselijk lichaam

Mensen met een lichamelijke handicap komen voortdurend situaties tegen die hun bewegingsvrijheid beperken maar door mensen zonder handicap niet eens worden opgemerkt. Bedenk maar welke hindernissen iemand tegenkomt die zijn benen niet kan gebruiken, als die boodschappen wil doen, naar het zwembad gaat, een bad neemt, of een treinreis wil maken.

Figuur 2. Hindernissen bij lichamelijke beperkingen en mechanische oplossingen daarvoor.

Veel van de hindernissen hebben te maken met kracht en beweging: met een rolstoel vormen drempels en verhoogde ingangen (ook die van de trein) onneembare obstakels, en klim je een (zwem)bad niet zomaar in of uit.

a. Figuur 2 laat enkele oplossingen zien die zijn ontwikkeld: rolstoel, (zwem)badlift, helling. Ook zonder mechanica kun je al wel begrijpen hoe die ongeveer werken. Beschrijf kort hoe een rolstoel, een badlift en een helling werken.

b. Een lichamelijke handicap is vaak een kwestie van geen (of onvoldoende) kracht, in ons voorbeeld kracht ‘in de benen’. Maar om de kwaliteit van leven te verbeteren heb je vaak aan het krachtbegrip niet voldoende. Ken je al andere begrippen uit de mechanica die je daarbij nodig hebt? Zo ja, noem en beschrijf die dan zo precies mogelijk, in je eigen woorden.

c. Bij het ontwikkelen van deze hulpmiddelen is niet alleen technische bekwaamheid (om het apparaat te bouwen) van belang. Welke rol speelde kennis van de mechanica volgens jou in de ontwikkeling van deze hulpmiddelen?

d. Welke andere situaties kun je bedenken waarin de combinatie van techniek en mechanica tot prestatieverbetering kan leiden?

3 Grenzen van de pret

Pretparken staan vol apparaten die gebruik maken van kracht en beweging: in figuur 3 de Halve Maan, Python en Bobbaan van de Efteling. Maar hoe zorg je voor de optimale prestatie, d.w.z. een beweging die zo spannend mogelijk is en toch veilig blijft?

Figuur 3. Attracties in de Efteling: de Halve Maan, Python en Bobsleebaan.

a. Met de mechanica die je tot nu toe gehad hebt kun je al begrijpen hoe er bij verschillende toestellen voor wordt gezorgd dat snelheden en krachten binnen de perken blijven. Beschrijf (enkele van) de maatregelen die daartoe genomen zijn, en de effecten daarvan.

b. De maximale snelheden zijn 54 km/h voor de Halve Maan, 85 km/h voor de Python en 60 km/h voor de Bobbaan. Om die maximale snelheden te bepalen hoef je niet de hele beweging in detail te beschrijven, dat kan eenvoudiger. Weet je al welke begrippen uit de mechanica je daarbij nodig hebt? Zo ja, noem ze en beschrijf ze in je eigen woorden.

c. Bij het ontwikkelen van pretpark attracties komt niet alleen technische bekwaamheid (om het apparaat te bouwen) kijken. Welke rol speelde kennis van de mechanica volgens jou in de ontwikkeling van deze attracties?

d. Welke andere situaties kun je bedenken waarin de combinatie van techniek en mechanica tot prestatieverbetering kan leiden?

4 Grenzen van het milieu

De verbranding van fossiele brandstoffen draagt in grote mate bij aan de uitstoot van koolstofdioxide (CO_2), een van de belangrijkste stoffen die verantwoordelijk zijn voor het versnelde broeikaseffect. We zullen dus veel zuiniger met die fossiele brandstoffen moeten omgaan als we de opwarming van de Aarde willen vertragen. Maar voor onze economische ontwikkeling zijn we afhankelijk van intensief verkeer. Zuiniger met brandstof omgaan zonder afname van mobiliteit kan alleen als vervoersmiddelen meer kilometers halen uit een liter brandstof.

Figuur 4. Zuinig met fossiele brandstof: boot, 'auto', vliegtuig.

a. Met de mechanica die je tot nu toe gehad hebt kun je al begrijpen hoe er bij verschillende vervoermiddelen op gebruik van fossiele brandstof kan worden bespaard. Figuur 4 laat enkele voorbeelden zien. Beschrijf enkele van de maatregelen die leiden tot vermindering van het gebruik van fossiele brandstof bij het transport van mensen en goederen.

b. Als het gaat over (verminderen van) brandstofverbruik gaat het over de beweging van transportmiddelen, maar komt het begrip 'kracht' vaak niet ter sprake. Weet je welke begrippen uit de mechanica dan het meest van belang zijn? Zo ja, noem ze en beschrijf ze in je eigen woorden.

c. Bij het ontwikkelen van transportmiddelen die zuiniger met brandstof omgaan komt niet alleen technische bekwaamheid (om het apparaat te bouwen) kijken. Welke rol speelt kennis van de mechanica volgens jou in de ontwikkeling van die transportmiddelen?

d. Welke andere situaties kun je bedenken waarin de combinatie van techniek en mechanica tot prestatieverbetering kan leiden?

5 Grenzen van de Aarde

Om aan de grenzen van de Aarde te ontsnappen moet je omhoog, de ruimte in. Maar kan dat wel? De Saturnus V raket waarmee de maanreizen werden ondernomen (figuur 5) was 110 m hoog en had bij de lancering een massa van 3 miljoen kilogram. De planeet Mars is 250 keer verder weg dan de Maan. Kan er wel een raket gebouwd worden om mensen naar Mars te brengen?

Figuur 5. Saturn V, gebruikt voor bemande vluchten naar de Maan.

a. Ook zonder meer mechanica te leren is wel duidelijk dat een raket die 250 keer groter is dan de Saturnus V onmogelijk gebouwd kan worden. Welke maatregelen zou je kunnen nemen om het maken van de reis toch mogelijk te maken?

b. Hoe wordt een raket eigenlijk aangedreven? Vervoermiddelen op Aarde gebruiken allemaal een afzetpunt om zich tegen af te duwen. Waartegen kan een raket in de ruimte zich afzetten? Beschrijf hoe een raketaandrijving werkt. Gebruik je daarbij ook andere begrippen uit de mechanica dan kracht? Zo ja, noem ze en beschrijf ze in je eigen woorden.

c. Bij het ontwikkelen van de ruimtevaart komt niet alleen technische bekwaamheid kijken (om de raket te bouwen). Welke rol speelt kennis van de mechanica volgens jou in die ontwikkeling?

d. Welke andere situaties kun je bedenken waarin de combinatie van techniek en mechanica tot prestatieverbetering kan leiden?

6 Terugblik

Bij deze inleiding waren de twee centrale vragen:

- *Welke situaties kun je met het krachtbegrip niet (helemaal) begrijpen?*
- *Wat heb je aan mechanica als je de prestaties in die situaties wilt verbeteren?*

Vergelijk de vijf praktijksituaties met elkaar. Welke overeenkomsten en verschillen zie je? Hoe zou je de prestaties kunnen verbeteren?

a. Met welke (nieuwe) begrippen zou je deze situaties beter kunnen begrijpen?

Vooruitblik

De voorgaande opdrachten geven een globaal overzicht van onderwerpen die aan de orde zullen komen in het vervolg. Zo zijn er nogal wat situaties waar je bijvoorbeeld de aanwezige kracht wilt vergroten, zoals in opdrachten 1 en 2. Voor het vergroten van een kracht kun je een *hefboom* gebruiken. Om de werking van een hefboom zijn de begrippen *arbeid* en *arm (van de kracht)* heel bruikbaar. Hefbomen komen in hoofdstuk 2 aan de orde.

Om die grenzen te begrijpen (en ze verder te verleggen) blijkt dan ook het begrip *vermogen* vaak belangrijker te zijn dan kracht. In hoofdstuk 3 leer je dat het geleverde vermogen in de sport gezien kan worden als de inspanning die door de sporter op een bepaald moment geleverd wordt. Nauw daaraan verwant is het begrip *energie,* te begrijpen als de totale inspanning die geleverd wordt (bijvoorbeeld tijdens de hele wedstrijd). In hoofdstuk 3 wordt besproken, hoe de begrippen vermogen en energie bruikbaar zijn bij het onderzoeken van topprestaties in diverse sporten.

Kracht en energie zijn nauw verwant aan elkaar: voor het overdragen van energie is een kracht nodig. Bij sommige problemen (zoals in opdracht 3) is het eenvoudiger te bepalen wat het eindresultaat is door uit te gaan van energie, en niet van kracht. Daarbij is het centrale idee: energie kan in allerlei vormen voorkomen, en die vorm kan veranderen, maar de totale hoeveelheid energie blijft altijd gelijk. De uitwerking van dat idee staat centraal in alle hoofdstukken.

Inzicht in het begrip energie is bruikbaar bij discussies in onze maatschappij. ‘Zuinig omgaan met energie’, het onderwerp van opdracht 4, is daarbij vaak het centrale thema. In hoofdstuk 4 wordt dat enigszins uitgewerkt. Daarbij blijken de begrippen vermogen en energie ook van toepassing in situaties die niet met lichamelijke inspanningen van doen hebben.

Ten slotte heeft niet alleen het begrip kracht zijn beperkingen, dat geldt ook voor het begrip energie. Als illustratie daarvan komt in hoofdstuk 5 nog het begrip *impuls* aan de orde. Opnieuw geldt: een aanpak op basis van krachten is in principe altijd juist, en een aanpak op basis van het begrip energie ook. Maar als die wijzen van aanpak erg ingewikkeld worden loont het soms de moeite nog weer een ander begrip te gebruiken.

Newton beschreef *impuls* als de hoeveelheid beweging van een voorwerp. Impuls is bijvoorbeeld een handig begrip als je botsingen of explosies wilt beschrijven. Dat wordt in hoofdstuk 5 bekeken aan de hand van de aandrijving van raketten: dat is immers in principe een beheerste explosie.

De centrale vragen voor dit hoofdstuk worden daarmee:

1. Welke rol speelt het begrip ‘energie’ bij het vinden van de grenzen aan de mogelijkheden?

2. Hoe kun je met mechanica die grenzen verleggen, en prestaties in de sport, het verkeer en de techniek verbeteren?

2 Hefbomen en krachtoverbrenging

2.1 Kracht, energie en arbeid

Nieuwe begrippen in deze paragraaf

Krachtoverbrenging
Katrol, takel
Hefboomwet
Draaipunt en arm
Moment van een kracht
Arbeid
Energie-omzetter

Wat gaan we doen?

Hefbomen, katrollen en andere apparaten voor krachtoverbrenging worden gebruikt om een kracht te vergroten of te verkleinen. Om iets in beweging te brengen is niet allen kracht maar ook energie nodig. Wat gebeurt er bij dergelijke apparaten met de energie?

In deze paragraaf zijn de centrale vragen:

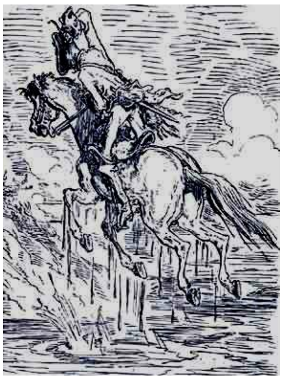
- *Hoe kun je met een apparaat de kracht veranderen?*
- *Wat gebeurt er met energie en arbeid bij krachtoverbrenging?*

Krachtoverbrenging en energie

Bij hefbomen en katrollen kun je gebruik maken van de *hefboomwet* om de krachten te berekenen. Een andere manier om naar dergelijke situaties te kijken is door gebruik te maken van de begrippen arbeid en energie.

7 Startprobleem: Jezelf omhoog tillen

In de verhalen van Baron von Münschausen bevrijdt hij zichzelf én zijn paard uit een moeras door heel hard aan zijn eigen haren te trekken. Met een beetje natuurkunde is snel in te zien dat zoiets onmogelijk is.



Figuur 6 - Baron von Münchhausen trekt zichzelf met paard uit het moeras.

Figuur 7 - Langs een klimwand kun je jezelf aan een katrol omhoog trekken.

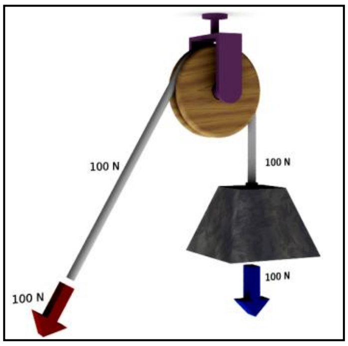
Bij een klimwand kun je jezelf wèl makkelijk omhoog trekken aan het touw dat normaal gesproken voor de veiligheid wordt vastgehouden door iemand die op de grond staat. Dat gaat bovendien veel makkelijker dan wanneer je door de persoon op de grond omhoog getrokken wordt.

Het veiligheidstouw loopt via een katrol naar beneden. De zwaartekracht op de persoon die aan het touw hangt is 800 N.

a. Hoe groot is de kracht waarmee een persoon die op de grond staat moet trekken? Leg uit.

b. Kun je met de hefboomwet uitleggen waarom de persoon die aan het touw hangt minder kracht nodig heeft dan de persoon op de grond?

c. Hoe zou je in deze situatie arbeid of energie kunnen gebruiken?



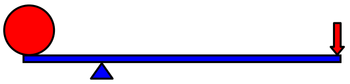
Figuur 8 – Een katrol

Plan van aanpak

De situatie van de klimwand is te complex om snel op te kunnen lossen. Het plan van aanpak bestaat uit:

- Hoe kun je hefboomwet gebruiken in zulke situaties?
- Wat geldt in deze situaties voor arbeid en energie?
- Hoe kun je arbeid en energie gebruiken bij krachtoverbrenging?

Herhaling - Hefboom en kracht



Figuur 9 – Een hefboom bestaat uit een draaipunt en twee krachten.

Een hefboom bestaat uit een *draaipunt* en twee *krachten*. De afstand tussen de kracht en het draaipunt wordt de *arm* van de kracht genoemd. Voor de krachtoverbrenging geldt de *hefboomwet:*

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

De krachtoverbrenging wordt bepaald door de verhouding van de twee armen.

8 Oriëntatie op krachtoverbrengingen

In de onderstaande situaties is steeds sprake van sprake van een 'hulpmiddel' dat de grootte of richting van een kracht kan veranderen.

a. In welke situaties is er sprake van een hefboom? Geef daarbij het draaipunt en het aangrijpingspunt van de krachten aan.

b. Maak bij de hefbomen een schatting van de *verhouding* van de armen.

Figuur 9 – Krachtoverbrengingen

c. In welke situaties is de krachtoverbrenging op een andere manier te bepalen?

Herhaling - De hefboomwet

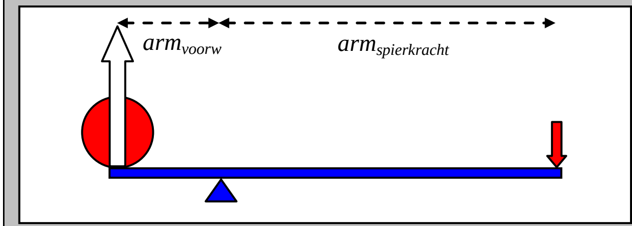
Bij hefbomen is in de meeste gevallen sprake van één *draaipunt* en twee *krachten*. De afstand van de kracht tot het draaipunt noemen we de *arm* van de kracht. Met de hefboomwet kun je uitrekenen hoe bijvoorbeeld de spierkracht omgezet wordt in een kracht op het voorwerp:

$$(kracht \times arm)_{spier} = (kracht \times arm)_{voorwerp}$$

Met symbolen wordt dit geschreven als:

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

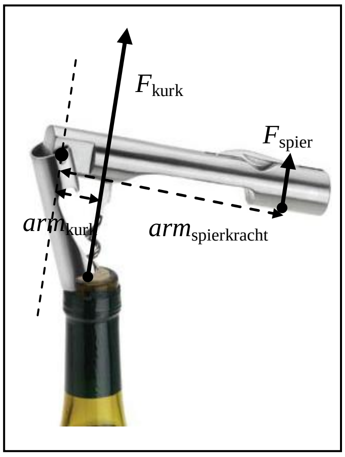
Hierbij is *r* de arm van de kracht, gemeten loodrecht op de richting van de kracht, zie de twee voorbeelden in figuur 10 en 11.



Figuur 10 – Voorbeeld van een hefboom

Moment van een kracht

Het product $F \cdot r$ wordt ook wel het *moment* van een kracht genoemd. Het wordt bijvoorbeeld gebruikt om aan te geven hoe sterk bouten moeten worden aangedraaid.



Figuur 11 – Bij deze kurkentrekker wordt de spierkracht omgezet in een grotere kracht op de kurk.

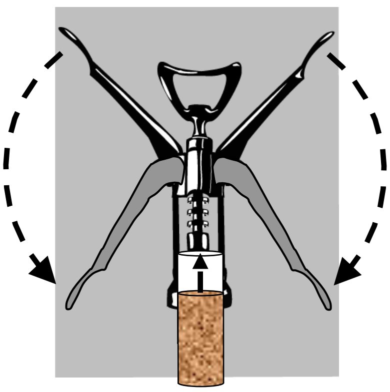
Energie, arbeid en beweging

Voor het in beweging brengen van voorwerpen is niet alleen kracht nodig, maar ook energie. Een hefboom is dus ook een energie-omzetter, bijvoorbeeld van spierenergie naar beweging (bij een roeier). Daarbij geldt de *wet van behoud van energie*. Alle energie die er aan de ene kant in wordt gestopt komt er aan de andere kant weer uit (afgezien van verlies door wrijving binnen de omzetter).

De energie die door een kracht wordt omgezet wordt ook wel *arbeid* genoemd. De arbeid *W* hangt af van de grootte van de kracht *F* en de afstand *s* waarover het voorwerp wordt verplaatst.

$$W = F \cdot s$$

Arbeid wordt, net als energie, uitgedrukt in joule. Een kracht van 1 newton die een voorwerp over 1 meter verplaatst zet dus 1 joule energie om.



Figuur 12 – Bij een kurkentrekker gaat de kurk maar een klein stukje omhoog. De uiteinden van de armen leggen een veel grotere afstand af.

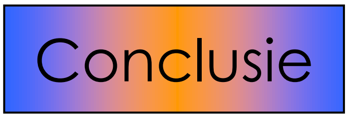
9 Kurkentrekker

Bij sommige hefbomen zoals de kurkentrekker is het lastig om het draaipunt en de armen te bepalen. In die situaties kun je gebruik maken van arbeid en energie. In figuur 12 is te zien dat de verplaatsing van het gedeelte waarop de hand een kracht uitoefent veel groter is dan de afstand waarover de kurk omhoog wordt getrokken.

a. Leg uit hoe je deze afstanden zou kunnen gebruiken om de verhouding te bepalen tussen de krachten van de handen en de kracht op de kurk.

b. Om de kurk uit de fles te trekken is een kracht van 250 N nodig. Bepaal met behulp van de figuur hoe groot de kracht op elk van de uiteinden moet zijn.

c. Kun je nu ook een energie-versie van de hefboomwet opschrijven? Welke vergelijking volgt uit de wet van behoud van energie?



Conclusie

We hebben nu gezien dat:

- Bij hefbomen geldt de hefboomwet $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$
- Een apparaat is een energie-omzetter waarvoor de wet van behoud van energie geldt. De energie die erin wordt gestopt moet er aan de andere kant ook uitkomen.
- Als er geen energieverlies door wrijving is geldt: $W_{in} = W_{uit}$

Hefbomen en arbeid

Als een hefboom gebruikt wordt om iets in beweging te zetten dan wordt daarbij ook arbeid verricht. Als er in de hefboom geen energie verloren gaat (wrijving en verbuiging) dan wordt alle arbeid gebruikt voor de beweging.

Voor de hefboom geldt dan:

$$W_{in} = W_{uit}$$

Dit kan ook geschreven worden als:

$$(kracht \times afstand)_{in} = (kracht \times afstand)_{uit}$$

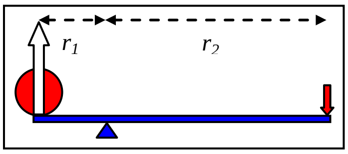
$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

De laatste formule lijkt sterk op de hefboomwet. Bij een hefboom is de verhouding tussen de twee armen gelijk aan de verhouding tussen de twee verplaatsingen.

Opgaven

10 Plank als hefboom

Een hefboom wordt in figuur 13 gebruikt om een voorwerp op te tillen. De zwaartekracht op het voorwerp is 48 N. De massa van de plank mag verwaarloosd worden.



Figuur 13 – Voorbeeld van een hefboom van twee krachten met draaipunt en armen

a. Bepaal de kracht die op het rechter uiteinde van de plank uitgeoefend moet worden met behulp van de hefboomwet.

Met deze hefboom wordt ook arbeid verricht, er is energie nodig om het voorwerp omhoog te tillen. Om de arbeid te kunnen berekenen is ook de verplaatsing nodig.

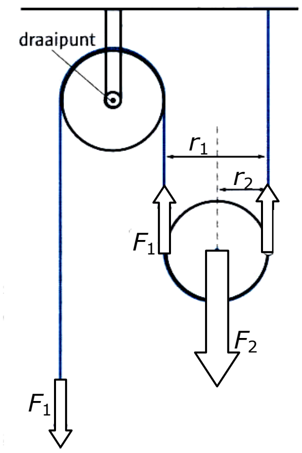
b. Bepaal met behulp van de figuur hoeveel cm het rechter uiteinde naar beneden moet bewegen om het voorwerp 5,0 cm op te tillen. Maak daarbij gebruik van de *verhouding* van de armen r_1 en r_2.

c. Gebruik het principe van behoud van energie om te bepalen hoe groot de kracht op het rechter uiteinde moet zijn.

11 Takel van twee katrollen

Een takel bestaat uit een los katrol en een vast katrol (zie figuur 14). Aan het losse katrol hangt een voorwerp dat opgetakeld wordt (F_2). Aan het uiteinde van het touw werkt een kracht F_1 waarmee het voorwerp opgetakeld wordt.

Het losse katrol hangt in twee touwen. er is geen wrijving in de draaipunten. De spankracht F_1 werkt aan twee kanten op het losse katrol.



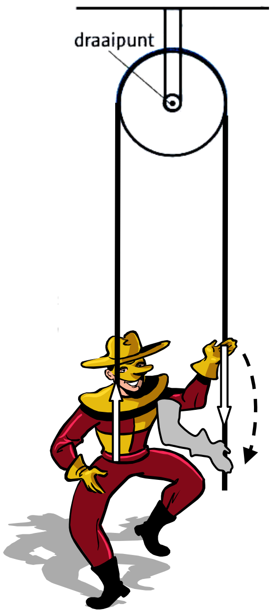
Figuur 14 - Een takel bestaat uit minstens twee katrollen.

a. Leg met behulp van de hefboomwet uit dat de spankracht in het touw overal gelijk is.

b. Leg uit dat de kracht F_1 precies de helft is van F_2.

Als het voorwerp een bepaalde afstand omhoog beweegt dan wordt er arbeid verricht.

c. Leg uit dat de arbeid van kracht F_1 gelijk is aan de arbeid van kracht F_2.



Figuur 15 - Deze man hangt aan twee touwen.

12 Bij de klimwand

Bij het startprobleem trekt iemand zichzelf omhoog aan het touw dat via een katrol aan zijn eigen lichaam vast zit. Die situatie is in figuur 39 getekend. De man heeft een massa van 80 kg.

De man aan het touw hoeft met slecht de helft van zijn gewicht aan het touw te trekken om zichzelf in evenwicht te houden of om zichzelf met constante snelheid omhoog te trekken.

a. Leg uit met de hefboomwet dat de kracht waarmee de man aan het touw trekt precies de helft is van de zwaartekracht op zijn eigen lichaam.

Als de man zichzelf optrekt dan gaat het touw aan de rechterkant naar beneden. Om 50 cm omhoog te gaan moet het touw aan de rechterkant ook 50 cm naar beneden.

b. Leg uit met behulp van arbeid en energie dat de kracht waarmee de man aan het touw trekt precies de helft is van de zwaartekracht op zijn eigen lichaam.

2.2 Kracht en richting

Nieuwe begrippen in deze paragraaf
Kracht ontbinden
Arbeid van een kracht loodrecht op de beweging
Moment en arm

In de voorgaande situaties hebben we nog geen rekening gehouden met de *richting* van de kracht. De kracht werkt steeds in de bewegingsrichting. In andere situaties staat de kracht schuin. Hoe pak je dat aan?

- *Hoe kun je bij hefbomen rekening houden met de richting van de kracht?*

13 Startprobleem: Perforator

Met een perforator kun je een grote kracht ontwikkelen om gaatjes in een stapel papier aan te brengen.

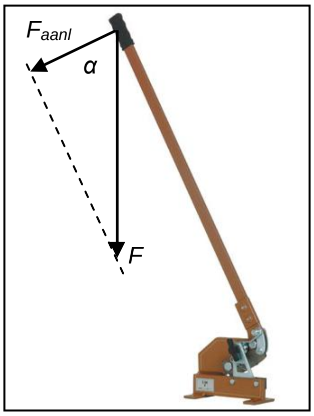
Figuur 16 – Met een perforator kun je veel gaatjes tegelijk prikken.

a. In welke richting moet je een kracht op het uiteinde uitoefenen om een zo groot mogelijk effect te krijgen?
b. Leg in je eigen woorden uit waardoor je in die richting minder kracht hoeft uit te oefenen.
c. Probeer met behulp van de *hefboomwet* of met *arbeid* uit te leggen waardoor de kracht die je moet uitoefenen afhangt van de richting waarin je duwt.

Plan van aanpak

De situatie van de perforator maakt duidelijk dat de richting van de kracht belangrijk kan zijn voor de krachtoverbrenging, maar het is niet meteen duidelijk waarom dat zo is. Het plan van aanpak bestaat uit:

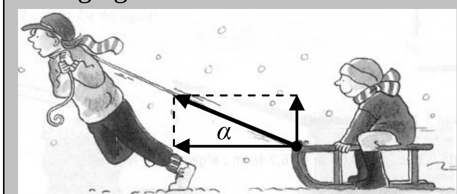
- Welk effect heeft de richting van de kracht op de arbeid die door de kracht verricht wordt?
- Hoe kun je dit effect toepassen in situaties van krachtoverbrenging?
- Hoe kun je bij de hefboomwet de richting van de kracht gebruiken?



Figuur 17 – Bij een kniptang verricht alleen de component van de kracht in de richting van de beweging arbeid.

Kracht ontbinden

Als een kracht niet in dezelfde richting werkt als de beweging dan wordt er alleen arbeid verricht door de component van de kracht in de richting van de beweging. In het onderstaande voorbeeld is dat de horizontale component.

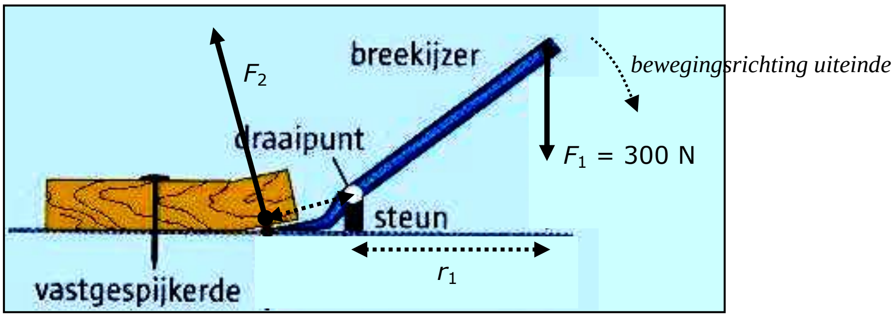


Voor de horizontale component geldt: $F_{aanl} = F \cdot \cos(\alpha)$

Hierin is α de hoek tussen de kracht F en de horizon.

14 De richting van de kracht

Bij het breekijzer in figuur 18 werkt een kracht F_1 van 300 N op het uiteinde recht naar beneden. Als de hefboom in beweging komt gaat het uiteinde niet recht naar beneden maar het draait zoals in de onderstaande tekening te zien is.



Figuur 18 – Beweging van een breekijzer

a. Splits de kracht F_1 in twee richtingen: de richting waarin het uiteinde beweegt en loodrecht daarop.

b. Leg uit dat de component loodrecht op de beweging geen arbeid verricht.

c. Bepaal uit de figuur de component van F_1 in de richting van de beweging.

d. Het uiteinde wordt 8,0 cm bewogen in de aangegeven richting. Bepaal de arbeid die F_1 daarbij verricht.

Het breekijzer oefent een kracht F_2 uit op de plank (niet op schaal getekend). Deze kracht werkt in de richting van de beweging en staat dus loodrecht op de lijn van het draaipunt naar het punt waar de kracht aangrijpt.

e. Ga door te meten in de figuur na dat als het rechteruiteinde 8,0 cm verplaatste wordt de verplaatsing van het linker uiteinde 3,0 cm is.

f. Bereken hoe groot F_2 is. Maak daarbij gebruik van arbeid.

15 Het moment van een kracht

Bij een draaibeweging wordt het moment M van een kracht gegeven door:

$$M = F \cdot r$$

Hierin is r de arm van de kracht. De arm wordt gemeten loodrecht op de kracht. In figuur 37 is de arm van F_1 getekend. De afstanden in deze figuur zijn getekend in schaal 1:10.

a. Meet de arm r_1 in de figuur 37 en bereken daarmee het moment van F_1.

b. Meet de arm r_2 van kracht F_2 en bereken met behulp van de hefboomwet de kracht F_2 op de plank.

In de vorige opgave is de component van F_1 in de richting van de beweging bepaald.

c. Meet de arm van het draaipunt tot het aangrijpingspunt van deze krachtcomponent en bereken daarmee het moment van deze krachtcomponent.

d. Wat is nu je conclusie? Hoe kun je in deze situatie toch de hefboomwet gebruiken?

16 Startprobleem: Perforator

a. In welke richting moet je een kracht op het uiteinde uitoefenen om met zo min mogelijk kracht gaatjes te prikken?

b. Probeer met behulp van de *hefboomwet* of met *arbeid* uit te leggen waarom het ongunstig is om in een andere richting te duwen.

Conclusie

Kracht, arbeid en richting

Een kracht verricht alleen arbeid als er een verplaatsing is in dezelfde richting als de kracht.

In één formule geschreven:

$W = F \cdot s \cdot \cos(\alpha)$

Hierin is α de hoek tussen de kracht F en de verplaatsing s.

Conclusie

We hebben nu gezien dat:

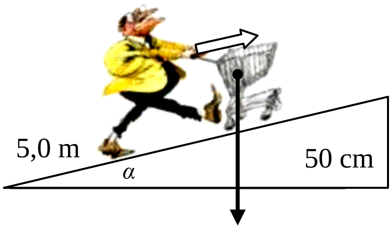
- Alleen de component van de kracht in de richting van de beweging verricht arbeid. Dat betekent ook dat alleen deze component van belang is voor de hefboom.
- Voor de arbeid van deze kracht geldt: $W = F \cdot s \cdot \cos(\alpha)$
- De hefboomwet $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$ geldt als de kracht loodrecht op de arm staat. Bij een kracht die niet in de bewegingsrichting werkt kan de kracht eerst ontbonden worden.
- Bij de hefboomwet $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$ wordt de arm wordt gemeten van het draaipunt loodrecht naar de kracht (de werklijn).

Opgaven

17 Een helling als hefboom

Een winkelwagentje wordt langs een helling omhoog geduwd (figuur 19). Bij deze helling wordt een hoogteverschil van 50 cm overbrugd in een afstand van 5,0 m (een helling van 10%). We verwaarlozen wrijvingskrachten.

Het voordeel van zo'n helling is dat het wagentje niet omhoog getild hoeft te worden. De kracht waarmee het winkelwagentje omhoog geduwd wordt is veel kleiner dan de zwaartekracht van 200 N.



Figuur 19 – Een winkelwagentje langs een helling omhoog duwen. De zwaartekracht is op schaal getekend.

a. Ontbind de zwaartekracht in twee componenten. Bereken daarvoor eerst de hellingshoek α.

b. Het wagentje rijdt met constante snelheid. Bereken de kracht waarmee de winkelwagen geduwd moet worden.

c. Leg uit dat een helling van 10% gezien kan worden als een hefboom waardoor de benodigde kracht tien keer zo klein is geworden.

d. Is de arbeid om het winkelwangetje langs de helling omhoog te duwen gelijk aan de arbeid bij het rechtstreeks optillen?

18 Katrol en koevoet

Bij de katrol in figuur .. wordt op het linker touw een kracht uitgeoefend die niet verticaal gericht is.

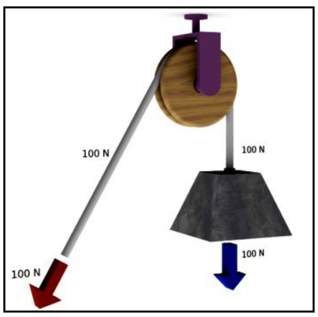
a. Zijn de krachten links en rechts dan nog wel gelijk? Hoe kan in deze situatie de hefboomwet gebuikt worden?

De kist oefent op de koevoet een verticale kracht uit (door de zwaartekracht op de kist). Op het uiteinde van de koevoet werkt een horizontale kracht.

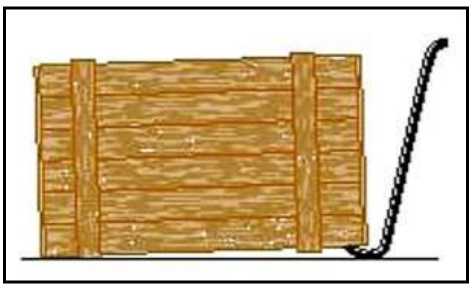
b. Teken de kracht van de kist op de koevoet en geef in de tekening de arm van deze kracht aan.

c. Teken de kracht op het uiteinde van de koevoet en geef in de tekening de arm van deze kracht aan.

d. De kist heeft een massa van 200 kg. Bepaal hoe groot de kracht op het uiteinde van de koevoet moet zijn.

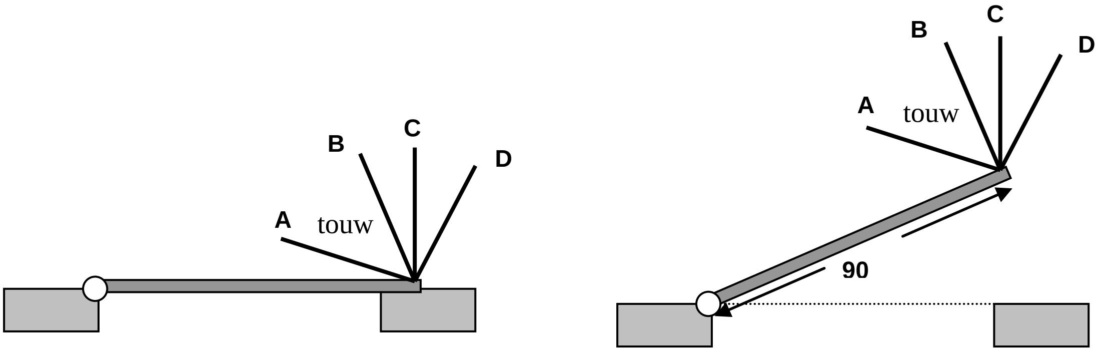


Figuur 20 – Een katrol



19 Luik openen

Een luik kan geopend worden met behulp van een touw aan het uiteinde van het luik. Daarbij is het mogelijk om in verschillende richtingen te trekken.



Figuur 21 – In de linkerfiguur ligt het luik horizontaal.

a. Kijk naar de linker figuur. In welke richting (A, B, C of D) is de kracht om het luik op te tillen het kleinst als het luik nog dicht is? Leg uit waarom.

Het luik heeft een massa van 5,0 kg. Het zwaartepunt zit in het midden van het luik, in dat punt werkt dus de zwaartekracht op de plank. In richting C wordt het touw recht omhoog getrokken.

b. Bereken hoeveel kracht er in richting C nodig is om het luik op te tillen.

In de rechterfiguur is het luik gedeeltelijk geopend.

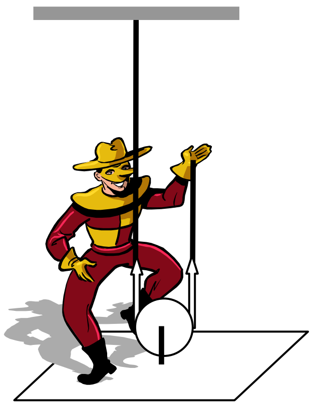
c. In welke richting (A, B, C of D) is de kracht om het luik in evenwicht te houden het kleinst als het luik gedeeltelijk geopend is?

d. Bepaal aan de hand van de tekening hoe groot deze kracht is.

20 EXTRA: Uit de wetenschapsquiz van 2003

Je staat op een plaat waarop een katrol vastzit. Door de katrol loopt een touw dat met het ene eind vastzit aan het plafond. Je trekt aan het andere eind. Kun je de plaat met jezelf erop omhoog trekken?

A Ja, maar dat lukt alleen de allersterksten ter wereld.
B Nee, dat is principieel onmogelijk.
C Ja, dat lukt de meeste mensen.



Figuur 22 - De vraag van de wetenschapsquiz uit 2003.

In figuur 22 zie je de situatie van de vraag van de wetenschapsquiz weergegeven.

a. Hoe zit dat nu? Kan deze man zichzelf optillen?

b. Kun je deze situatie uitleggen met behulp van krachten en de hefboomwet?

c. Kun je deze situatie uitleggen met behulp van energie en arbeid?

2.3 Toepassingen: De fiets en de roeiboot

Nieuwe begrippen in deze paragraaf
Verzet
Verhouding van krachten

Bij een fiets en een roeiboot wordt gebruik gemaakt van krachtoverbrenging.

- Hoe kun je in een dergelijke situatie gebruik maken van arbeid en energie?
- Kun je met behulp van de hefboomwet bepalen hoe groot de krachten zijn?

21 Kracht en arbeid bij een fiets

In deze opgave onderzoeken we de krachtoverbrenging bij een fiets door gebruik te maken van arbeid. Ter vereenvoudiging kijken we naar een fietser die met constante snelheid op een horizontale weg rijdt. De krachten op de fiets met berijder verrichten arbeid, er wordt energie geleverd aan de fiets(er) en er verdwijnt energie.

Figuur 23 – Achtertandwielen van een mountainbike.

a. Welke kracht levert in deze situatie energie aan de fiets? Welke kracht zorgt ervoor dat er energie verdwijnt uit de fiets?

b. Leg uit dat in deze situatie moet gelden: $W_{in} = W_{uit}$.

De arbeid die de krachten verrichten is gelijk, maar de afstand is niet gelijk.

c. Leg uit dat de afstand die de pedalen afleggen veel kleiner is dan de afstand die de fiets aflegt.

d. Kun je nu ook al zeggen welke kracht groter is, de kracht op de pedalen of de tegenwerkende kracht (luchtweerstand + rolweerstand)?

Om de *verhouding* tussen deze twee krachten te bepalen bekijken we eerst de verplaatsing van de krachten als de trappers één keer rondgedraaid worden.

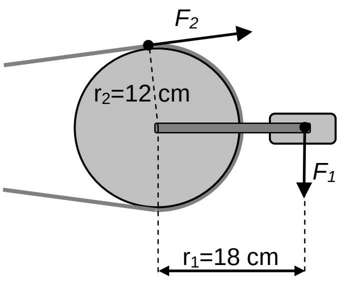
Bij een normale fiets wordt een verzet van 48×24 (tandjes) gebruikt. Dat betekent dat als de trappers één keer rond gaan de wielen twee omwentelingen hebben gemaakt. De omtrek van het wiel is 226 cm, één rondje van het pedaal is een afstand van 113 cm.

e. Bereken de afstand die de fiets aflegt bij één omwenteling van de pedalen.

Bij een stadsfiets is tegenwerkende kracht bij normale snelheid ongeveer 15 N.

f. Bereken hoe groot de kracht is die (gemiddeld) op het pedaal uitgeoefend moet worden bij constante snelheid. Maar daarbij gebruik van $W_{\text{in}} = W_{\text{uit}}$.

g. Is een fiets nu een hefboom die de kracht op de trappers vergroot of verkleint? Met welke factor verandert de kracht?



Figuur 24 – Krachten en armen bij het kettingwiel van een fiets.

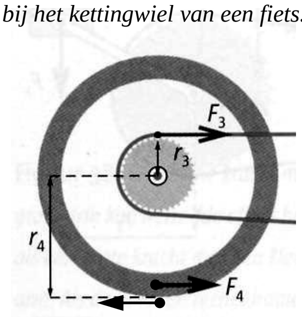
22 Hefbomen binnen een fiets

In deze opgave onderzoeken we de krachtoverbrenging door gebruik te maken van de hefboomwet. Een fiets bestaat uit twee draaibewegingen. Bij de trapas wordt de kracht op het pedaal F_1 omgezet in een kracht op de ketting F_2.

De trapper zit op 18 cm van de trapas (arm r_1), de straal r_2 van het kettingwiel is 12 cm. Kracht F_2 is de spankracht van de ketting op het tandwiel.

a. Is kracht F_2 groter of kleiner dan kracht F_1? Met welke factor?

De spankracht van de ketting trekt ook aan het achterwiel ($F_3 = F_2$). Bij het achterwiel wordt de kracht F_3 van de ketting omgezet in een voorwaartse kracht F_4 (de afzetkracht naar achteren op het wegdek zorgt voor een kracht op het wiel die naar voren is gericht).



Figuur 25 – Krachten en armen bij het achterwiel van een fiets.

De straal r_3 van het tandwiel is 6,0 cm, de straal r_4 van het wiel is 36,0 cm.

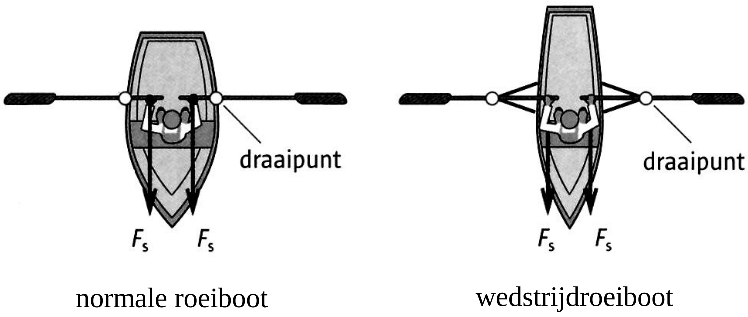
b. Is kracht F_4 groter of kleiner dan kracht F_3? Met welke factor?

c. Neem voor de kracht F_1 op de trapper de waarde die je bij de voorgaande vraag gevonden hebt. Hoe groot zijn dan de krachten F_2, F_3 en F_4?

d. Ga na of het resultaat overeen komt met de vorige opgave.

23 Roeiboot en hefboom

Bij roeien draait de roeispaan om een draaipunt, en daardoor wordt de kracht van de hand op het uiteinde omgezet in een kracht van het blad op het water.



Figuur 26 – Verschillen tussen een normale roeiboor en een wedstrijdboot

Bij een normale roeiboot zit het draaipunt op de rand van de boot, bij een wedstrijdroeiboot zit het draaipunt (de dol) een stukje buiten de boot. De lengte van de roeispaan wordt door de reglementen voorgeschreven.

a. Waarom zit het draaipunt bij een wedstrijdroeiboot verder naar buiten? Wat is het effect van deze hefboom vergeleken met een normale boot?

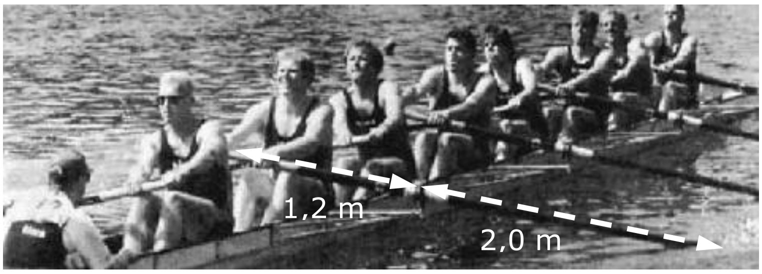
Het is voor wedstrijdroeiers belangrijk dat het uitende van de roeispaan een zo groot mogelijke beweging maakt ten opzichte van de boot. Door het verplaatsen van het draaipunt verandert de beweging van het uiteinde van de roeispaan ten opzichte van de boot.

b. Wat is het effect van het verplaatsen van het draaipunt op de beweging van het uiteinde van de roeispaan? Leg uit.

c. Hoe zorgen wedstrijdroeiers ervoor dat de beweging van het uiteinde van de roeispaan toch zo groot mogelijk is?

24 Wedstrijdroeien en arbeid

Door met een roeispaan in het water af te zetten, wordt een boot voortbewogen. De arbeid die de roeiers bij constante snelheid verliezen is even groot als het energieverlies door tegenwerkende krachten.



Figuur 27 – Acht met stuurman

Bij elke slag trekt de roeier met een gemiddelde kracht van 520 N aan het uiteinde van de spaan. Hij verplaatst daarbij het uiteinde van de roeispaan over een afstand van 1,1 m in de richting van de kracht (ten opzichte van de boot).

a. Bereken de arbeid die de roeier daarbij verricht.

De roeispaan is een hefboom. De afstand van het draaipunt tot het midden van de handen is 1,2 m, van het draaipunt tot het midden van het blad is 2,0 m.

b. Bereken de afzetkracht op het water.

Alle acht roeiers in de boot leveren evenveel kracht en arbeid. Zij maken in één minuut 33 slagen en leggen daarbij een afstand af van 300 m.

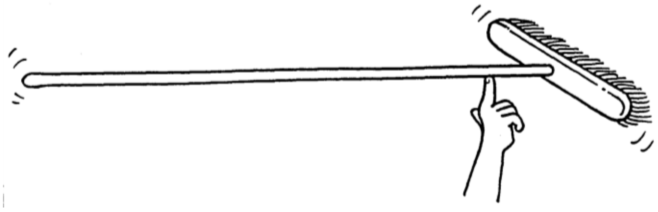
c. Leg uit dat de snelheid van de boot niet steeds constant is.

d. Bereken, uitgaande van deze gegevens, de gemiddelde wrijvingskracht op de boot tijdens deze race.

OPGAVEN

25 Verrassende situaties

Je kunt het zwaartepunt van een bezem snel vinden door de bezem op een vinger te laten balanceren. Iemand zaagt de bezem door op de plaats van het zwaartepunt en weegt beide stukken op een weegschaal.



Figuur 28 – Een bezem in balans

a. Voorspel welk stuk het zwaarst zal zijn. Geef ook uitleg.

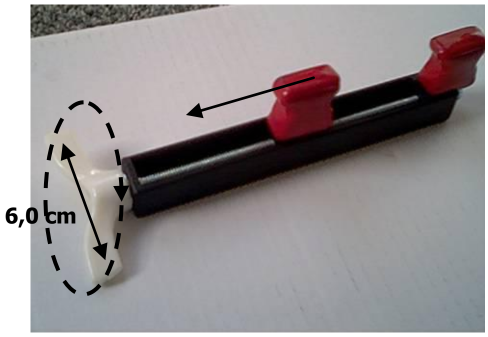
Bij de trekkar op de foto is duidelijk iets mis gegaan.

b. Leg uit wat de oorzaak van deze situatie is.

c. Hoe zou je dit kunnen voorkomen? Geef één suggestie.

26 Vorkexpander

Het apparaat op de foto is een vorkexpander. Het is bedoeld om de achtervork van je fiets uit elkaar te duwen als de achterband verwisseld moet worden (en daarvoor is een grote kracht nodig!).



Figuur 29 – Een vorkexpander wordt gebruikt om de achtervork van een fiets uit elkaar te duwen. Door het draaien van de witte vleugelmoer beweegt het contactblokje naar voren.

Een vleugelmoer draait een ijzeren stang met schroefdraad rond. Als de vleugelmoer gedraaid wordt schuift het blokje in het midden naar links en daarmee wordt de vork uit elkaar geduwd. Om de vork uit elkaar te duwen is een kracht van 3,0 kN nodig.

Als de vleugelmoer 8 keer rondgedraaid wordt dan is de afstand tussen de achtervorken 1,0 cm groter geworden..

a. Bereken hoeveel arbeid daarvoor verricht moet worden.

b. Bereken de afstand die het uiteinde van de vleugelmoer aflegt als deze acht keer rondgedraaid wordt (bereken eerst de omtrek).

Neem aan dat op beide uiteinden van de vleugelmoer een constante kracht uitgeoefend wordt. Als de vleugelmoer rondgedraaid wordt dan verricht die kracht arbeid.

c. Bereken de kracht op elk uiteinde van de vleugelmoer.

d. Met welke factor vergroot dit gereedschap de kracht?

3 Sporten op topsnelheid

3.1 Sportprestaties en energieverbruik

Nieuwe begrippen in deze paragraaf
Topsnelheid
Mechanisch vermogen
Duurvermogen
SRM-systeem, ergometer

Wat gaan we doen?
Bij veel sporten is de snelheid belangrijk. Soms gaat het dan om de topsnelheid in een korte sprint, in andere gevallen gaat het om een snelheid die lang vastgehouden moet worden. Hoe kan een sporter zijn snelheid vergroten? En hoe komt het dat een wielrenner of schaatser zoveel harder gaat dan een marathonloper?

Bij sporten speelt niet alleen kracht maar ook energie en vermogen een belangrijke rol.

De centrale vragen zijn:

- *Hoe bepalen kracht, arbeid en vermogen de maximale snelheid?*
- *Waardoor zijn de verschillen in snelheid*

Oriëntatie: sporten en topsnelheid

Op de onderstaande foto’s zie je verschillende sporters in beweging: steppen, skeeleren, hardlopen, wielrennen, schaatsen, roeien en zwemmen. In al deze gevallen gaat het om een *duurinspanning* en niet om een *sprint*. Met een duurinspanning wordt in de sport bedoeld een inspanning van tenminste enkele minuten tot enkele uren. De snelheid is bij deze inspanning ongeveer constant.

Figuur 30 – Zeven verschillende snelheidssporten

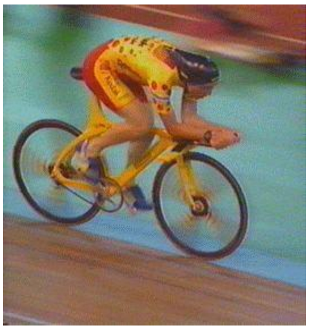
27 Sport en snelheid

De sporters doen allemaal hun uiterste best, ze leveren een vergelijkbare inspanning. Toch zijn de snelheden die ze bereiken nogal verschillend.

a. Welke sporter haalt volgens jou de hoogste snelheid, welke gaat het langzaamst? Maak een schatting en rangschik de snelheden van hoog naar laag.

Om de grenzen van de mogelijkheden iets nauwkeurig in beeld te brengen vind je hieronder een tabel met wereldrecords in de verschillende sporten. Daarbij is niet gekeken naar records over dezelfde afstand, maar naar records met vergelijkbare tijden (tussen 4 en 8 minuten). De inspanning van de sporters zal dan ongeveer even groot zijn geweest.

sport	recordhouder	afstand	tijd	snelheid (km/h)
Wielrennen	Chris Boardman	4 km	4:11,114	
Roeien skiff	Mahe Drysdale	2 km	6:35,40	
Skeeleren	M. Giupponi	5 km	7:34,938	
Schaatsen	Sven Kramer	5 km	6:08.78	
Hardlopen	Daniel Komen	3 km	7:20,67	
Zwemmen	Grant Hackett	800 m	7:38,65	
Steppen	Karel Cavlin	2,3 km	4:20,86	



b. Reken voor alle sporters de gemiddelde snelheid (in km/h) uit. Noteer het resultaat in de tabel.

De verschillen in snelheden zijn behoorlijk groot

c. Bij welke sport(en) is de snelheid veel hoger of lager dan je verwacht had?

d. Kun je al één of meerdere verklaringen geven voor de verschillen?

De hoogste snelheid wordt gehaald bij wielrennen, maar is dat dan ook de hoogste snelheid die mogelijk is op ‘menskracht’?

e. Ken je een manier waarop een nog hogere snelheid mogelijk is? Wat is dan het belangrijkste verschil?

Energie, kracht of vermogen?

Figuur 31 – Bij explosieve sporten zoals kogelstoten is kracht erg belangrijk.

Al deze sporters moeten zowel *energie* als *kracht* leveren voor hun prestatie. Bij explosieve sporten zoals kogelstoten en sprinten is kracht erg belangrijk, dat zie je aan de bouw van de atleten.

Bij de meeste duursporten is niet de kracht maar het *vermogen* dat de sporter kan leveren de belangrijkste factor. Het vermogen is de arbeid die een sporter per seconde kan leveren. De eenheid van vermogen is watt (joule per seconde). Daarbij wordt meestal een onderscheid gemaakt tussen het piekvermogen tijdens een sprint van enkele seconden en het duurvermogen dat langere tijd volgehouden kan worden.

De centrale vraag is dus: hoe bepalen vermogen en kracht de snelheid?

Plan van aanpak

Al deze sporters moeten zowel *energie* als *kracht* leveren voor hun prestatie. Het plan van aanpak bestaat uit:

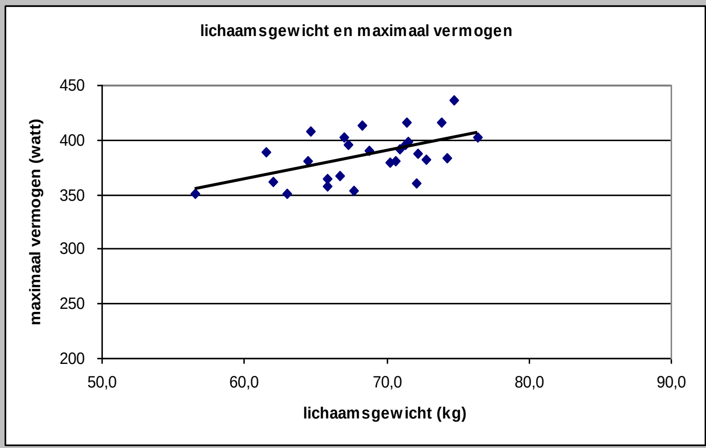
- Wat is het vermogen en hoe wordt het vermogen dat een sporter kan leveren gemeten?
- Wat kun je over kracht en energie zeggen bij een constante snelheid?
- Hoe bepalen kracht, arbeid en vermogen de topsnelheid?

Figuur 32 – Een fietsergometer

Figuur 33 – Training met roeiergometers.

Hoeveel energie kan een sporter leveren?

Bij sporten zoals wielrennen en roeien is de energie die een sporter kan leveren zó belangrijk dat bij elke sporter regelmatig een inspanningstest gedaan wordt op een ergometer. Tijdens zo'n test wordt meestal het geleverde vermogen gemeten in watt (naast hartslag en zuurstofopname).



Figuur 35 – Maximaal duurvermogen van wielrenners uit de jeugdopleiding van de Rabobank.

In de grafiek zie je het resultaat van zo'n test van de jeugdopleiding van de Rabo wielerploeg. Deze wielrenners leveren allemaal een duurvermogen tussen 350 en 450 watt. Dat wil zeggen dat hun voeten per seconde 350 tot 450 joule energie 'overdragen' aan de trappers. Deze overgedragen energie noemen we arbeid.

arbeid W = geleverde energie voor beweging (in joule)

$$W = F \cdot s$$

mechanisch vermogen P_{mech} = arbeid per seconde (in watt)

$$P_{mech} = \frac{W}{t} \qquad \text{of ook als:} \qquad W = P_{mech} \cdot t$$

Voor de eenheden geldt dus: 1 watt = 1 joule per seconde.

Uitwerking

28 Het mechanisch vermogen meten

Figuur 34 – Het SRM-systeem zit verborgen in de trapas. Twee sensoren meten de trapkracht en de trapfrequentie.

Voor het meten van het mechanisch vermogen wordt een ergometer of een SRM-systeem gebruikt. Bij het SRM-systeem zit in de trapas een sensor die de kracht op het pedaal meet. Een andere sensor meet de trapfrequentie (omwentelingen per minuut).

Tijdens een tijdrit is de gemiddelde kracht op de trappers is 267 N. De trapfrequentie is 92 omwentelingen per minuut en de afstand die de trappers bij één omwenteling afleggen is 1,10 m.

a. Bereken de afstand die de trappers in één seconde afleggen.

b. Bereken de arbeid die de wielrenner in één seconde levert.

c. Hoe groot is het mechanisch vermogen dat de wielrenner nu levert?

d. Leg in je eigen woorden uit dat het mechanisch vermogen gelijk is aan de trapkracht maal de snelheid waarmee de trappers ronddraaien.

$$P_{mechanisch} = F_{pedaal} \cdot v_{pedaal}$$

29 Vermogen meten met een ergometer

Figuur 36 – Bij een ergometer wordt de tegenwerkende kracht en de fietssnelheid gemeten.

Een andere manier om het vermogen te meten is met een ergometer. Bij een ergometer draait de band tegen een rol die elektromagnetisch gedempt wordt. De tegenwerkende kracht van de rol is te vergelijken met de tegenwerkende krachten tijdens het fietsen.

a. Het SRM-systeem meet de arbeid die de wielrenner aan de fiets levert. Leg uit dat de ergometer de arbeid meet die verdwijnt uit de fiets.

b. Leg uit dat bij constante snelheid moet gelden: $W_{in} = W_{uit}$.

De wielrenner op de ergometer levert een vermogen van 375 W. De tegenwerkende kracht van de rol is 41 N.

c. Hoeveel energie verdwijnt in één seconde door de tegenwerkende kracht?

d. Bereken daarmee de afstand die het wiel op de rol in één seconde aflegt.

e. Hoe groot is nu de ‘snelheid’ van de fiets?

f. Leg in je eigen woorden uit dat geldt $P_{uit} = F_{tegen} \cdot v_{fiets}$

30 De topsnelheid berekenen

Figuur 37 – Bij een eindsprint is de snelheid erg hoog. De renners leveren gedurende enkele seconden hun piekvermogen.

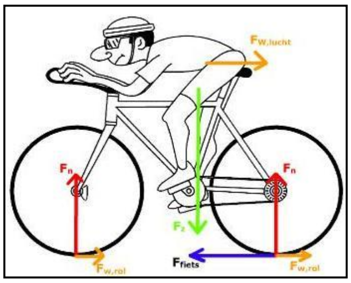
De topsnelheid hangt dus alleen af van het vermogen en de tegenwerkende kracht. Een wielrenner levert tijdens een eindsprint een vermogen van 1500 watt. Voor de tegenwerkende kracht geldt bij benadering: $F_{tegen} = 0{,}20 \cdot v^2$.

a. Gebruik $P_{mech} = F_{tegen} \cdot v$ om de topsnelheid te berekenen. Geef het antwoord in km/h.

Deze sprinter fietst met een hoge trapfrequentie (110 omw/min). Bij één omwenteling van het pedaal legt de voet een afstand van 110 cm af.

b. Bereken de draaisnelheid van de trappers.

c. Bereken de gemiddelde kracht die de wielrenner tijdens de sprint op het pedaal uitoefent.



Figuur 38 - Krachten op een wielrenner. Als de wielrenner met constante snelheid rijdt, is de resulterende kracht in elke richting nul.

Arbeid, kracht en vermogen bij een wielrenner

Een wielrenner die met constante snelheid rijdt moet voortdurend kracht uitoefenen op de pedalen en daarbij energie leveren. Op een vlakke weg heeft een wielrenner te maken met luchtwrijving en rolwrijving. Bij een constante snelheid moet de nettokracht nul zijn, de voorwaartse kracht (de afzetkracht op de weg) is dan even groot als de tegenwerkende krachten.

$$F_{voorwaarts} = F_{tegen}$$

De wielrenner ‘levert’ energie, de wrijvingskrachten werken de beweging tegen en zorgen daarbij voor energieverlies. Het energieschema in deze situatie is:

spierenergie ⇒ bewegings-energie ⇒ warmte door wrijving

Bij een constante snelheid is de bewegingsenergie ook constant. Dan geldt:

$$W_{in} = W_{uit}$$

Het mechanisch vermogen is de arbeid die de wielrenner per seconde levert. Het geleverde vermogen is bij constante snelheid gelijk aan de energie die per seconde verloren gaat door wrijving.

$$P_{mech} = F_{tegen} \cdot v$$

Deze vergelijking laat zien dat topsnelheid van een wielrenner alleen afhangt van het mechanisch vermogen en de tegenwerkende krachten.

Conclusie

Conclusie

We hebben nu gezien dat:

- Het mechanisch vermogen is de arbeid die een sporter per seconde levert.
  $P_{mech} = \dfrac{W}{t}$
- Bij constante snelheid is de arbeid die de sporter levert gelijk aan het energieverlies door de tegenwerkende krachten. $W_{in} = W_{uit}$
- Het energieverlies door de tegenwerkende krachten hangt af van de grootte van de krachten en de snelheid. $P_{mech} = F_{tegen} \cdot v$

OPGAVE

31 Snelheid en vermogen

De tegenwerkende krachten bij wielrennen zijn de luchtwrijving en de rolwrijving. Voor een gemiddelde wielrenner geldt:

$F_{w,l} = 0{,}15 \cdot v^2$ en $F_{w,r} = 3{,}2$ N

De wielrenner fietst met een snelheid van 45 km/h.

a. Bereken de totale tegenwerkende kracht bij deze snelheid.

b. Bereken het vermogen dat de wielrenner moet leveren.

Bij een lagere snelheid zijn ook de tegenwerkende krachten kleiner.

c. Bereken het vermogen dat deze wielrenner moet leveren bij een snelheid van 36 km/h.

De wielrenners van de Rabo jeugdopleiding leveren allemaal een duurvermogen tussen 350 en 450 watt.

d. Leg uit dat zij heel ontspannen kunnen fietsen met een snelheid van 36 km/h maar dat voor een snelheid van 45 km/h een flinke inspanning nodig is.

e. Welke snelheid kan een renner halen bij een vermogen van 450 watt? Gebruik $P_{mech} = (F_{w,l} + F_{w,r}) \cdot v = (0{,}15 \cdot v^2 + 3{,}2) \cdot v$ en bereken het antwoord met de GR.

De bovenstaande formule geldt alleen bij constante snelheid op een vlakke weg. Als een wielrenner bergop fietst dan speelt ook het hellingspercentage mee.

f. Hoe zou je het effect van een helling kunnen verwerken in de berekeningen?

Figuur 39 – Het SRM-systeem zit verborgen in de trapas.

SRM-systeem

Het vermogen dat een wielrenner levert hangt af van zowel de trapkracht en de trapfrequentie. Topsporters gebruiken om het vermogen te meten een SRM-systeem dat in de trapas gemonteerd zit. Het SRM-systeem meet continu de trapkracht en de trapfrequentie.

Met die gegevens kan de wielrenner zeer goed nagaan op welke manier hij het hoogste vermogen kan leveren. Berekend is dat voor het huidige wereldrecord individuele achtervolging gemiddeld 520 W nodig is gedurende ruim vier minuten.

SRM kan ook helpen bij het vinden van de optimale positie op de fiets. De houding waarbij SRM bij een vaste snelheid het laagste geleverde vermogen registreert, is de optimale houding.

3.2 Verschillen in topsnelheid

Nieuwe begrippen in deze paragraaf
Energieverlies
Rendement

De belangrijkste factoren die de snelheid bepalen zijn dus het mechanisch vermogen en de tegenwerkende krachten. Dat verklaart nog niet waardoor een fietser met dezelfde inspanning een veel grotere snelheid haalt dan een hardloper. De verschillen in snelheid bij de verschillende sporten zijn erg groot, terwijl alle sporters een maximale inspanning leveren. Hoe zijn die verschillen te verklaren?

- *Waardoor is de snelheid bij de ene sport veel groter dan bij de andere?*
- *Wat is het voordeel van een fiets?*

Een lagere topsnelheid

Bij andere sporten dan wielrennen ligt de topsnelheid een stuk lager. Volgens de theorie die we net gevonden hebben kan dat komen door:

- De tegenwerkende krachten zijn groter.
- De sporter kan minder vermogen leveren.
- Er verdwijnt op een andere manier energie.

32 Topsnelheid stepper, schaatser en skater



Drie andere soorten bewegingen die enigszins lijken op wielrennen zijn skaten, schaatsen en steppen. Op de step ga je, ondanks de wielen, veel langzamer dan een wielrenner. De snelheid is maar net iets hoger dan bij een hardloper.

a. Op de step is het frontaal oppervlak groter dan bij wielrennen. Toch is de luchtwrijving bij de topsnelheid lager. Leg uit waardoor dat komt.

b. Een stepper levert veel minder vermogen dan een wielrenner. Noem één of twee oorzaken waardoor een stepper veel minder vermogen kan leveren.

Bij schaatsen en skaten haal je een behoorlijk hoge snelheid, maar wel iets lager dan bij wielrennen, een topschaatser haalt ongeveer 55 km/h.

c. Een schaatser heeft een kleiner frontaal oppervlak en een betere stroomlijn dan een wielrenner. Hoe komt het dan dat een schaatser langzamer gaat dan een wielrenner? Waardoor kan een schaatser minder vermogen leveren? Verdwijnt er ergens energie?

Een skater gaat, ook op glad asfalt, duidelijk langzamer dan een schaatser. De beweging is vrijwel identiek, dus je verwacht dat beide sporters evenveel vermogen kunnen leveren. Het verschil wordt maar voor een klein deel veroorzaakt door de tegenwerkende krachten.

d. Leg uit dat de tegenwerkende krachten bij een skater iets groter zijn dan bij een schaatser.

e. Skates zijn veel zwaarder dan schaatsen De massa van de skates zorgen voor een behoorlijk energieverlies. Leg uit hoe dat kan.

De natuurkunde van wielrennen, hardlopen, schaatsen enz.
Auteur: Bart Lindner, bron: natuurkunde.nl
Wielrennen, hardlopen, schaatsen, motorracen hebben, natuurkundig gezien, veel zaken gemeen. Het gaat om het produceren van kracht, het zo klein mogelijk maken van wrijving en daardoor het bereiken van hoge snelheid. Welke snelheid kan je halen als je rent, op de fiets, op de schaats, in de raceauto? Bekijk dit artikel op internet
http://www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=836547

33 Waardoor gaat een hardloper zo langzaam?

Een hardloper heeft een lagere snelheid en daardoor ook een veel lagere luchtweerstand dan een wielrenner. Bij het wereldrecord van Daniel Komen over 3 km liep hij met een gemiddelde snelheid van 24,5 km/h (6,8 m/s). Bij deze snelheid is zijn luchtweerstand 9,0 N.

a. Bereken het mechanisch vermogen dat Daniel Komen bij deze race leverde.

Figuur 40 – Daniel Komen tijdens de recordrace. De onderbenen van hardlopers maken een grotere beweging dan de bovenbenen.

Voor hardlopen is dus kennelijk slechts een erg kleine kracht nodig en de atleet levert een laag vermogen. Toch gebruiken zijn spieren ongeveer evenveel energie, want beide atleten zijn na afloop van hun race uitgeput. Wat gebeurt er bij een hardloper met de energie die de spieren leveren?

b. Het vermogen dat een hardloper tijdens de afzet levert is veel kleiner dan bij een wielrenner of een schaatser. Leg uit waardoor dat komt.

Bij het hardlopen gaat veel energie verloren aan het heen en weer bewegen van de benen, met name de onderbenen (zie foto). Elke keer dat de voet op de grond komt staat het onderbeen vrijwel stil. Direct na het loskomen van de grond moet het been naar voren versneld worden.

c. Leg uit dat de kracht die nodig is voor het versnellen van het onderbeen veel groter is dan de tegenwerkende krachten op de hardloper.

d. Verklaar de volgende bewering: “Wielrenners trainen om zoveel mogelijk vermogen te leveren, hardlopers trainen om zo weinig mogelijk energie te verspillen.”

Een goed getrainde wielrenner haalt een rendement van ongeveer 20%, dat betekent dat 80% van de energie verloren gaat aan warmte. Bij Daniel Komen was tijdens de race het energieverbruik van zijn spieren 2,0 kJ per seconde.

e. Bereken het rendement van Daniel Komen tijdens zijn race.

Figuur 41 – Hardlopers bewegen hun bovenlichaam en armen zo min mogelijk om energieverlies te voorkomen.

Hardlopers trainen veel meer op looptechniek dan op het leveren van een groot vermogen. Je zult een hardloper dan ook niet snel een test zien doen op een fietsergometer.

f. Leg uit dat het trainen op looptechniek veel meer winst kan opleveren dan het trainen op vermogen.

Vermogen en rendement van een sporter

Het vermogen dat een sporter kan leveren hangt sterk af van de situatie waarin hij dat vermogen moet leveren en de manier waarop hij zijn spieren gebruikt. Enkele factoren die een rol spelen:

- *Welke spieren leveren energie?*
- *Is de kracht die de spier levert in de richting van de beweging van de voet of hand?*
- *Hoeveel warmte wordt in de spieren ontwikkeld?*
- *Hoeveel energie gaat er verloren aan het bewegen van benen, armen en andere delen van het lichaam?*
- *De techniek van de sport: het gebruiken van de juiste spieren op het juiste moment.*

Al deze factoren leveren een bijdrage aan het *rendement* van de sporter. Zelfs bij een zeer efficiënte sporter gaat het grootste deel van de energie die de spieren gebruiken verloren. Een groot deel gaat verloren aan warmte, daardoor ga je bijvoorbeeld zweten. Bij wielrenners ligt het rendement ongeveer bij 20%.

Voor het rendement η geldt: $$\eta = \frac{W}{E_{spier}} \times 100\%$$

34 Zwemmen en roeien

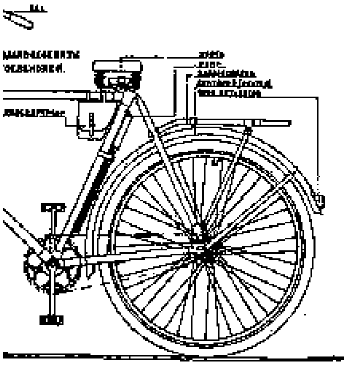
De snelheid bij zwemmen en roeien is relatief laag omdat de beweging door het water veel wrijving oplevert. Bij gelijke snelheid ondervindt een roeiboot minder wrijving van het water dan een zwemmer.

a. Betekent dit ook dat bij de topsnelheid een roeiboot minder waterwrijving heeft dan een zwemmer? Leg uit.

Het verschil in waterwrijving is veel te klein om te verklaren dat de snelheid van een roeiboot drie keer zo groot is als de snelheid van een zwemmer.

b. Leg uit waardoor een zwemmer een veel kleiner vermogen kan leveren dan een roeier.

c. Gaat er bij de zwemmer op een bepaalde manier meer energie verloren dan bij een roeier? Beschrijf waar dit energieverlies optreedt.



35 Het voordeel van een verzet bij wielrennen

Een belangrijk voordeel van een fiets is dat je zelf de beste versnelling kunt kiezen. De wielrenner kan door te schakelen een ander verzet kiezen, daarmee verandert de kracht waarmee hij op het pedaal moet trappen.

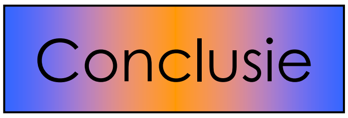
Voor het vermogen dat de wielrenner levert geldt: $P_{\text{mech}} = F_{\text{voet}} \cdot v_{\text{pedaal}}$. De wielrenner kan met zijn voeten een veel grotere kracht leveren dan de tegenwerkende krachten. Door de krachtoverbrenging binnen de fiets wordt de grote kracht op de trappers omgezet in een veel kleinere kracht op de weg.

a. Het voordeel van de krachtoverbrenging is dat daardoor ook de snelheid van de trappers verandert. Leg uit waarom dat een voordeel is.

b. Leg uit dat je bij een licht verzet en een hoge trapfrequentie hetzelfde vermogen kunt leveren als bij een zwaar verzet en een lage trapfrequentie.

c. Bij een fiets kun je zelf de versnelling kiezen. Wat is daarvan het voordeel?

d. Bij welke van de andere sporten is sprake van een ‘verzet’? Kun je daarbij ook zelf het verzet kiezen?



Conclusie

We hebben nu gezien dat:

- Bij een hoge topsnelheid hoort een kleine tegenwerkende kracht, een groot mechanisch vermogen en weinig verlies aan energie.
- Bij wielrennen is het mechanisch vermogen zeer groot omdat de benen uitstrekken in de richting van de kracht. Bovendien kan het traptempo en de grootte van de kracht worden aangepast met versnellingen.
- Energieverlies treedt bijvoorbeeld op bij het bewegen van armen en benen. Bij hardlopen is dit verlies erg groot, bij wielrennen is door de cyclische beweging het energieverlies erg klein.
- Het mechanisch vermogen wordt bepaald door de spierkracht en het tempo waarmee de benen bewegen.

Vermogen en trapfrequentie

Een wielrenner kan op twee manieren meer vermogen leveren: door meer kracht te zetten of door de pedalen sneller rond te draaien. Hetzelfde geldt voor een roeier die de kracht of de slagfrequentie kan aanpassen.

Aan beide factoren zit een grens, bij een grote kracht zullen de spieren sneller verzuren, bij een te hoge trapfrequentie kunnen de benen het niet meer ‘bijhouden’. Bij een lichter verzet en een hoge frequentie wordt het rendement kleiner.

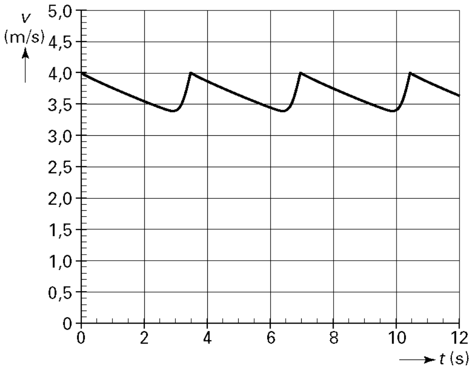
Door een andere verzet te kiezen kan de wielrenner de trapfrequentie en kracht veranderen. Bij een optimale combinatie van versnelling en trapfrequentie haalt hij het maximale uit zijn lijf.

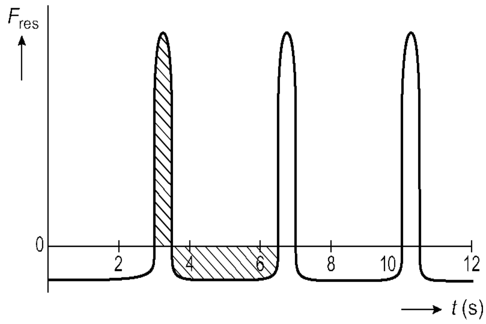
OPGAVE

36 Steppen

Arie en Bianca wijden hun praktische opdracht aan natuurkundige aspecten van het steppen. Met een sensor meten zij de snelheid van de step.

Arie stept over een horizontale weg. Het resultaat van de metingen staat in het onderstaand (v,t)-diagram. Met behulp van de metingen hebben Arie en Bianca een grafiek gemaakt van de resultante kracht F_{res} tijdens het steppen.



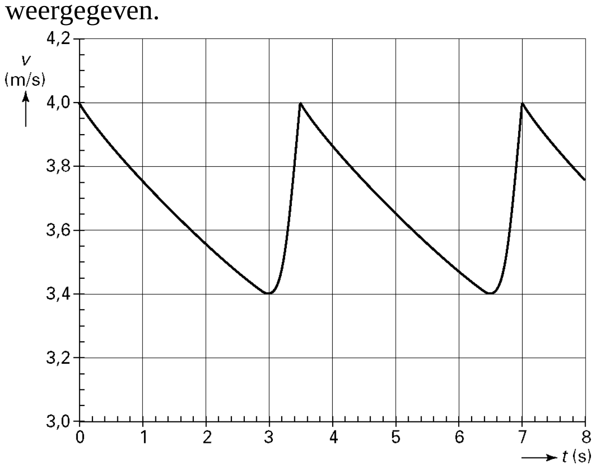


a. Leg aan de hand van het (v,t)-diagram uit dat wrijvingskrachten bij deze beweging een rol spelen.

Tijdens de meting stept Arie met een vast tempo. De periode van de beweging is 3,5 s, de afzet duurt 0,5 s.

b. Leg uit dat de gemiddelde resultante kracht tijdens de afzet zes keer zo groot is als de kracht tijdens het uitrollen.

In de onderstaande figuur is een deel van het (v,t)-diagram vergroot weergegeven.



c. Bepaal aan de hand van deze grafiek de gemiddelde versnelling tijdens het uitrollen en de gemiddelde versnelling tijdens de afzet.

De massa van Arie met step is 67 kg.

d. Bereken met het antwoord op de voorgaande vraag de gemiddelde tegenwerkende kracht tijdens het uitrollen.

e. Bereken ook de gemiddelde voorwaartse kracht die Arie tijdens de afzet op het wegdek uitoefent.

f. Bereken het vermogen dat Arie tijdens de afzet levert. Gebruik daarvoor de gemiddelde snelheid tijdens de afzet.

Het vermogen dat Arie tijdens de afzet levert is redelijk groot, toch haalt hij maar een lage snelheid.

g. Leg uit waardoor de snelheid waarmee Arie stept niet zo hoog is.

3.3 Je eigen vermogen meten

In veel sporten is het vermogen een belangrijke factor. Kun je ook zonder dure ergometer een meting doen van jouw vermogen?

In deze paragraaf zijn de centrale vragen:

- *Wat is je eigen mechanisch vermogen?*

37 Onderzoek - Meet je eigen vermogen

Figuur 42 – Traploopwedstrijd

Voor topsporters zoals wielrenners, roeiers en schaatsers is het (duur)vermogen heel belangrijk. Lance Armstrong kan bij een lange beklimming in de Tour de France continu een vermogen van 450 W leveren.

Bij traplopen til je je eigen gewicht omhoog, en daarbij wordt de energie uit je spieren omgezet in hoogte-energie. Om de arbeid te bepalen moet je dus je gewicht en de hoogte van de trap meten.

- *Onderzoeksvraag: Hoe groot is het maximale vermogen dat je bij traplopen kunt leveren?*

Voor het onderzoek moet je dus zo snel mogelijk een aantal trappen oplopen. Bij de uitvoer van het onderzoek moet je keuzes maken:

- *Je kunt het gewicht aanpassen door in een rugzak extra gewicht mee te nemen. Je gaat dan wel iets langzamer, dus je moet ook niet teveel extra gewicht meenemen.*
- *Je kunt zelf het aantal trappen kiezen. Meet het hoogteverschil.*

Bij elke groep rent één persoon de trappen op. Zorg wel dat de omstandigheden steeds hetzelfde zijn, dus rust steeds eerst uit voordat je nog een keer omhoog sprint.

Meetresultaten

Noteer de resultaten in de tabel.

totale massa ( )	tijd ( )	hoogte ( )	vermogen ( )

Conclusie

a. Hoe groot is het maximaal vermogen?

b. Vergelijk het maximaal vermogen met het vermogen dat Lance Armstrong levert tijdens de Tour de France. Wat valt je op? Heb je daar een verklaring voor?

OPGAVE

38 Traploopwedstrijd

De trappen van het Erasmusgebouw van de universiteit van Nijmegen worden regelmatig gebruikt voor traploopwedstrijden (zie artikel). De vloer van de twintigste en bovenste verdieping ligt op 84 m hoogte

a. Waarom is traplopen zo veel vermoeiender dan hardlopen op de vlakke weg? Noem twee factoren.

b. Wat weet je van de gemiddelde kracht op de hardloper tijdens de trappenloop omhoog?

c. Bereken hoe groot de arbeid is die deze kracht verricht bij het beklimmen van het Erasmusgebouw. Neem aan dat de massa van Gaby van Caulil 70 kg bedraagt.

De winnaar bij de heren, Gaby van Caulil, deed 4 minuten en 16,52 seconde over de totale race (aanloop van 600 m plus de ruim 400 treden). Voor de aanloop van 600 m Gaby 90 seconde nodig.

d. Bereken hoe groot het door hem ontwikkelde vermogen tijdens het traplopen minimaal is.

Twintig etages. Circa vierhonderd treden. Liefhebbers van een stevige inspanning leefden zich gisteren uit tijdens een traploopwedstrijd in het Erasmusgebouw van de universiteit. Hoe zwaar is dat?

Door **MARTIJN VAN BEEK**

NIJMEGEN • Een bereklus. Zo omschrijft inspanninsfysioloog P. Hollander van de Vrije Universiteit Amsterdam de traploopwedstrijd gisteravond in het Erasmusgebouw van de Nijmeegse universiteit. „Maar ook niet onmogelijk."

De jaarlijkse wedstrijd werd deze keer bij de heren gewonnen door Gaby van Caulil. Hij legde de vlakke aanloop van 600 meter, gevolgd door twintig etages met in totaal ongeveer vierhonderd treden af in 4 minuten en 16,52 seconden.

„Deelnemers gaan vier, vijf minuten voluit", analyseert Hollander het evenement op verzoek van De Gelderlander. „Dat betekent dat ze na ongeveer een minuut hun maximale hartslag bereiken en die dan verder vasthouden."

3.4 Toepassing: Hoe hard kun je op 'menskracht'?

In de voorgaande paragrafen is de snelheid bij verschillende duursporten aan bod geweest. Is dat nu ook de maximale snelheid die haalbaar is op menskracht? In deze paragraaf zijn de centrale vragen:

- *Wat is de maximale snelheid die een mens kan halen?*
- *Hoe hard zou je zelf kunnen in een ligfiets of op een stadsfiets*

Figuur 43 – Wereldrecordhouder in 2007 Sam Wittingham.

De snelste mens op aarde?

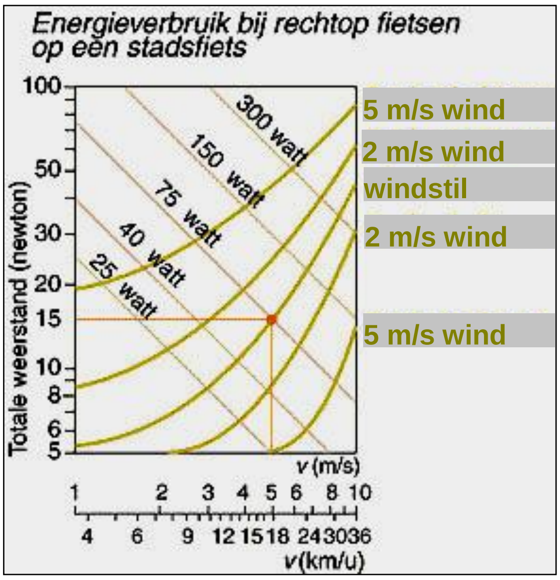
Op de foto zie je de snelste fiets ter wereld en Sam Whittingham, de wereldrecordhouder uit 2007. Bij het wereldsnelheidsrecord nemen de renners een aanloop van 5 mijl, waarna over 200 m de gemiddelde snelheid gemeten wordt. Het snelheidsrecord staat op naam van Sam Whittingham met 130,1 km/h. Op 8 april 2007 verbeterde hij ook het werelduurrecord tot 86,5 km/h.

Ligfietsen en stadsfietsen

Het snelheidsrecord ligt ruim boven de 100 km/h. Hoe hard zou je zelf met zo'n fiets kunnen? We kijken eerst naar een stadsfiets.

39 Hoe hard kun je zelf fietsen?

Fietsen kost energie. Bewegingswetenschappers hebben het verband tussen kracht, snelheid en energieverbruik onderzocht. De onderstaande grafiek geeft het verband tussen snelheid, kracht en vermogen voor een stadsfiets.



Figuur 44 - Uit: Natuur & Techniek, auteur: Prof dr ir Henk Tennekes

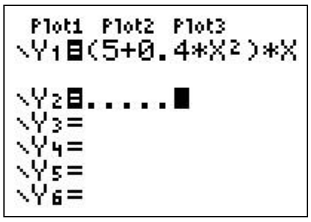
In de grafiek is te zien dat bij windstil weer en een snelheid van 5 m/s (18 km/u) op een gewone fiets de totale weerstand 15 N is.

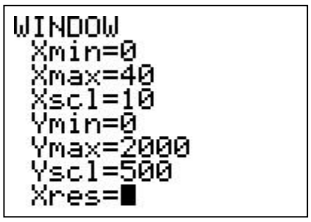
a. Ga met een berekening na dat het vermogen dan 75 watt is.

b. Lees in de grafiek af hoe groot je snelheid bij 300 watt is.

Waarschijnlijk kun je gedurende korte tijd een veel hoger vermogen leveren dan 300 watt. Dat kun je meten (zie experiment), een redelijke aanname is 600 watt.

c. Leg uit dat je met 600 watt niet twee keer zo snel gaat als met 300 watt.





De grafiek is niet geschikt om je snelheid af te lezen bij 600 watt. Het is wel mogelijk om een formule op te stellen bij deze grafiek.

Voor de tegenwerkende kracht geldt: $F_{tegen} = F_{w,r} + F_{w,l} = 5{,}0 + c \cdot v^2$

De constante c is te bepalen uit de gegevens van de grafiek: Bij windstil weer en een snelheid van 5 m/s is op een gewone fiets de luchtweerstand 10 N.

d. Ga na dat bij deze grafiek c de waarde 0,40 heeft.

Voor de topsnelheid geldt: $P_{mech} = F_{tegen} \cdot v$

e. Bereken het vermogen dat nodig is om bij windstil weer 10 m/s te fietsen.

Hoe kun je nu je topsnelheid berekenen? Daarvoor hebben we een formule nodig voor het vermogen als functie van de snelheid.

f. Leg uit dat geldt: $P_{mech} = (5{,}0 + 0{,}40 \cdot v^2) \cdot v$

g. Bereken met deze formule jouw topsnelheid op een stadsfiets. Neem voor het mechanisch vermogen 600 watt of gebruik de waarde die je zelf gemeten hebt. Geef het antwoord in km/h.

Door over je stuur te buigen kun je de luchtweerstand 25% kleiner maken.

h. Bereken je topsnelheid als je op deze manier je luchtweerstand kleiner maakt. Stel eerst een nieuwe formule op.

40 Hoe hard kun je zelf op een ligfiets?

De enorme snelheden die ligfietsen halen zijn vooral het resultaat van het verlagen van de luchtweerstand. De rolweerstand is ook kleiner, maar dat wordt deels teniet gedaan door de grotere massa. De rolweerstand van de Varna bedraagt 3,1 N.

Voor de luchtweerstand geldt de formule: $F_{w,l} = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$

Voor de Varna is de geschatte c_w-waarde 0,11. Het frontaal oppervlak A is ongeveer 0,30 m². De luchtdichtheid ρ op Battle Mountain bedraagt 1,09 kg/m³.

Met deze gegevens is de formule te schrijven als $F_{w,l} = k \cdot v^2$.

a. Bereken de waarde van k in deze formule voor de Varna.

b. Welke topsnelheid jij zou kunnen halen in de Varna? Stel een nieuwe formule voor het vermogen op en gebruik de GR om het antwoord te berekenen.

Voor het wereldrecord is niet alleen een snelle fiets maar ook een goede coureur nodig. Sam Wittingham leverde bij beide prestaties een behoorlijk groot vermogen.

c. Bereken welk vermogen Sam moest leveren bij het snelheidsrecord en bij het werelduurrecord.

d. Het vermogen is een stuk lager dan bij wielrenners in eerdere opgaven. Leg uit waardoor het verschil veroorzaakt wordt.

Sportprestaties en (duur)vermogen

Voor het leveren van sportprestaties is niet alleen kracht maar ook energie nodig. Bij veel sporten wordt regelmatig het (duur)vermogen gemeten om de conditie van de sporter vast te stellen.

Het vermogen wordt gemeten in watt en geeft aan hoeveel energie de sporter per seconde kan leveren (1 watt = 1 joule/sec). Bij de test wordt onderscheid gemaakt tussen het duurvermogen, dat de sporter langere tijd kan leveren, en het maximale vermogen dat de sporter slechts enkele seconden kan volhouden.

Goed getrainde sporters (mannen) kunnen makkelijk een duurvermogen van 350 watt en een maximaal vermogen van 1500 watt leveren.

OPGAVEN

41 Vliegen op menskracht

Is het ook mogelijk om op menskracht te vliegen? Sinds 1976 zijn allerlei soorten vliegtuigjes gebouwd, maar het blijkt erg lastig te zijn. De meeste van deze vliegtuigen hebben een spanbreedte van 30 m, daarmee is het opstijgen en landen erg lastig. Bovendien vliegen ze meestal niet erg snel, ongeveer 25 km/h.

Het modernste ontwerp is de Flycycle, een Human Powered Flying-wing. Het vliegtuig is niet meer dan een grote vleugel waar de piloot in opgesloten zit.

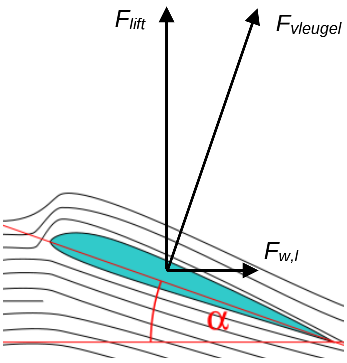
Figuur 45 – De Flycycle. De bestuurder zit binnen de vleugel.

Gegevens van de Flycycle:			
spanbreedte:	13 m	vermogen:	ongeveer 0,25 pk (184 W)
lengte:	10,4 m	massa:	38,5 kg
hoogte:	1,37 m	snelheid:	19,3 km/h bij opstijgen
		kruissnelheid:	35 km/h

Bij een snelheid van 35 km/h moet de piloot een mechanisch vermogen leveren van 184 W.

a. Bereken hoe groot de luchtweerstand van de Flycycle bij deze snelheid is.

Bij een vliegtuig staan de vleugels altijd schuin op de beweging. De luchtstroom langs de vleugel zorgt voor een kracht schuin omhoog. De horizontale component van deze kracht is de luchtweerstand $F_{w,l}$, de verticale component is de liftkracht F_{lift} die het vliegtuig ‘draagt’.



Figuur 46 – Het glijgetal is de verhouding tussne de liftkracht F_{lift} en de luchtwrijving $F_{w,l}$.

b. Leg uit dat het voor de Flycycle heel belangrijk is dat de luchtweerstand veel kleiner is dan de liftkracht.

c. Leg uit dat het een groot voordeel is dat de piloot in de vleugel zit.

Neem aan dat de piloot een massa van 75 kg heeft.

d. Hoe groot moet dan de liftkracht zijn?

e. Bereken ook de verhouding tussen de luchtweerstand en de liftkracht.

Vliegtuigbouwers noemen het quotiënt van de liftkracht F_{lift} en de luchtweerstand $F_{w,l}$ het glijgetal, omdat er direct uit volgt hoever een vliegtuig zonder stuwkracht kan zweven per meter hoogteverlies. Beide krachten zijn afhankelijk van de hoek α die de vleugel met de luchtstroom maakt.

f. Vergelijk het glijgetal van de Flycycle met de waarden van andere vliegtuigen in de tabel. Wat is je conclusie?

Vliegtuig	glijgetal $F_{lift}/F_{w,l}$
modern zweefvliegtuig	~60
standaard zweefvliegtuig	~35
Boeing 747	17
Concorde	7.14
Cessna 150	7

De lage snelheid van de Flycycle en soortgelijke vliegtuigjes heeft een groot nadeel: als het harder waait dan de vliegtuigen kunnen vliegen dan waait het vliegtuig weg. Voor een hogere snelheid is ook een hoger vermogen nodig. Voor geoefende sporters is het duurvermogen ongeveer 300 watt.

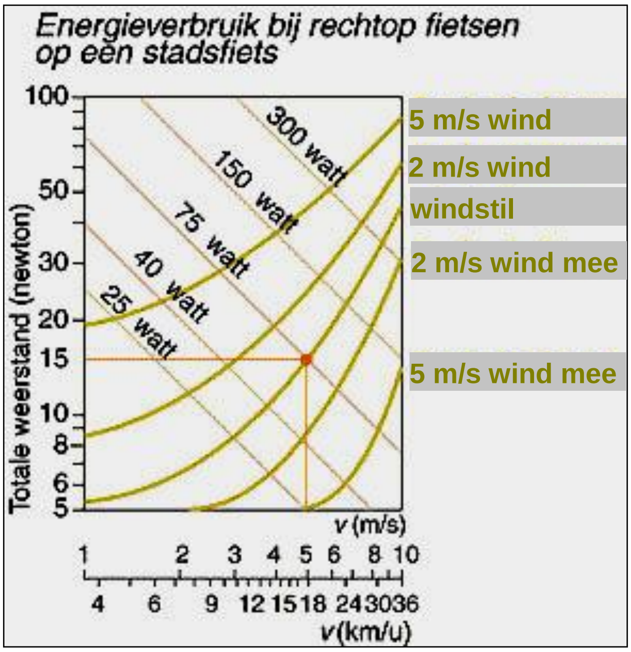
g. Bereken welke snelheid je met de Flycycle kunt halen bij een geleverd vermogen van 300 watt. Stel eerst een vergelijking voor $F_{w,l}$ op.

De bedoeling van de bouwers van de Flycycle is om een voertuig te bouwen waarmee vrijwel iedereen een tijdje kan vliegen op menskracht, als een vorm van sport.

h. Denk je dat het ooit zover komt dat je zelf ook een stukje kunt vliegen op menskracht? Leg uit waarom.

42 Wind mee of wind tegen

Fietsen kost energie. Bewegingswetenschappers hebben het verband tussen kracht, snelheid en energieverbruik onderzocht. In de onderstaande grafiek (figuur 47) zie je ook de invloed van de wind op de snelheid. Is het voordeel van wind mee groter of kleiner dan het nadeel van wind tegen?



Figuur 47 - Uit: Natuur & Techniek, auteur: Prof dr ir Henk Tennekes

We kijken naar een fietser die een vermogen levert van 75 watt. Bij windstil weer haalt zij een snelheid van 5 m/s.

a. Welke snelheid haalt zij bij 5 m/s wind tegen (windkracht drie)? Lees af in de grafiek.

b. Welke snelheid haalt zij bij 5 m/s wind mee ?

Is dat niet raar? Het lijkt alsof het voordeel van wind mee groter is dan het nadeel van wind tegen, is dat ook zo?

c. Stel dat zij een afstand van 9 km met windkracht drie tegen fietst en daarna dezelfde afstand met windkracht drie mee. Is zij dan sneller dan met windstil weer? Bereken het verschil.

d. Moet zij ook meer arbeid leveren dan met windstil weer? Bereken het verschil.

3.5 Hoe hard kun je tegen een berg op?

Nieuwe begrippen in deze paragraaf
Stijgingsgetal
Zwaarte-energie

In de voorgaande situaties hebben we steeds gekeken naar bewegingen op een vlakke weg. Daar blijkt bijvoorbeeld dat fietsers een veel hogere snelheid halen dan hardlopers. Hoe zit dat bergop?

Figuur 48 – Tijdens een Touretappe rent een toeschouwer mee met de wielrenners

Meerennen met wielrenners

In een bergetappe in de Tour de France zie je vaak dat het publiek (hinderlijk) mee gaat rennen met de wielrenners. Eigenlijk is het best vreemd dat toeschouwers de wielrenners kunnen bijhouden. In een vlakke etappe gaat zelfs een 'rustig' rijdend peloton veel te hard om hardlopend bij te kunnen houden.

Een belangrijk verschil tussen de wielrenner en de toeschouwer is natuurlijk dat de toeschouwer slechts een klein stukje mee hoeft te lopen, terwijl de wielrenner aan een lange etappe bezig is.

- *Welke snelheid halen fietsers en hardlopers bergop?*
- *Wat gebeurt er bij een beklimming met arbeid en vermogen?*

43 Klimrecord op l'Alpe d'Huez

Als voorbeeld nemen we de beklimming van l'Alpe d'Huez. Marco Pantani was in zijn tijd veruit de beste klimmer. Volgens de gegevens op de website van de fanclub van Pantani kan hij een vermogen leveren van 400 watt. Dat is best veel voor een mannetje van 54 kg, maar het is niet bekend hoe lang hij dat vermogen kan volhouden. In deze opgave onderzoeken we het vermogen dat hij leverde bij zijn record.

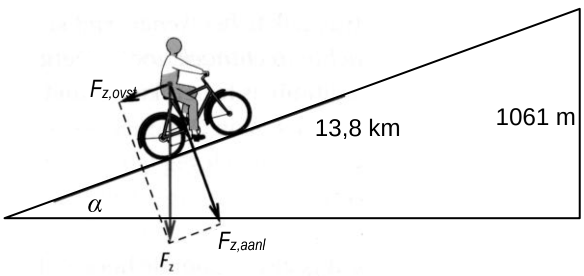
Tijdens de klim heeft Pantani te maken met wrijvingskrachten en met een extra tegenwerkende kracht omdat de weg schuin omhoog loopt. De massa van de fiets van Pantani is 8,5 kg.

Marco Pantani

Gewicht: 54 kilogram
Hartslag in rust: 36
Hartslag topprestatie: 175
Percentage vetgehalte: 4%
Longinhoud: 5,6 liter
Vermogen: 400 watt

a. Bereken de hoek α die de weg maakt met de horizontaal.

b. Bereken de component van de zwaartekracht evenwijdig aan de weg.



Stijgingspercentage:

$$\frac{1061\ m}{13.800\ m} \times 100\% = 7{,}7\%$$

Figuur 49 – Krachten ontbinden op l'Alpe d'Huez.

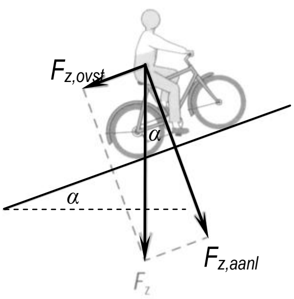
De rolweerstand is 3,0 N, voor de luchtwrijving geldt: $F_{lucht} = 0{,}21 \cdot v^2$. In 1997 vestigde Pantani een klimrecord op l'Alpe d'Huez: 37 min en 15 sec

c. Bereken de gemiddelde snelheid en luchtwrijving tijdens de klim.

d. Leg uit dat voor de tegenwerkende kracht geldt: $F_{tegen} = 50{,}2 + 0{,}21 \cdot v^2$

e. Volgens de fanclub is het vermogen dat Pantani kan leveren 400 watt. Bereken het vermogen dat Pantani tijdens deze klim leverde. Wat is je conclusie?

f. Maak een schatting van je eigen duurvermogen, massa en wrijvingskrachten. Bereken jouw snelheid en tijd op l'Alpe d'Huez.



$$F_{z,aanl} = F_z \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_{z,ovst} = F_z \cdot \sin(\alpha)$$

Tegenwerkende kracht en stijgingsgetal

De tegenwerkende kracht op een helling die wordt veroorzaakt door de zwaartekracht kan berekend worden met de hellinghoek α of met het ***stijgingsgetal*** (bij een helling van 12% is het stijgingsgetal 0,12)

De zwaartekracht kan ontbonden in twee componenten. Voor de component langs de helling $F_{z,x}$ geldt:

$$F_{z,ovst} = F_z \cdot \sin(\alpha)$$

Bij een helling van 12% is de component langs de helling ook 12% van de zwaartekracht. Daarvoor geldt dus:

$$F_{z,ovst} = F_z \cdot stijgingsgetal$$

44 Hardlopen op een berg

Elk jaar wordt er op l'Alpe d'Huez een hardloopwedstrijd georganiseerd. De totale afstand bedraagt 13,8 kilometer, het hoogteverschil is 1061 meter. Hardlopers blijken daarbij wel langzamer te zijn dan wielrenners, maar het verschil is niet echt groot. De snelste hardloper, met een massa van 72 kg, haalde de finish in 55 minuten.

Figuur 50 – Hardloopwedstrijd op l'Alpe d'Huez.

a. Bereken de gemiddelde snelheid van deze hardloper in m/s.

Een hardloper hoeft geen fiets mee te nemen. De totale wrijvingskracht (hier alleen luchtweerstand) is slechts 5,5 N. De hardloper hoeft dus minder arbeid te verrichten dan de wielrenner.

b. Bereken met deze gegevens de totale arbeid die deze hardloper moet verrichten.

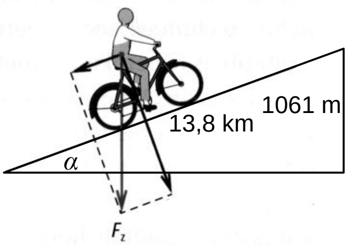
c. Hoe groot is het vermogen dat deze hardloper bergop levert?

Het vermogen dat deze hardloper bergop levert is veel groter dan het vermogen dat hij op het vlakke levert bij een gelijke 'inspanning'.

d. Geef een verklaring voor het feit dat het vermogen van de hardloper bergop veel groter is dan op het vlakke.

45 Wat gebeurt er met de energie?

Tijdens de klim wordt spierenergie omgezet in andere energiesoorten. Een deel van deze energie wordt door de wrijvingskracht omgezet in warmte. De extra energie die nodig is om tegen de zwaartekracht in te bewegen wordt ook omgezet in een andere energiesoort, dat noemen we hoogte-energie of zwaarte-energie.



De arbeid die Pantani moest leveren is op twee manieren te berekenen. De totale massa van Pantani plus fiets bedraagt 62,5 kg.

a. Bereken de arbeid met de lengte van de klim en de component van de zwaartekracht evenwijdig aan de weg.

b. Bereken de arbeid met de zwaartekracht en het hoogteverschil. Wat kun je hieruit concluderen?

c. Leg uit dat deze energie nog niet verdwenen is als Pantani boven op de berg staat. Hoe zou hij die energie nog kunnen gebruiken?

Een deel van de energie van die de spieren geleverd hebben is tijdens de klim omgezet in zwaarte-energie E_z

d. Leg uit dat voor de zwaarte-energie geldt: $E_z = m \cdot g \cdot h$

Daarbij is h de hoogte ten opzicht van het beginpunt. Bij een beklimming speelt de zwaarte-energie een veel grotere rol dan energieverlies door wrijving.

e. Leg daarmee uit dat lichte renners bergop in het voordeel zijn, maar op het vlakke in het nadeel.

Conclusie

Conclusie

We hebben nu gezien dat:

- Bergop is er een extra tegenwerkende kracht, de component van de zwaartekracht evenwijdig aan de helling.
- Het hellingsgetal kan gebruikt worden om de component evenwijdig aan de helling te berekenen: $F_z \times stijgingsgetal$
- Hardlopers halen bergop een veel hoger rendement dan op het vlakke omdat ze bij elke stap een grotere kracht en dus een groter vermogen leveren.
- Bij een steile klim wordt het grootste deel van het vermogen gebruikt om op grotere hoogte te komen.De extra arbeid die voor de beklimming nodig is wordt omgezet in zwaarte-energie. $E_z = m \cdot g \cdot h$

Zwaarte-energie of hoogte-energie

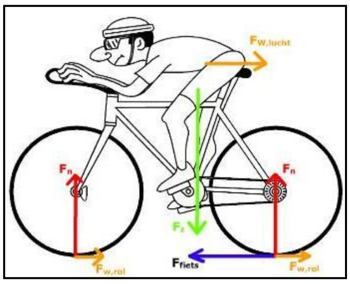
Als een voorwerp opgetild wordt dan wordt de spierenergie omgezet in energie die in het voorwerp opgeslagen zit. Die energie kan weer ‘vrijkomen’ als het voorwerp losgelaten wordt.

Deze vorm van energie noemen we hoogte-energie of zwaarte-energie E_z. De grootte van de energie is gelijk aan de arbeid die nodig was om het voorwerp (tegen de zwaartekracht $F_z = m \cdot g$ in) omhoog te tillen.

Er geldt dus: $E_z = m \cdot g \cdot h$

OPGAVEN

46 Waar komt de energie vandaan?



Figuur 51 - Krachten op een wielrenner. Als de wielrenner met constante snelheid rijdt, is de resulterende kracht in horizontale richting gelijk aan nul.

Een onderschat onderdeel bij sporten is het optimaliseren van het rendement van de beweging door te zorgen dat er zo weinig mogelijk energie verloren gaat aan onnodige bewegingen. Marathonlopers zorgen dat hun bovenlichaam zo weinig mogelijk op en neer gaat, wielrenners zitten zo stil mogelijk op hun fiets.

Neem aan dat bij Pantani het rendement van de spieren 20% is (gebruik de getallen uit de vorige opgave).

a. Bereken hoeveel spierenergie Pantani tijdens de klim gebruikte.

Tijdens of na de tocht moet de energie aangevuld worden met voedsel. Koolhydraten leveren per gram 18,6 kJ.

b. Bereken hoeveel gram koolhydraten Pantani moet eten om de energie die gebruikt is voor de klim aan te vullen.

Tijdens een korte etappe die 2 uur duurt levert een wielrenner een gemiddeld vermogen van 350 watt. Tijdens of na de tocht moet de energie aangevuld worden met voedsel. Koolhydraten leveren per gram 18,6 kJ.

c. Bereken hoeveel gram koolhydraten de wielrenner moet eten om het energieverlies van de etappe van 2 uur aan te vullen.

Men neemt aan dat tijdens een vlakke marathon van 2 uur de lopers evenveel energie gebruiken als deze wielrenner. De marathonloper levert een vermogen van slechts 35 watt.

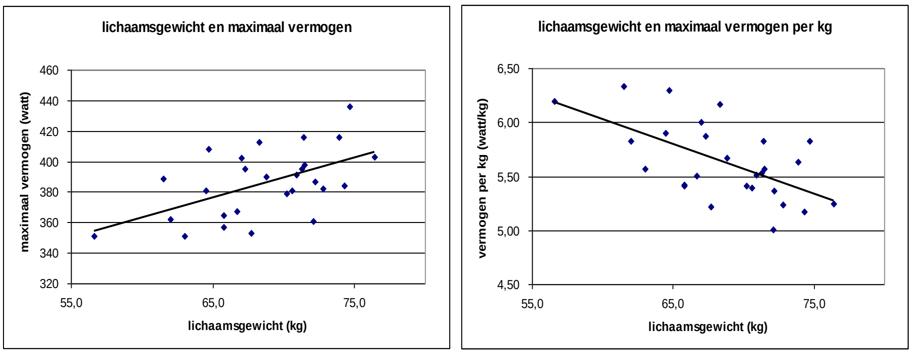
d. Hoe groot is het rendement van deze marathonloper?

Tijdens de Tour de France leggen de wielrenners in 3 weken tijd 4000 km af. Per dag zitten ze ongeveer 5,5 uur op de fiets en verbruiken per dag gemiddeld 6500 kcal (tegen 2500 kcal voor normale mensen, 1 kcal = 4,2 kJ). Dat kan door voeding niet helemaal aangevuld worden zodat een renner ongeveer 2 kg afvalt tijdens de Tour.

e. Hoeveel gram koolhydraten moet de renner elke dag eten?

47 EXTRA - Kleine en grote wielrenners

Bij het wielrennen zie je dat sommige renners in de bergen uitblinken, terwijl andere renners op het vlakke beter uit de voeten kunnen. Men beweert dat dit vooral te maken heeft met het gewicht van de renner.



Figuur 52 – Maximaal vermogen en lichaamsgewicht (links) en het vermogen per kg lichaamsgewicht (rechts).

EXTRA OPGAVE
Kleine en grote wielrenners
Deze opgave gaat over een realistisch vraagstuk in de sport. Het vraagstuk is behoorlijk complex, de opgave is dan ook vooral bedoeld als extra opgave voor leerlingen met belangstelling voor sportprestaties.

In de bovenstaande grafieken zie je links de resultaten van metingen van het duurvermogen met de ergometer aan wielrenners van de jeugdopleiding van de Rabobank wielerploeg (zie ook het artikel uit het tijdschrift FIETS). Uit de tests bleek dat het vermogen toeneemt met het lichaamsgewicht. Zwaardere renners hebben meer spiermassa. De rechter grafiek laat zien dat het vermogen per kg lichaamsgewicht daalt naarmate de renners zwaarder zijn.

a. Wie van deze renners zal volgens jou op het vlakke de grootste snelheid halen? Licht je antwoord kort toe.

b. Wie van deze renners zal volgens jou op l'Alpe d'Huez de grootste snelheid halen? Licht je antwoord kort toe.

Bij wielrenners wordt vaak ook het vermogen per kg lichaamsgewicht bepaald, dat levert een betere voorspelling voor de klimcapaciteiten van een renner. Pantani leverde tijdens zo'n test 400 W bij een massa van 54 kg.

c. Bereken het duurvermogen per kg lichaamsgewicht bij Pantani.

In figuur 13 staat het vermogen per kg lichaamsgewicht van renners van de Rabobank gegeven.

d. Wie van deze renners zal volgens deze grafiek op l'Alpe d'Huez de grootste snelheid halen? Licht je antwoord kort toe.

e. Waarom is het vermogen per kg lichaamsgewicht voor een klimmer veel belangrijker dan het duurvermogen?

Hoeveel harder gaat een zwaardere renner op het vlakke? Daarvoor worden twee gemiddelde renners van 60 en 70 kg met elkaar vergeleken. De gegevens voor deze renners:

	massa (kg)	vermogen (W)	vermogen per kg (W/kg)	rolwrijving (N)	luchtwrijving (N)
renner 1:	60	360	6,0	5,0	$0{,}162 \cdot v^2$
renner 2:	70	392	5,6	5,7	$0{,}170 \cdot v^2$

f. Stel voor beide renners een vergelijking op voor het vermogen op een vlakke weg en bereken daarmee de snelheid.

Hoeveel harder gaat de lichte renner op een klim van 7,7%? Neem aan dat beide renners een fiets hebben van 8,5 kg.

g. Bereken voor beide renners de tegenwerkende kracht door de helling.

h. Stel voor beide renners een vergelijking op voor het vermogen op een helling en bereken daarmee de snelheid.

In het artikel wordt de conclusie getrokken dat het voordeel van zware renners op het vlakke groter is dan het nadeel bergop.

i. Ben je het eens met deze conclusie? Leg uit waarom.

De klimmer ontleed

Fiets, juni 2005

“Zo kan ik ook klimmen, jij weegt natuurlijk helemaal niks!”, roept de gezonde, uit de kluiten gewassen Hollandse jongen naar dat magere scharminkel dat al lang en breed boven staat op een steil klimmetje ergens in de Ardennen. De rest van het groepje knikt instemmend. Grote, stevige fietsers gebruiken hun gewicht nogal eens als excuus voor matige klimprestaties. Onterecht! Oftewel: vlieggewichten zijn veel minder in het voordeel dan vaak wordt gedacht.

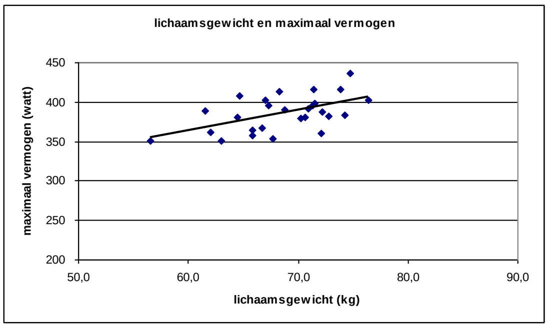
Maar is dat wel terecht? Is een laag lichaamsgewicht een absolute voorwaarde om snel een berg op te fietsen? Nee, zo blijkt uit wetenschappelijke onderzoeken waarin de eigenschappen van wielrenners zijn gebruikt om zware en lichte fietsers te vergelijken.

Het blijkt dat zware fietsers op het vlakke in het voordeel zijn ten opzichte van lichte fietsers. We gaan er dan wel vanuit dat beide fietsers ongeveer dezelfde bouw en hetzelfde vetpercentage hebben. Als we vervolgens naar de weerstand kijken die beide fietsers op het vlakke moeten overwinnen, dan is veruit de grootste factor de luchtweerstand. De luchtweerstand is echter niet zo sterk afhankelijk van de massa van de fietser als het vermogen dat geleverd kan worden. Daardoor is het voordeel dat de zware fietser heeft van zijn extra massa, veel groter dan het nadeel van de vergrote luchtweerstand. Om hard op het vlakke te fietsen moet je dus een uit de kluiten gewassen kerel/meid zijn!

Bergop zijn de rollen omgedraaid, maar in veel minder sterke mate. Dan is zwaartekracht de grootste weerstand die overwonnen moet worden. Hoe groter de massa van fietser en fiets, hoe groter de zwaartekracht. De zware fietser lijkt nu zijn voordeel van extra vermogen volledig kwijt te raken. Het nadeel dat de zware fietser heeft op een klim valt echter in het niet bij het voordeel dat hij heeft ten opzichte van een lichte renner op het vlakke. Bovendien speelt de luchtweerstand op een klim een steeds grotere rol naarmate de weg minder steil bergop loopt en naarmate de betreffende renners beter zijn. Topwielrenners fietsen ook bergop snel, waardoor de luchtweerstand bijna nooit te verwaarlozen is. Daardoor verdwijnt het toch al kleine voordeel van de lichte fietsers als sneeuw voor de zon, want voor het overwinnen van luchtweerstand zijn zware renners sterk in het voordeel. Onder topwielrenners zie je dan ook dat er onder goede klimmers zowel lichte als zware renners zijn: van vlieggewichten als Lucien van Impe en Lucho Herrera tot 'kleerkasten' als Indurain en Ullrich.

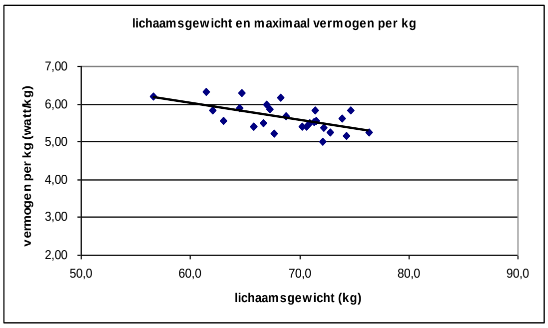
Vermogen en gewicht

In figuren 1 en 2 zie je het vermogen en het vermogen/kg tegen het gewicht van de Rabobank-wielrenners die we in de loop der jaren hebben getest op het vermogen dat ze kunnen leveren bij een fietsergometertest.



Figuur 1

In figuur 1 zie je dat het vermogen toeneemt bij zwaardere renners: het is dus inderdaad zo dat zwaardere renners meer vermogen kunnen leveren dan lichtere. Omdat de luchtweerstand niet navenant groter is bij zware renners, kunnen ze sneller fietsen op het vlakke.



Figuur 2

In figuur 2 zie je dat het vermogen/kg bij lichtere renners juist hoger is. Dit geeft direct het klimvermogen weer aangezien de massa de grootste weerstand representeert die fietsers bergop ondervinden. Het opvallende is dat de lijn in figuur 2 bijna net zo steil daalt als de lijn in figuur 1 stijgt. Je zou daaruit kunnen concluderen dat lichte fietsers op een klim net zo sterk in het voordeel zijn als zware fietsers op het vlakke. Figuur 2 geeft verder inzicht in het klimvermogen van lichte en zware fietsers als de luchtweerstand volledig buiten beschouwing wordt gelaten (er staat vermogen per kg, alleen de zwaartekracht wordt in de figuur meegenomen als weerstand). In de praktijk speelt ook de luchtweerstand een rol en die verkleint het voordeel van lichte renners. Hoe lager de snelheid, hoe sterker lichte renners het voordeel zijn. Bij fietsers met wat minder vermogen wordt gewicht steeds belangrijker op een klim.

4 Zuiniger rijden in het verkeer

4.1 Besparen door 'Het nieuwe rijden'

Wat gaan we doen?

Besparen op het brandstofverbruik scheelt geld en vermindert de uitstoot van CO2 en andere milieuvervuilende stoffen. Met de campagne 'Het nieuwe rijden' probeert de overheid het gedrag van weggebruikers te beïnvloeden.

Een auto is een voorbeeld van een energieomzetter. De energie wordt geleverd door de brandstof en door de motor omgezet in beweging. Wat gebeurt er nu eigenlijk met die energie?

De centrale vragen zijn:

- *Welke factoren hebben invloed op het brandstofverbruik?*
- *Wat gebeurt er met de energie tijdens het rijden?*

Nieuwe begrippen in deze paragraaf

Brandstofverbruik

Verbrandingswarmte

Energie voor bewegen

Een auto rijdt meestal niet steeds met dezelfde snelheid. Voor het optrekken is natuurlijk energie nodig, bij het remmen wordt energie omgezet in warmte. Hoe zit het als de snelheid wel constant is? Als oriëntatie bekijken we naar de aanbevelingen van de overheid.

48 Oriëntatie op de situatie

De campagne 'HET NIEUWE RIJDEN' bestaat vooral uit tips waarmee weggebruikers hun brandstofverbruik kunnen beperken. In de TV-spotjes gaat het vooral om het rijgedrag van de bestuurder.

Figuur 52 – Het nieuwe rijden volgens de jongens van Doek.

a. Op welke manier zou het rijgedrag het brandstofverbruik kunnen beïnvloeden? Noem minstens twee manieren om zuiniger te rijden.

Een andere deel van die tips heeft vooral te maken met eigenschappen van de auto.

b. Noteer zoveel mogelijk eigenschappen van de auto die invloed hebben op het brandstofverbruik.

Bekijk in de bijlage de tips van de campagne 'HET NIEUWE RIJDEN'.

c. Welke tips vind je echt nuttig? Leg kort uit waarom.

Bij de tips staan twee aanbevelingen die betrekking hebben op de snelheid van de auto.

d. Welke twee tips zijn dat?

e. Over welke twee bewegingssituaties in de mechanica gaan deze tips?

Plan van aanpak

Belangrijk zijn het brandstofverbruik bij rijden met constante snelheid en bij het optrekken. Het plan van aanpak bestaat uit:

- Welke energie-omzettingen vinden er plaats bij constante snelheid?
- Hoe verandert het brandstofverbruik bij hogere of lagere snelheden?
- Hoeveel energie is er nodig bij het optrekken?

Energie uit brandstof

In de motor van een auto wordt brandstof zoals benzine of gas verbrandt. De energie die daarbij vrijkomt wordt gebruikt om de motor te laten draaien. Slechts een klein deel van die energie (meestal 20-25%) is beschikbaar voor het voortbewegen. Via de wielen en het wegdek wordt door de voorwaartse kracht arbeid verricht.

Energieomzettingen in een auto

In een auto zijn de energie-omzettingen:

chemische energie → warmte → draaien motor → bewegen auto.

Brandstof	Motor	Arbeid
$E_{ch} = r_v \cdot V$	$\eta = \frac{W}{E_{in}}$	$W = F_{vw} \cdot s$

Hierin is r_v de verbrandingswarmte in J/L (of in J/m³), V het volume in L (of in m³), η het rendement.

Als niet de arbeid maar het vermogen P_m van de motor gegeven is dan kunnen de volgende formules gebruikt worden:

$$W = P_m \cdot t \qquad s = v \cdot t \qquad P_m = F_{vw} \cdot v$$

Het brandstofverbruik van een auto wordt gegeven in L/100 km. Daarmee wordt bedoeld het aantal liter brandstof dat nodig is voor een afstand s = 100 km.

Het verbruik wordt gemeten bij constante snelheid onder ideale omstandigheden. In de volgende opgaven kijken we naar een doorsnee auto:

rendement motor	24%
verbruik bij 90 km/h	5,5 L/100 km
verbruik bij 120 km/h	7,7 L/100 km
brandstof	benzine ($r_v = 33 \cdot 10^6$ J/L)

We willen weten hoe het verbruik is bij andere snelheden. Bij hogere snelheden zal het verbruik nog hoger zijn omdat de luchtwrijving dan groter is. Om het verbruik bij hogere snelheden te bepalen kijken we eerst naar het verband tussen snelheid en tegenwerkende krachten.

49 Arbeid en kracht bij constante snelheid

De bovenstaande auto rijdt een afstand van 100 km met een constante snelheid van 90 km/h. De verbrandingswarmte van 1 liter benzine is $33 \cdot 10^6$ J.

a. Voor deze rit heeft de auto 5,5 L benzine nodig. Bereken hoeveel warmte vrijkomt bij de verbranding van deze benzine.

b. Bereken hoeveel arbeid de motor geleverd heeft voor het voortbewegen.

De motor en de wielen zorgen voor een voorwaartse kracht, de rolwrijving en de luchtwrijving zorgen voor tegenwerkende krachten.

c. Leg met behulp van arbeid en energie uit dat de totale tegenwerkende kracht even groot moet zijn als de voorwaartse kracht.

d. Bereken met deze gegevens de totale tegenwerkende kracht.

De tegenwerkende kracht bestaat uit luchtwrijving en rolwrijving. Bij deze auto is de rolwrijving 210 N.

e. Bereken bij deze snelheid de grootte van de luchtwrijving.

f. Bereken op dezelfde manier de luchtwrijving bij 120 km/h..

Figuur 53 – De wrijvingskracht van de lucht $F_{w,l}$ hangt ook af van het frontaal oppervlak en de stroomlijn.

50 Brandstofverbruik bij hoge snelheid

Volgens de overheidscampagne is de snelheid de belangrijkste factor in het brandstofverbruik. Boven de 100 km/uur neemt de luchtwrijving en daarmee het brandstofverbruik snel toe. In de onderstaande tabel is voor de auto uit de vorige opgave het brandstofverbruik weergegeven bij 90 km/h en 120 km/h.

constante snelheid (km/h)	60	90	120	150	180
brandstofverbruik (liter per 100 km)		5,5	7,7		
luchtwrijving (N)					

a. Bekijk de vorige opgave. Neem de luchtwrijving bij 90 km/h en 120 km/h over in de tabel.

Volgens de theorie is de rolwrijving constant. De luchtwrijving is evenredig met het kwadraat van de snelheid.

b. Ga na dat in dit voorbeeld (bij 90 en 120 km/h) de luchtwrijving evenredig is met het kwadraat van de snelheid.

c. Bereken de luchtwrijving bij de andere snelheden in de tabel. Gebruik de afgekorte formule voor de luchtwrijving: $F_{\mathrm{w,l}} = k \cdot v^2$.

d. Bereken het brandstofverbruik bij de overige snelheden in de tabel (denk daarbij aan de rolwrijving).

e. Wat is nu je conclusie? Hoe belangrijk is de snelheid als het gaat om brandstof besparen?

Rolwrijving en luchtweerstand

De rolwrijving is constant en wordt meestal als één formule geschreven.

$$F_{\mathrm{w,r}} = c_{\mathrm{r}} \cdot F_{\mathrm{n}}$$

In deze formule is $F_{w,r}$ de rolwrijvingskracht (in N), c_r de wrijvingscoëfficiënt (zonder eenheid) en F_n de normaalkracht (in N).

De formule voor de luchtwrijvingskracht is:

$$F_{\mathrm{w,l}} = \tfrac{1}{2} \cdot c_{\mathrm{w}} \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$ o

In deze formule is $F_{w,l}$ de luchtwrijvingskracht (in N), c_w de luchtwrijvingscoëfficiënt (zonder eenheid), A het frontaal oppervlak (in m²), ρ de dichtheid van de lucht (in kg/m³) en v de snelheid (in m/s).

De formule voor de luchtwrijvingskracht wordt vaak afgekort tot:

$$F_{w,l} = k \cdot v^2$$

51 Niet 100 maar 80 km/h

Een van de maatregelen om de uitstoot van uitlaatgassen te beperken is het reduceren van de snelheid rond de grote steden van 100 km/h naar 80 km/h. Voorstanders claimen dat daardoor de emissie van CO2 ook met 20% daalt, tegenstanders beweren dat het verschil veel kleiner is.

Bij een gemiddelde auto is rolwrijving 200 N. Bij een snelheid van 100 km/h is de luchtwrijving 290 N.

a. Bereken de totale tegenwerkende kracht bij 80 km/h en bij 100 km/h

b. Hoeveel procent bedraagt de reductie van het brandstofverbruik bij het verlagen van de snelheid van 100 km/h naar 80 km/h?

Conclusie

Conclusie

We hebben nu gezien dat:

- Het brandstofverbruik van een auto hangt af van de brandstof (verbrandingswarmte r_v), het rendement η van de motor en de tegenwerkende krachten.
- De snelheid van de auto heeft grote invloed op de luchtwrijving en daarmee op het brandstofverbruik.

Tot nu toe is alleen gekeken naar brandstofverbruik bij constante snelheid, in het vervolg kijken we ook naar situaties met wisselende snelheid.

OPGAVE

52 Rendement auto

Figuur 54 - Deze auto heeft een massa van 1200 kg. Met een vermogen van 55 kW is de topsnelheid 180 km/h.

Een wielrenner haalt een rendement van ongeveer 20%, hoe zit dat bij een auto? Een kleine auto (type Peugeot 206, fig. 54) heeft een massa van 1200 kg en bij een vermogen van 55 kW is de topsnelheid 180 km/h (50 m/s).

a. Bereken bij deze snelheid de voorwaartse kracht die de motor ontwikkelt

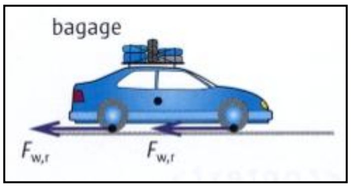
b. Bereken de arbeid die de motor levert over een afstand van 100 km.

Bij deze snelheid is het brandstofverbruik 14,0 L/100 km (benzine).

c. Bereken hoeveel warmte er vrijkomt bij de verbranding van 14 liter benzine.

d. Hoe groot is het rendement van de auto bij een snelheid van 180 km/h?

53 Luchtwrijving en rolwrijving



Figuur 55 – De rolwrijvingskracht $F_{w,r}$ hangt af van de massa: hoe meer passagiers en/of bagage, des te groter is de rolwrijvingskracht.

Figuur 56 – De wrijvingskracht van de lucht $F_{w,l}$ hangt ook af van het frontaal oppervlak en de stroomlijn.

De luchtwrijving hangt ook af van de c_w-waarde van de auto. Dit getal geeft aan hoe goed de stroomlijn van de auto is. Uit een test van een bepaalde auto blijkt dat de c_w-waarde 0,32 is, het frontaal oppervlak is 1,97 m²

a. Bereken de luchtwrijving bij een snelheid van 180 km/h. Bij 15 °C is de luchtdichtheid 1,22 km/m³.

De rolwrijvingskracht op deze auto is 180 N bij een massa van 1250 kg (auto + bestuurder). Het rendement van de motor is 24%.

b. Bereken het brandstofverbruik bij 120 km/h.

Een gezin gaat met deze auto op vakantie. De extra massa van passagiers plus bagage is 450 kg. Een deel van de bagage gaat op het dak waardoor het frontaal oppervalk toeneemt met 0,30 m². Bovendien wordt de stroomlijn slechter, de c_w-waarde neemt met 10% toe. Tijdens de vakantiereis is de snelheid vrijwel constant 120 km/h.

c. Bereken onder deze omstandigheden het brandstofverbruik.

d. De totale reis is 3000 km. Bereken de extra brandstof die nodig is door de grotere lucht- en rolwrijving.

4.2 Besparen in de bebouwde kom

Nieuwe begrippen in deze paragraaf
Bewegingsenergie

De belangrijkste factor in het brandstofverbruik is de snelheid waarmee gereden wordt. In de bebouwde kom is de snelheid relatief laag, maar het brandstofverbruik is vaak opvallend hoog. Voor de 'doorsnee' auto geldt:

verbruik bij 90 km/h (constant)	5,5 L/100 km
verbruik bij 120 km/h (constant)	7,7 L/100 km
verbruik stadsverkeer (gemiddeld)	8,4 L/100 km

Dat wordt natuurlijk veroorzaakt door de onregelmatige snelheid en het afremmen en optrekken.

54 Oriëntatie op de situatie

In een testrapport van de auto die in voorgaande vragen aan bod is gekomen staat ook het brandstofverbruik binnen de bebouwde kom vermeld: 8,4 liter per 100 kilometer. Dat is opvallend veel in vergelijking met het verbruik bij constante snelheid.

Figuur 57 – In het stadsverkeer is het brandstofverbruik opvallend hoog.

a. Vergelijk het brandstofverbruik met de auto uit de vorige paragraaf (zie tabel)? Bij welke constante snelheid is het verbruik 8,4 liter per 100 km? Maak een schatting.

Eén van de oorzaken van het hogere brandstofverbruik is het feit dat het rendement van een automotor optimaal is bij constante snelheid en een toerental dat niet te hoog of te laag is. Het rendement wordt ook lager doordat auto's in de stad met een lagere versnelling rijden.

b. Noem nog twee oorzaken die bij een rit in de stad een negatieve invloed hebben op het brandstofverbruik.

Plan van aanpak

Voor versnellen is een kracht nodig. De bewegingsenergie neemt toe tijdens het optrekken en verdwijnt bij het afremmen. Het plan van aanpak bestaat uit:

- Hoeveel energie is er nodig om een auto te versnellen tot 50 km/h?
- Hoeveel extra brandstof kost het optrekken?
- Bepaal het brandstofverbruik bij een constante snelheid van 50 km/h en vergelijk dit met de brandstof die nodig is voor optrekken.

55 Energie voor optrekken

Voor het optrekken is energie nodig, die gaat weer verloren tijdens het afremmen. In een bewegende auto zit dus kennelijk energie 'opgeslagen'. Dat wordt *bewegingsenergie* of *kinetische energie* genoemd. De bewegingsenergie wordt bij het optrekken geleverd door de nettokracht.

Leg uit dat de bewegingsenergie gelijk is aan de arbeid van de nettokracht.

Een auto met een massa m = 1200 kg trekt op. Neem aan dat tijdens het optrekken de nettokracht constant is, F_{netto} = 3,0 kN.

a. Bereken de versnelling en daarmee de tijd die het kost om een snelheid van 50 km/h (13,9 m/s) te halen.

b. Ga met een berekening na dat de auto tijdens het optrekken een afstand van 38,6 m aflegt en bereken daarmee arbeid die de nettokracht verricht.

De formule voor de bewegingsenergie is af te leiden uit de formules voor arbeid, kracht, versnelling en afstand: $W = F \cdot s$, $F = m \cdot a$ en $s = ½ \cdot a \cdot t^2$.

c. Leid hieruit af dat geldt: $E_{beweging} = ½ \cdot m \cdot v^2$.

d. Controleer de formule bij dit voorbeeld (m = 1200 kg en v = 50 km/h).

56 Brandstof voor optrekken

Voor optrekken is extra energie nodig, en dat zorgt voor een hoger brandstofverbruik. Tijdens het optrekken is het rendement 18%.

a. Bereken hoeveel brandstof er nodig is voor het versnellen van een auto van 1200 kg vanuit stilstand naar 50 km/h.

Bij een constante snelheid van 50 km/h is het brandstofverbruik 3,6 L/100 km. In het stadsverkeer is het werkelijke verbruik 8,4 L/100 km.

b. Bekijk een rit van 5,0 km en bereken het verschil in brandstof tussen een rit met een constante snelheid van 50 km/h en een gemiddelde stadsrit.

c. Hoeveel keer moet er opgetrokken worden om het verschil in energieverbruik te verklaren?

57 Arbeid en energie bij afremmen

Figuur 58 - Een zware truck met hoge snelheid vertegenwoordigt veel kinetische energie

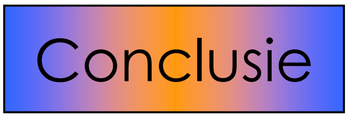
Bij het afremmen wordt alle bewegingsenergie omgezet in warmte door de arbeid van de afremmende kracht. De afstand die de auto dan aflegt is de remweg.

Een vrachtwagen met een massa van 15.000 kg rijdt met een snelheid van 90 km/h. Bij krachtig remmen bedraagt de remweg 50 m.

a. Bereken de bewegingsenergie van de vrachtwagen.

b. Bereken de gemiddelde afremmende kracht.

c. Leg uit dat hier geldt: $F \cdot s_{rem} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

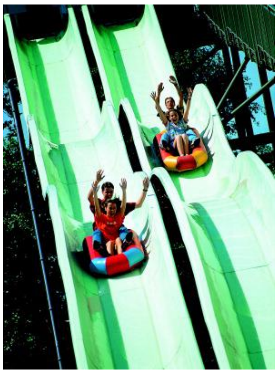


Conclusie

We hebben nu gezien dat:

- Om een voorwerp in beweging te brengen is (relatief veel) energie nodig. De arbeid van de nettokracht is gelijk aan de toename van de energie
- Een bewegend voorwerp bevat bewegingsenergie. Bewegingsenergie zit, net als bijvoorbeeld zwaarte-energie, opgeslagen in het voorwerp.
- Voor de bewegingsenergie geldt: $E_{beweging} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
- Bij een remmend voertuig is de arbeid van de afremmende kracht gelijk aan de afname van de bewegingsenergie.

Tot nu toe is alleen gekeken naar brandstofverbruik bij constante snelheid, in het vervolg kijken we ook naar situaties met wisselende snelheid.



Figuur 59 - Op een glijbaan wordt zwaarte-energie omgezet in bewegingsenergie

Bewegingsenergie en zwaarte-energie

In een bewegend voorwerp zit energie ‘opgeslagen’. Om een voorwerp in beweging te brengen is energie nodig, om het af te remmen moet er energie uit het voorwerp verdwijnen.

De grootte van de bewegingsenergie hangt alleen af van de massa en de snelheid.

$$E_{beweging} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

De energie die gebruikt wordt om het voorwerp op te tillen gaat niet verloren, maar blijft in het voorwerp opgeslagen. Deze vorm van energie noemen we hoogte-energie of zwaarte-energie E_z.

$$E_z = m \cdot g \cdot h$$

OPGAVE

58 Zuinigheidswereldrecord

In het onderstaande artikel wordt een nieuw zuinigheidswereldrecord genoemd. Daarbij gaat het om de afstand die een auto op 1 liter brandstof kan afleggen.

Figuur 60 – Het winnende team van de Shell Eco-marathon en de winnende auto.

1 op 3.789 kilometer

UN, 22 augustus 2003

Het zuinigheidswereldrecord is gebroken. Op de Shell Eco-marathon in het Britse Rockingham slaagden studenten erin om met één liter benzine 3.789 kilometer en 520 meter af te leggen. Met een extreem gestroomlijnd voertuig en op speciale Michelin banden met een ultralage rolweerstand werd het record gevestigd. Het oude record stond op 1 op 3.625.

Het klinkt nogal ongeloofwaardig, op één liter brandstof een afstand van bijna vierduizend kilometer afleggen. De teams hebben dan ook hun uiterste best gedaan om de lucht- en rolweerstand zo laag mogelijk te houden.

Het voertuig op de foto heeft een verbluffende cw-waarde van 0,12. Tijdens de test moest het voertuig een minimale snelheid aanhouden van 15 mijl per uur, gelijk aan 24 km/h of 6,7 m/s. De luchtdichtheid ρ bedraagt 1,27 kg/m^3. Het enige onbekende gegeven is het frontaal oppervlak A van het voertuig.

a. Maak een schatting van het frontaal oppervlak A en bereken daarmee de totale luchtweerstand bij dit wereldrecord.

Ook de rolweerstand van het voertuig is extreem laag. Laten we als schatting eens aannemen dat de rolweerstand slechts 2,0 N bedraagt. De motor werkt op normale benzine, en de verbrandingswarmte van 1 liter benzine bedraagt 33 MJ. Kan de motor dan voldoende arbeid leveren om een afstand van 3.789 km af te leggen? Het rendement van de motor is niet gegeven.

b. Bepaal met behulp van de gegevens het rendement van deze auto.

4.3 Toepassing: Is zonne-energie een alternatief?

Nieuwe begrippen in deze paragraaf
Zonne-energie

Eén van de mogelijkheden zijn om brandstof te besparen in het verkeer is het gebruik van zonne-energie. Toch zijn er nog weinig toepassingen van deze kennis te zien in de auto-industrie. Kun je op zonne-energie wel voldoende snelheid halen om aan het normale verkeer deel te kunnen nemen? En hoeveel brandstof kun je besparen met zonne-energie?

Rijden op zonne-energie

Figuur 61 - De NuNa4 is voor een groot deel bedekt met zonnecellen

Op 25 oktober 2007 won het Nuna Solar Team voor de vierde keer op rij de World Solar Challenge, een race door de Australische woestijn. De Nuna4 had 33 uur en 17 minuten nodig voor de totale afstand van 3000 km, een gemiddelde snelheid van 90 km/h. Daarmee laat het team ook zien dat het heel goed mogelijk is om op zonne-energie een behoorlijke snelheid te halen.

Technische gegevens Nuna 4

Afmetingen	Lengte: 4.72 m Breedte: 1.68 m Hoogte: 1.10 m
Gewicht (excl. coureur)	187 kg
Aantal zonnecellen	2318 cellen (Gallium-Arsenide Triple Junction)
oppervlakte zonnecellen	6 m²
Efficiëntie zonnecellen	26 %
Motor	Elektromotor (Efficiëntie: 97 – 99 %)
Rolweerstand	10 keer kleiner dan een normale auto
Luchtweerstand	6 keer kleiner dan een normale auto

59 Energie en vermogen van de Nuna 4

Volgens de gegevens van de website is de rolweerstand van de Nuna4 10× zo klein en de luchtweerstand 6× zo klein als bij een normale auto. De luchtweerstand is zes keer kleiner. Een normale auto heeft een rolweerstand van ongeveer 200 N en bij een snelheid van 90 km/h een luchtweerstand van 220 N.

a. Bereken de totale tegenwerkende kracht op de Nuna4 bij 90 km/h.

b. Bereken het mechanisch vermogen dat de elektromotor bij deze snelheid levert.

Om te bepalen hoeveel brandstof er bespaard kan worden met zonne-energie moeten de gegevens van de NuNa vergeleken worden met het vermogen en het brandstofverbruik van een normale auto.

c. Bereken het vermogen dat een normale automotor bij 90 km/h levert.

d. Hoeveel procent van het motorvermogen kan worden overgenomen door het systeem van zonnecellen plus elektromotor?

Bij deze snelheid verbruikt een normale auto ongeveer 5,3 L benzine per 100 km. Als deze auto de zonnecellen van de Nuna 4 zou kunnen gebruiken als ondersteuning van de motor dan zou daarmee een besparing op brandstof gerealiseerd kunnen worden.

Een gemiddelde automobilist rijdt 25.000 km per jaar.

e. Bereken hoeveel liter brandstof jaarlijks bespaard zou kunnen worden de zonnecellen van de NuNa gebruikt zouden kunnen worden.

De race in het zonnige Australië laat zien dat op zonne-energie een heel behoorlijke snelheid te halen is. Toch wordt in de auto-industrie geen gebruik gemaakt van de kennis die met deze race wordt opgedaan. Kennelijk zijn er teveel nadelen verbonden aan het rijden op zonne-energie.

f. Noem enkele nadelen die laten zien waarom het (nog) niet zinvol is om zonnecellen te gebruiken om brandstof te besparen.

60 Topsnelheid van de Nuna 4

Welke snelheid kan de Nuna 4 halen op zonne-energie? Als de Zon loodrecht boven de Nuna 4 staat dan valt er een vermogen van $1{,}39 \cdot 10^3$ W/m² aan zonnestraling op de zonnecellen. De zonnecellen leveren hun energie rechtstreeks aan de motor.

Figuur 62 – De Nuna 4 op topsnelheid.

a. Bereken hoeveel zonne-energie er per seconde op de zonnecellen valt. Gebruik de gegevens van de Nuna 4 in de tabel.

b. Bereken het mechanisch vermogen dat de elektromotor dan levert. Gebruik de gegevens van de Nuna 4 in de tabel.

Voor de tegenwerkende kracht op de Nuna 4 geldt:

$$F_{tegen} = F_{w,r} + F_{w,l} = 20 + 0{,}059 \cdot v^2 \quad \text{(met } v \text{ in m/s).}$$

c. Leg uit dat dan voor het vermogen geldt: $P_{mech} = (20 + 0{,}059 \cdot v^2) \times v$

d. Gebruik de grafische rekenmachine om te berekenen welke snelheid het de NuNa maximaal kan halen op zonlicht.

In Australië is de maximumsnelheid 110 km/h. Omdat vanaf 2005 de snelheid van sommige zonnewagens dicht in de buurt van de maximumsnelheid kwam heeft de organisatie van de World Solar Challenge de reglementen aangepast. Daarbij is onder andere het maximale oppervlak aan zonnecellen verlaagd van 9 m² naar 6 m².

e. Bereken de maximale snelheid van de NuNa 4 als het oppervlak aan zonnecellen 9,0 m² was geweest (neem alle andere gegeven gelijk).

Bijlage 1 – Begrippen en formules

In het onderstaande schema's zijn per paragraaf de belangrijkste begrippen en formules opgenomen. Gebruik de schema's om te controleren of je de theorie goed begrepen hebt en als samenvatting ter voorbereiding van de toets.

Ga bij elk begrip na of je goed begrijpt wat het betekent en geef een korte omschrijving van het begrip in je eigen woorden. Noteer zo mogelijk ook eenheden en symbolen.

Noteer bij elke formule de betekenis van symbolen, de eenheden en de situatie waarin de formule van toepassing is.

Begrippen § 2	**Korte omschrijving, symbool, eenheid, formule…**
Krachtoverbrenging	
Katrol, takel	
Hefboomwet	
Draaipunt en arm	
Arbeid	
Energie-omzetter	
Kracht ontbinden	
Arbeid van een kracht loodrecht op de beweging	
Moment en arm	
Verzet	
Verhouding van krachten	
Formules § 2	**Betekenis symbolen, eenheden, situatie van toepassing**
$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$	
$W = F \cdot s$	
$W_{in} = W_{uit}$	
$F_{aanl} = F \cdot \cos(\alpha)$	
$W = F \cdot s \cdot \cos(\alpha)$	
$M = F \cdot r$	

Begrippen § 3	**Korte omschrijving, symbool, eenheid, formule…**
Topsnelheid	
Mechanisch vermogen	
Duurvermogen	
SRM-systeem, ergometer	
Energieverlies	
Rendement	
Zwaarte-energie	
Stijgingsgetal	
Formules § 3	**Betekenis symbolen, eenheden, situatie van toepassing**
$P_{mech} = \frac{W}{t}$	
$P_{mech} = F_{tegen} \cdot v$	
$\eta = \frac{W}{E_{in}} \times 100\%$	
$E_z = m \cdot g \cdot h$	

Begrippen § 4	**Korte omschrijving, symbool, eenheid, formule…**
Brandstofverbruik	
Verbrandingswarmte	
Formules § 3	**Betekenis symbolen, eenheden, situatie van toepassing**
$E_{ch} = r_v \cdot V$	
$F_{w,l} = k \cdot v^2$	

Bijlage 1 – Overzicht formules Wisselwerking & Beweging

Bewegingen

$$v_{gem} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$F_{res} = m \cdot a$$

$$v(t) = a \cdot t$$

$$s(t) = \tfrac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$v(t) = g \cdot t$$

$$s(t) = \tfrac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$v_b = a \cdot t_{rem}$$

$$s_{rem} = \tfrac{1}{2} \cdot a \cdot t_{rem}^{\ 2}$$

Krachten

$$F_z = m \cdot g$$

$$F_{w,l} = \tfrac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

$$F_{w,r} = c_r \cdot F_N$$

$$F_{w.\max} = f \cdot F_N$$

$$F_{veer} = C \cdot u$$

$$F_G = G \cdot \frac{M_{aarde} \cdot m}{r^2}$$

$$F_{ovst} = F \cdot \sin(\alpha)$$

$$F_{aanl} = F \cdot \cos(\alpha)$$

Hefbomen

$$F \cdot r_{linksom} = F \cdot r_{rechtsom}$$

$$M = F \cdot r$$

Arbeid en vermogen

$$W = F \cdot s$$

$$P_m = F \cdot v$$

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

$$W_{in} = W_{uit}$$

$$W = F \cdot s \cdot \cos(\alpha)$$

Energie en rendement

$$E_z = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{beweging} = \tfrac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$E_{veer} = \tfrac{1}{2} \cdot C \cdot u^2$$

$$E_{ch} = r_v \cdot V$$

$$E_{begin} = E_{einde}$$

$$P_{mech} = \frac{W}{t}$$

$$P_{mech} = F_{tegen} \cdot v$$

$$\eta = \frac{W}{E_{in}} \qquad \eta = \frac{P_m}{P_{in}}$$

Trillingen

$$u(t) = r \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot t}{T}\right)$$

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}$$

$$v_{\max} = \frac{2\pi \cdot r}{T}$$

$$E_{trilling} = 2\pi^2 r^2 m f^2$$

Kromlijnige bewegingen

$s(t) = v_0 \cdot t + \tfrac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$

$v(t) = v_0 + a \cdot t$

$$F_{mpz} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$$

$$v^2 \cdot r = G \cdot M_{aarde}$$

Impuls

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

$$p = m \cdot v$$

$$m_1 \cdot \Delta v_1 = -m_2 \cdot \Delta v_2$$

$$(m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2)_{voor} = (m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2)_{na}$$

Bijlage 2 – Het nieuwe rijden

Tip 1 Schakel zo vroeg mogelijk op naar een hogere versnelling.

Schakel tussen de 2.000 en 2.500 toeren. Een deel van het vermogen dat een automotor levert gaat verloren aan inwendige wrijvingsverliezen Wanneer u met lage toerentallen rijdt blijven deze verliezen tot een minimum beperkt, wat gunstig is voor het brandstofverbruik. Bovendien neemt de efficiëntie van een automotor toe naarmate hij zwaarder belast wordt

Tip 2 Een gelijkmatige snelheid in een hoge versnelling.

Het opbouwen van snelheid kost energie. Een deel van deze energie wordt weer vernietigd zodra er geremd wordt. Voor het rijden van 50 km/h constant in een gemiddelde auto is slechts 5 kW nodig (bij 120 km/h loopt dit op tot circa 25 kW). De overige 90% (of meer) van het motorvermogen is enkel nodig om snel op te trekken of heel hard te rijden. Door zoveel mogelijk met gelijkmatige snelheden te rijden heb je dus de minste energie nodig. Het rijden met een zo constant mogelijke snelheid heeft ook een positief effect op de uitstoot van uitlaatgasemissies (zoals CO_2 en NO_x), de verkeersveiligheid, de doorstroming van het verkeer en het comfort aan boord van een auto.

Tip 3 Kijk zo ver mogelijk vooruit

Om zoveel mogelijk met een gelijkmatige snelheid te kunnen rijden is het van belang te anticiperen op het overige verkeer om zodoende niet onnodig of abrupt te hoeven remmen of gas geven. Bijvoorbeeld bij het naderen van verkeerslichten, het inhalen van medeweggebruikers, maar ook bij het rijden op een drukke snelweg.

Tip 4 Tijdig gas loslaten en uitrollen.

Moderne auto’s zijn voorzien van een elektronische functie die de brandstoftoevoer naar de motor onderbreekt wanneer er op de motor wordt afgeremd (gas wordt losgelaten in de versnelling). Door tijdig het gas los te laten, bijvoorbeeld als u een verkeerslicht nadert, bespaart u brandstof. Het vermindert bovendien de slijtage van de remmen en de uitstoot van uitlaatgasemissies.

Tip 5 Zet de motor ook af bij kortere stops.

Zoals bij een openstaande brug, bij een spoorwegovergang, in de file, wanneer u iemand afhaalt, etc. Het brandstofverbruik van een motor die stationair (onbelast) draait kan afhankelijk van het motortype oplopen tot 0,5 liter per uur. Vandaar dat het consequent afzetten van de motor al gauw tot interessante besparingen kan leiden. Start u weer, doe dit dan zonder gas te geven.

Tip 6 Controleer maandelijks de bandenspanning.

Een belangrijk deel van de energie gaat op aan de rolweerstand. Een bandenspanning die 25% te laag is verhoogt de rolweerstand met 10%, waardoor het brandstofverbruik met circa 2% toeneemt. Een band met een te lage spanning verhoogt echter niet alleen het brandstofverbruik, maar verkort ook de levensduur van die band en beïnvloedt de wegligging van een auto nadelig.

Tip 7 Gebruik toerenteller, cruise control en boordcomputer.

Een toerenteller helpt bij het bepalen van het juiste toerental om op te schakelen naar een hogere versnelling (tip 1). Een cruise control kan de snelheid van een auto veel beter constant houden (tip 2). Het brandstofverbruik neemt namelijk boven 100 km/uur bijna kwadratisch toe met de rijsnelheid.

In veel auto's zit tegenwoordig een boordcomputer waarmee vaak ook het gemiddelde en actuele brandstofverbruik gemeten wordt. U leert dus welk rijgedrag welke invloed heeft op het brandstofverbruik.

.

Tip 8 Het energielabel.

De aanschafbelasting op een nieuwe personenauto is afhankelijk van het energielabel. In het algemeen geldt dat kleinere auto's zuiniger zijn dan grotere auto's. Daarnaast zijn nieuwe auto's veel schoner dan oudere auto's. Dit is goed voor het milieu en de luchtkwaliteit.
Voor het milieu is ook het type brandstof van belang. Op het energielabel voor personenauto's ziet u direct hoeveel brandstof een nieuwe personenauto verbruikt en hoeveel CO2 deze uitstoot. U komt het energielabel tegen als u bij de dealer op zoek gaat naar een nieuwe auto.

Tip 9 Energievreters

Naast het type auto en uw rijstijl wordt uw brandstofverbruik nog door een aantal andere factoren bepaald:

- *De snelheid waarmee u rijdt*
- *Het gebruik van apparatuur*
- *De luchtweerstand*
- *Het gewicht in de auto*

Boven de 100 km/uur neemt het brandstofverbruik snel toe. Een constante snelheid van 90 km per uur, afhankelijk van het type auto, geeft een gemiddeld verbruik van 5,4 liter brandstof per 100 km. Bij een constante snelheid van 120 km is dat 7,7 liter (42% meer), en bij een snelheid van 140 km is dat 9,4 liter (74% meer).

Het gebruik van apparatuur verhoogt het brandstofverbruik. Airconditioning kan, als deze vaak wordt gebruikt, leiden tot een meerverbruik van 25% aan brandstof. Gebruik met beleid (alleen indien nodig) kost ongeveer 10% meer brandstof. De achterruitverwarming zorgt voor 4% tot 7% meerverbruik.

Alles wat u op of aan de auto bevestigt zorgt ook voor een hoger brandstofverbruik. Haal uw dakkoffer, imperiaal of fietsenrek dus van de auto zodra u deze niet meer nodig heeft. Hieronder staan een aantal voorbeelden. Alle auto's rijden 120 km/uur.

9,3 liter per 100 km

10,8 liter per 100 km:

12,9 liter per 100 km

De tweede auto geeft aan wat het meerverbruik is van bijvoorbeeld een ski-box op het dak. Veel mensen laten zo'n skibox de hele vakantie erop zitten omdat deze mooi gestroomlijnd is.

Alles wat u meeneemt in de auto zorgt voor een hoger brandstofverbruik. De gemiddelde automobilist neemt veel overbodige kilo's mee. Elke 10 kg extra gewicht betekent 0,1 liter meerverbruik per 100 kilometer.

Tot slot geldt dat een goed onderhouden auto een lager brandstofverbruik heeft en minder emissies uitstoot. Bovendien rijdt zo'n auto veiliger en comfortabeler.

Wisselwerking & Beweging
5 VWO – hoofdstuk 5
Uitwerkingen

§1 Inleiding

1 Grenzen van de voortbeweging op spierkracht

a. Met trappers kan vrijwel voortdurend kracht worden geleverd. De kracht is in de richting van het been, minder snel met de benen bewegen.
b. Ketting: krachtoverbrenging, 1 keer rondtrappen geeft meerdere omwentelingen.
c. Racestuur: minder luchtweerstand. Derailleur: het 'verzet' kan aangepast worden aan de omstandigheden.
d. Bijvoorbeeld energie en vermogen.
e. Ze moesten weten hoeveel kracht en energie iemand kan leveren en op welke manier de kracht en/of energie het grootst is.
f. Schaatsen, skeeleren, surfen, skisport, golf.

2 Grenzen van het menselijk lichaam

a. Rolstoel: je kunt bewegen zonder te lopen. Badlift: je kunt opgetild worden zonder grote kracht. Helling: omhoog tillen is veel zwaarder.
b. Energie, arbeid, hefboom.
c. Je moet weten hoeveel kracht en arbeid iemand (nog) kan leveren, en op welke manier dat het best gaat.
d. Bedlift, sporten.

3 Grenzen van de pret

a. De afmetingen van de installaties, de helling van de baan, afremmende krachten.
b. Energie, arbeid, wrijving.
c. Kennis over versnellingen en snelheden en de manier waarop het lichaam daarop reageert.
d. Bungeejumpen, andere attracties, sport.

4 Grenzen van het milieu

a. Alternatieve energiebronnen, lichtere voertuigen, hoger rendement, minder luchtweerstand.
b. Energie, rendement, vermogen.
c. Hoe verminder je de weerstand? Hoe wordt het rendement hoger? Welke andere energiebronnen zijn bruikbaar? Hoe kun je die toepassen in een voertuig?
d. Treinen, boten.

5 Grenzen van de Aarde

a. Betere motoren, lichter materiaal, sterker materiaal.
b. De uitstoot van gassen zorgt voor voortstuwing.
c. Hoe ontwikkel je een motor die voldoende kracht levert en zuinig met energie omgaat?
d. Satellieten in de ruimte brengen.

6 Terugblik

a. -
b. Energie, arbeid, rendement, vermogen, hefbomen.

§2 Hefbomen en krachtoverbrenging

7 Startprobleem: Jezelf omhoog tillen

a. 800 N
b. Je hangt aan twee touwen, volgens de hefboomwet is de spankracht in beide touwen gelijk. Elk touw 400 N.
c. Je verricht arbeid door het touw naar beneden te trekken, maar het is nog niet duidelijk hoe groot de arbeid en de kracht zijn.

8 Oriëntatie op krachtoverbrengingen

a. Alle situaties behalve de helling zijn een hefboom. Bij de flesopener is het draaipunt het uiteinde dat op de dop wordt gelegd. Bij de kist zijn twee draaipunten: linkeruiteinde kist en het punt waar de koevoet de grond raakt.
b. Fiets ca 1:2, Roeiboot ca. 1:2,5, Nijptang 1:5, Notenkraker 1:6 of 1:3, Perforator 1:20, Knoflookpers 1:4, Flesopener 1:6, Katrol 1:1, Kist 1:2 en koevoet 1:10.

9 Verandering van beweging

a. *kracht×afstand* is de arbeid die de kracht verricht. Als er in de hefboom geen energie verloren gaan dan moet alle arbeid die de krachten leveren gebruikt worden om de kurk omhoog te trekken. Hoe groter de afstand, des te kleiner de kracht.
b. De kurk wordt in de figuur 0,7 cm omhoog getrokken, de armen gaan ca. 4,8 cm naar beneden. $F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$ geeft $250 \times 0{,}70 = F \times 4{,}8$ en $F = 36$ N, per arm is dat 18 N.

c. Arbeid in = arbeid uit: $(F \cdot s)_{in} = (F \cdot s)_{uit}$

10 Plank als hefboom

a. r_1 = 0,85 cm en r_2 = 2,75 cm. De kracht op het uiteinde is 3,2 maal zo klein: 15N.

b. 3,2 maal zoveel, dus 16 cm

c. $(F \cdot s)_{in} = (F \cdot s)_{uit}$ geeft $F \cdot 0{,}16 = 48 \times 0{,}050 = 2{,}4$ J. Dus F = 15 N.

11 Takel van twee katrollen

a. Bij een katrol zit het draaipunt in het midden en zijn de armen gelijk. De spankracht inkc en rechts moet dus ook gelijk zijn.

b. Er zijn twee krachten F_1 omhoog die precies F_2 opheffen.

c. De kracht F_1 is de helft van kracht F_2 en de afstand is twee keer zo groot.

12 Bij de klimwand

a. Hij hangt aan twee touwen en de kracht waarmee hij aan het touw trekt werkt via het katrol op hem, naar boven gericht.

b. Hij moet zijn arm ten opzichte van zijn eigen lichaam 2x50 cm = 1,0 m naar beneden bewegen. De arbeid is gelijk, de afstand twee keer zo groot dus de kracht is de helft.

13 Perforator

a. Dwars op de stang, in de bewegingsrichting.

b. –

c. -

14 De richting van de kracht

a. –

b. In die richting is er geen verplaatsing. Alleen de component van de kracht in de richting van de beweging levert arbeid.

c. $F_{aanl} = F_1 \times \cos(35) = 246$ N

d. $W = F \cdot s = 246 \times 0{,}08 = 19{,}7$ J.

e. De verhouding van de armen is 1:2,75. De afstand is dus 8,0/2,75 = 3,0 cm.

f. $(F \cdot s)_{in} = (F \cdot s)_{uit}$ dus $19{,}7 = F \times 0{,}03$. F = 657 N.

15 Het moment van een kracht

a. $r_1 = 2{,}6 \times 10 = 26$ cm. M = 300×0,26 = 78 Nm.

b. $r_2 = 1{,}2 \times 10 = 12$ cm. M = F×0,12 = 78, dus F = 650 N.

c. arm is 3,2×10 = 32 cm. M = 246×0,32 = 79 Nm.

d. Conclusie: je kunt zowel arbeid gebruiken als de hefboomwet. Bij de hefboom meet je de arm vanaf het draaipunt loodrecht naar de lijn van de kracht.

16 Perforator

a. In de bewegingsrichting.

b. Een kracht in een andere richting moet ontbonden worden. De kracht moet dan groter zijn om een even grote kracht in de bewegingsrichting te krijgen.

17 Een helling als hefboom

a. $\sin(\alpha) = 0{,}50/5{,}0 = 0{,}10$, dus $\alpha = 5{,}74°$. $F_{z,ovst} = 200 \times \sin(\alpha) = 200 \times 0{,}1 = 20$ N.

b. 20 N.

c. De duwkracht is 10 keer zo klein als de zwaartekracht.

d. Ja, W = F·s = 20×5,0 = 100 J. Omhoog tillen: 200×0,50 = 100 J.

18 Katrol en koevoet

a. Ja de krachten zijn gelijk. De arm is bij een katrol altijd de straal van de katrol, ongeacht de richting waarin getrokken wordt.

b. -

c. -

d. $(F \cdot r)_z = (F \cdot r)_{hor}$ dus $200 \times 9{,}8 \times 0{,}4 = F \times 2{,}8$. F = 280 N

19 Luik openen

a. Richting C, dan is de kracht in de richting van de beweging.

b. De arm van de kracht is 2 keer zo groot als de arm van de zwaartekracht, de kracht is daardoor de helft van F_z = 24,5 N.

c. Richting B, dan is de kracht in de richting van de beweging.

d. arm van B is 90, arm F_z is op dezelfde schaal 41. F = 41/90×49 = 20,5 N.

20 EXTRA: wetenschapsquiz

a. Ja.

b. De spierkracht hoeft maar de helft van de zwaartekracht te zijn.

c. Om 50 cm omhoog te gaan moet de man het touw 100 cm omhoog tillen.

21 Kracht en arbeid bij een fiets

a. Trapkracht, wrijving.

b. Er gaat geen energie verloren.

c. Het pedaal draait langzamer rond en de omtrek is kleiner.

d. Als de afstand van de pedalen kleiner is dan moet de kracht wel groter zijn.

e. 2×226 cm = 4,52 m.

f. $(F\cdot s)_{in} = (F\cdot s)_{uit}$ dus F×1,13 = 15×4,52. F = 60 N.

g. De kracht wordt 4 keer zo klein.

22 Hefbomen binnen een fiets

a. Groter, 18/12 = 1,5 maal zo groot.

b. Kleiner, 36/6,0 = 6,0 maal zo klein.

c. F_1 = 60 N; F_2 = 90 N; F_3 = 90N en F_4 = 15 N.

d. Het komt overeen.

23 Roeiboot en hefboom

a. Om de kracht op het water groter te maken. De verhouding van de armen verandert.

b. Het uiteinde maakt een kleinere beweging.

c. Ze zitten in een stoeltje dat kan bewegen.

24 Wedstrijdroeien en arbeid

a. Eén slag geeft W = 520×1,1 = 572 J.

b. 520×1,2 = F×2,0 geeft F = 312 N N.

c. Door wrijving neemt de snelheid af, tijdens de slag wordt de snelheid weer groter.

d. Totale arbeid: W = P·t = 8×572×33 = 151 kJ.
W = F·s geeft F = 151.000 / 300 = 503 N.

25 Verrassende situaties

a. Kijk naar de zwaartepunten van de twee delen en gebruik de hefboomwet.

b. Gewicht te ver achter draaipunt.

c. Een kar met vier wielen gebruiken.

26 Vorkexpander

a. W = F×s = 3.000×0,01 = 30 J.

b. omtrek = 2πr = 18,8 cm, 8×18,8 = 150 cm.

c. Elke kracht: W = 15 J en s = 1,5 m, dus F = 10 N.

d. 300

§3 Sporten op topsnelheid

27 Sport en snelheid

a. –

b. 57,3 - 18,2 - 39,6 - 48,8 - 24,5 - 6,3 - 31,7 km/h

c. --

d. Minder (lucht)weerstand, beter afzetten, gebruik wielen.

e. Een ligfiets kan nog veel harder gaan.

28 Het mechanisch vermogen meten

a. 1,10×92/60 = 1,69 m

b. W = F×s = 267×1,69 = 450 Joule

c. P = W/t = 450 J/1 s = 450 watt

d. v is de afstand per seconde, dan is F×v de arbeid per seconde.

29 Vermogen meten met een ergometer

a. De ergometer levert een tegenwerkende kracht waardoor er energie verdwijnt.

b. Als W_{in} niet even groot is als W_{uit} dan moet de bewegingsenergie toe- of afnemen. Dan is de snelheid niet constant.

c. 375 W = 375 J/s

d. W = F×s geeft 375 = 41×s. s = 9,1 m

e. 9,1 m/s = 33 km/h

f. P_{uit} is de energie die per seconde verdwijnt en F×v is de arbeid per seconde van de tegenwerkende kracht.

30 De topsnelheid berekenen

a. P = F×v geeft 1500 = 0,20×v^2×v = 0,20×v^3.
Dus v^3 = 7500 en v = 19,6 m/s = 70 km/h

b. 1,1 m × 110 / 60 = 2,02 m/s

c. P = F×v geeft 1500 = F×2,02. F = 7,4·10^2 N

31 Snelheid en vermogen

a. 45 km/h = 12,5 m/s. F_{tegen} = 0,15×12,5² + 3,2 = 26,6 N.

b. P = F×v = 26,6×12,5 = 333 W

c. F_{tegen} = 0,15×10² + 3,2 = 18,2 N. P = F×v = 18,2×10 = 182 W

d. Voor 36 km/h hebben ze minder dan de helft van hun maximaal vermogen nodig. Bij 45 km/h komt het al dicht in de buurt van hun maximaal vermogen.

e. 450 = (0,15×v² + 3,2)×v geeft v = 13,9 m/s = 50 km/h

f. De helling geeft een extra tegenwerkende kracht. Ontbind de zwaartekracht,

32 Topsnelheid stepper, schaatser en skater

a. De snelheid is veel lager.

b. De stepper gebruikt één been, de kracht is niet in de richting van het strekken van het been. De voet kan maar korte tijd kracht leveren.

c. De afzet is zijwaarts (minder vermogen) en de beweging van de benen kost energie.

d. De rolwrijving van de skates is groter dan de glijwrijving op ijs. De luchtwrijving is iets groter.

e. Het bewegen van massa kost energie, zeker als het aan het uiteinde van het been zit.

33 Waardoor gaat een hardloper zo langzaam?

a. $P = F \cdot v = 9{,}0 \times 6{,}8 = 61{,}2$ W.

b. De hardloper strekt zijn been niet, maar beweegt het naar achteren. De kracht is veel kleiner.

c. De voorwaartse kracht hoeft slechts 9,0 N te zijn. Het onderbeen is al snel 5 kg en de kracht om het onderbeen te versnellen is veel groter dan 9 N.

d. Bij wielrennen bepaalt het vermogen grotendeels de snelheid, bij hardlopen vooral het energieverlies aan het bewegen van lichaamsdelen.

e. $P_{in} = 2000$ W, $P_{uit} = 61{,}2$ W. $\eta = 3{,}1\%$

f. Bij hardlopen gaat veel energie verloren aan de beweging van lichaamsdelen. Met een goede techniek is het energieverlies te beperken.

34 Zwemmen en roeien

a. Nee, de boot haalt een veel hogere snelheid. De waterwrijving is uiteindelijk even groot als de gemiddelde voortstuwende kracht en die is bij een boot groter.

b. Een zwemmer kan met zijn benen weinig kracht zetten. Zijn handen hebben weinig grip op het water, het blad van de roeispaan is veel groter.

c. De armen en benen bewegen veel meer. Er gaat ook veel energie verloren bij het rondspattende water.

35 Het voordeel van een verzet bij wielrennen

a. De snelheid van de trappers is dan veel lager dan de fietssnelheid, de fietser hoeft minder snel met zijn benen te bewegen.

b. Licht verzet is: kleine F en grote v. Zwaar verzet is: grote F en kleine v. Het product $F \times v$ kan even groot zijn.

c. Bij een te licht verzet gaat er veel energie verloren aan het bewegen van de benen, bij een te zwaar verzet wordt de kracht te groot (verzuring). Een wielrenner kiest het verzet dat het best bij hem past.

d. Bij roeien (draaipunt veranderen).

36 Steppen

a. De snelheid neemt geleidelijk af na de afzet.

b. De afzet duurt 0,5 s, het uitrollen 3,0 s. De snelheidsverandering is gelijk, dus de versnelling tijdens de afzet is zes keer zo groot en de kracht dus ook.

c. Uitrollen: $a = \Delta v/\Delta t = 0{,}6 / 3{,}0 = 0{,}2$ m/s² en versnellen: $a = \Delta v/\Delta t = 0{,}6 / 0{,}5 = 1{,}2$ m/s².

d. $F_w = m \cdot a = 67 \times 0{,}2 = 13{,}4$ N.

e. De totale kracht is: $F_{res} = 67 \times 1{,}2 = 80{,}4$ N. De afzetkracht is: $F_v = F_{res} + F_w = 93{,}8$ N.

f. $v_{gem} = 3{,}7$ m/s; $P = F_v \cdot v = 93{,}8 \times 3{,}7 = 347$ W.

g. Hij levert slechts 1/7^e deel van de tijd energie.

37 Onderzoek – meet je eigen vermogen

38 Traploopwedstrijd

a. Je moet heel veel extra arbeid verrichten.

b. Ongeveer gelijk aan de zwaartekracht.

c. $E = m \cdot g \cdot h = 70 \times 9{,}81 \times 84 = 57{,}7$ kJ.

d. Tijd voor traplopen is 166,5 s. $P = W/t = 57{,}7$ kJ / 166,5 s = 347 W.

39 Hoe hard kun je zelf fietsen?

a. $P = F \cdot v = 15 \times 5 = 75$ W.

b. 6,8 m/s = 24 km/h

c. De luchtwrijving is evenredig met v². Bij een hogere snelheid zijn F en v beiden groter.

d. Als $v = 5{,}0$ dan is $F_{w,l} = 10$ N. $F = c \cdot\cdot v^2$ geeft $c = F/v^2 = 10/5^2 = 0{,}4$.

e. $F = 5{,}0 + 0{,}4 \cdot v^2 = 5 + 0{,}4 \times 10^2 = 45$ N. $P = F \cdot v = 45 \times 10 = 450$ W.

f. $P = F_{tegen} \cdot v = (5{,}0 + 0{,}4 \cdot v^2) \times v$

g. Bij bijvoorbeeld $P = 550$ W wordt $v = 10{,}7$ m/s = 38,7 km/h.

h. De formule wordt dan: $P = (5{,}0 + 0{,}3 \cdot v^2) \times v$. Met bijvoorbeeld $P = 550$ W wordt $v = 11{,}8$ m/s = 42,5 km/h

40 Hoe hard kun je zelf op een ligfiets?

a. $k = ½ \cdot c_w \cdot A \cdot \rho = 0{,}5 \times 0{,}11 \times 0{,}30 \times 1{,}09 = 0{,}018$.

b. $P = (3{,}1 + 0{,}018 \cdot v^2) \times v$ met bijvoorbeeld $P = 550$ W wordt dat $v = 29{,}4$ m/s = 106 km/h.

c. Bij v = 130,1 kmh = 36,1 m/s wordt $P = (3{,}1 + 0{,}018 \cdot v^2) \times v = 959$ W. Bij $v = 24{,}0$ m/s wordt het $P = 323$ W.

d. Hij zit in een kleine ruimte en de houding is niet optimaal om een groot vermogen te leveren.

41 Vliegen op menskracht

a. $v = 9{,}7$ m/s eon $P = F \cdot v$ geeft $F = 184/9{,}7 = 18{,}9$ N.

b. De luchtweerstand moet zo klein mogelijk zijn, en 18,9 N is veel kleiner dan de zwaartekracht.

c. Daardoor is de luchtweerstand klein.

d. Totale massa is 113,5 kg, liftkracht is 1,11 kN.

e. $F_{w,l} / F_{lift} = 1113/18{,}9 = 59$.

f. De Flycycle heeft een extreem hoog glijgetal.

g. $F_{w,l} = c \cdot v^2$ met $v = 9{,}7$ en $F = 18{,}9$ wordt dan: $c = 0{,}20$. Dat geeft $P = 0{,}20 \cdot v^3$. Bij 300 W is dan $v = 11{,}4$ m/s = 41,2 km/h

h. De kans is niet erg groot.

42 Wind mee of wind tegen

a. 2,7 m/s = 9,7 km/h.

b. 8,3 m/s = 30 km/h.

c. Bij windstil weer: 18000 m met 5 m/s = 3600 s = 1 uur. Bij wind geldt: heen is 9000/2,7 = 3333 s; terug is 9000/8,3 = 1084. Totaal 4417 s. Bij wind duurt het dus 817 s langer (ruim 13 minuten).

d. Ja, want het vermogen is constant en de tijd groter. ($E = P \cdot t$). Of via arbeid en kracht; Heen: $F = P/v = 75/2{,}7 = 27{,}8$ N. Terug $F = 75/8{,}3 = 9{,}0$ N. Gemiddeld 18,4 N.

43 Klimrecord op l'Alpe d'Huez

a. $\sin(\alpha) = 1{,}061/13{,}8 = 0{,}077$. $\alpha = 4{,}4°$

b. $F_{ovst} = F_z \times \sin(\alpha) = 62{,}5 \times 9{,}81 \times 0{,}077 = 47{,}2$ N

c. $v = 13.600 / (37 \times 60 + 15) = 6{,}2$ m/s. $F = 0{,}21 \cdot v^2 = 0{,}21 \times 7{,}3^2 = 8{,}0$ N.

d. $F_{tegen} = F_{w,r} + F_{w,l} + F_{helling} = 47{,}2 + 3{,}0 + 0{,}21v^2$.

e. $P = F \times v = 58{,}2 \times 6{,}2 = 361$ W. Het vermogen op de website klopt niet.

f. Kies b.v. $F_{w,l} = 0{,}25v^2$, $F_{w,r} = 4{,}0$ N en $F_{helling} = (8{,}5+75) \times 9{,}81 \times \sin(\alpha) = 63{,}1$ N. Met P = 200 W levert dat v = 2,9 m/s. Tijd is 1,32 uur.

44 Hardlopen op een berg

a. 13.800 m in 3300 s geeft v = 4,2 m/s.

b. $F_{z,ovst} = 0{,}077 \times 72 \times 9{,}81 = 54{,}4$ N. $W = F \cdot s = (54{,}4+5{,}5) \times 13.800 = 827$ kJ.

c. 827 kJ in 3300 s geeft P = 250 W.

d. Bij het strekken van de benen tilt de hardloper zichzelf op. Hij moet per stap een veel grotere kracht leveren en dus meer arbeid. er gaat relatief minder energie verloren aan het bewegen van de benen.

45 Wat gebeurt er met de energie?

a. $F_{z,ovst} = 62{,}5 \times 9{,}81 \times 0{,}077 = 47{,}2$ N. $W = F \cdot s = 47{,}2 \times 13.800 = 651$ kJ.

b. $F_z = 62{,}5 \times 9{,}81 = 613$ N. $W = F \cdot s = 613 \times 1061 = 651$ kJ.

c. De energie komt vrij als bewegingsenergie als Pantani zich laat afdalen.

d. $W = F \cdot s = F_z \cdot h = m \cdot g \cdot h$

e. Bij lichte renners wordt er minder energie omgezet in zwaarte-energie. Op het vlakke zijn ze in het nadeel omdat ze minder spiermassa hebben dan zware renners.

46 Waar komt de energie vandaan?

a. 804 kJ = 20%, dus totale energie is 4,0 MJ.

b. 4,0 MJ / 18,6 kJ = 216 gram.

c. $E = 350 \times 7200 = 2{,}52$ MJ = 20 %. Totaal 12,6 MJ = 677 gram.

d. Verbruikt 12,6 MJ en geleverd $W = 35 \times 7200 = 252$ kJ, dat is 2,0 %.

e. 6500 kcal = 27,3 MJ = 1,47 kg.

47 EXTRA - Kleine en grote wielrenners

a. -

b. -

c. 400 w / 54 kg = 7,4 W/kg.

d. De renners met het hoogste vermogen per kg.

e. Omdat het gewicht bij klimmen 80-90% van de inspanning bepaalt.

f. renner 1: $P = (5{,}0+0{,}162 \cdot v^2) \cdot v$ $\rightarrow v = 12{,}26$ m/s = 44,1 km/h. renner 2: $P = (5{,}7+0{,}170 \cdot v^2) \cdot v$ $\rightarrow$ $v = 12{,}37$ m/s = 44,5 km/h.

g. renner 1: $F_{z,ovst} = 0{,}077 \times 68{,}5 \times 9{,}81 = 51{,}7$ N. renner 2: $F_{z,ovst} = 0{,}077 \times 78{,}5 \times 9{,}81 = 59{,}3$ N

h. renner 1: $P = (56{,}7+0{,}162 \cdot v^2) \cdot v$ geeft $v = 5{,}8$ m/s = 20,9 km/h. renner 2: $P = (65{,}0+0{,}170 \cdot v^2) \cdot v$ geeft $v = 5{,}58$ m/s = 20,1 km/h.

i. Het verschil in de klim is twee keer zo groot, en op het vlakke heb je niet zoveel aan 0,4 km/h harder fietsen.

§ 4 Zuiniger rijden in het verkeer

48 Oriëntatie op de situatie

a. rijsnelheid, snel optrekken, veel remmen, hoog toerental.

b. stroomlijn, bandenspanning, type brandstof, rendement motor.

c. -

d. De rijsnelheid (tip 7 en 9) en zo min mogelijk optrekken en afremmen (tip 2, 3 en 4)

e. Constante snelheid en versnellen.

49 Arbeid en kracht bij constante snelheid

a. $5{,}5 \times 33 \cdot 10^6 = 1{,}8 \cdot 10^8$ J

b. 24% daarvan is $4{,}36\text{x}.10^7$ J

c. $W_{in} = W_{uit}$ en s is gelijk, dus F ook.

d. $W = F \times s$ geeft $4{,}36 \cdot 10^7 = F \times 100.000$, dat geeft F = 436 N.

e. $F_{w,l} = 426 – 210 = 226$ N.

f. $W = 6{,}1 \cdot 10^7$ J, F = 610 N en $F_{w,l} = 400$ N.

50 Brandstofverbruik bij hoge snelheid

a.

snelheid (km/h)	60	90	120	150	180
verbruik	3,9	5,5	7,7	10,5	14,0
totale kracht (N)		436	610		
luchtwrijving (N)	100	226	400	625	900

b. 120/90 = 1,333 en 400/1,33² = 226 N. Klopt

c. Zie tabel.

d. Zie tabel.

e. Bij hoge snelheden neemt het verbruik sterk toe.

51 Niet 100 maar 80 km/h

a. Omdat $F_{w,l} \sim v^2$ is de luchtweerstand bij 80 km/h: 225×(80/90)² = 178 N en bij 100 km/h: 225×(100/90)² = 278 N.

b. De reductie van het brandstofverbruik is evenredig met de totale kracht, die wordt verlaagd van 488 N naar 388 N, dat is 20% lager.

52 Rendement auto

a. P = F·v geeft F = 55.000/50 = 1,1 kN.

b. W = F·s = 1100×100.000 = 110 MJ.

c. 1 liter is 33 MJ, 14 liter = 462 MJ.

d. 110/462 = 0,24.

53 Luchtwrijving en rolwrijving

a. $F_{w,l} = 0{,}5 \times 0{,}32 \times 1{,}97 \times 1{,}22 \times 50^2 = 961$ N.

b. $F_{w,l} = 427$, $F_{tegen} = 607$ N, W = 607×100.000 = $6{,}07 \cdot 10^7$ J. $E_{ch} = 2{,}53 \cdot 10^8$ J = 7,7 L per 100 km.

c. $F_{w,r} = 180 \times (1700/1250) = 245$ N, $F_{w,l} = 542$ N $F_{tegen} = 786$ N, verbruik is 9,9 L/100 km.

d. 2,2 L extra per 100 km. Bij 3000 km: 66 L.

54 Oriëntatie op de situatie

a. Bij circa 130 km/h.

b. Onregelmatige snelheid, veel optrekken.

55 Energie voor optrekken

a. -

b. F = m·a geeft a = 2,5 m/s². v = a×t geeft t = 13,9 / 2,5 = 5,56 s.

c. s = ½·a·t² = 38,6 m. W = F·s = 3000×38,6 = 116 kJ.

d. E = W = m×a × ½×a×t² = ½×m×a²×t². Omdat v = a·t geldt v² = a²·t².

e. ½m·v² = 0,5×1200×13,9² = 116 kJ.

56 Brandstof voor optrekken

a. E_{ch} = 116 kJ / 0,18 = 644 kJ. Dat is 0,02 L benzine.

b. Constante snelheid: 3,6 L voor 100 km betekent voor 5,0 km 0,18 L benzine. Bij een stadsrit is dat 0,42 L. Verschil 0,24 L.

c. 12 keer

57 Arbeid en energie bij afremmen

a. E = 0,5×15.000×25² = 4,7 MJ

b. W = F×s geeft F = 94 kN.

c. W = afname energie

58 Zuinigheidswereldrecord

a. Ongeveer 0,5 m², $F_{w,l}$ = 0,5×0,12×0,5×1,27×6,7² = 1,7 N.

b. W = F·s = 3,7×3.789.000 = 14 MJ. Het rendement moet dan 42% zijn geweest. Dat is erg hoog voor een automotor.

59 Energie en vermogen van de Nuna 4

a. 200/10 + 220/6 = 56,7 N.

b. 90 km/h = 25 m/s. P = F·v = 56,7×25 = 1,4 kW.

c. P = F·v = 420×25 = 10,5 kW.

d. De zonnecellen leveren 13,3% van het vermogen.

e. De auto verbruikt 250×5,3 = 1325 liter benzine per jaar. 13,3% daarvan is 176 liter.

f. Zonne-energie kan slechts een deel van de energie overnemen. Er is dus altijd een dubbel systeem nodig. De besparing weegt niet op tegen de kosten.

60 Topsnelheid van de Nuna 4

a. $1{,}39 \cdot 10^3 \times 6 = 8{,}34$ J/s.

b. rendement zonnecel 26%, motor 98%, dat geeft 2,13 kW.

c. P = F·v

d. v = 29,6 m/s = 107 km/h

e. P wordt dan 1,5 maal zo groot = 3,19 kW, en v = 34,8 m/s = 125 km/h.