

4 Energie en arbeid

Brandstofverbruik en veiligheid in het verkeer



Inhoud

- 4.1 Inleiding
- 4.2 Energiesoorten
- 4.3 Arbeid
- 4.4 Arbeid en warmte
- 4.5 Rendement
- 4.6 Vermogen
- 4.7 Keuzeonderwerpen:
 - A Brandstofverbruik in het verkeer
 - B Benzineauto of elektrische auto
 - C Veilig botsen
- 4.8 Afsluiting

SLO_KoKo

Lesmateriaalvoorbeeld | Kwadrant D | Context op afstand

2015 | Koos Kortland

4.1 Inleiding



Figuur 1 Minder brandstofverbruik en meer veiligheid in het verkeer: een kwestie van energie en arbeid.

Elke dag zijn in Nederland miljoenen mensen onderweg van huis naar werk of school, en omgekeerd. Een groot deel van dat verkeer is gemotoriseerd. Daarbij wordt brandstof, zoals benzine, dieselolie en lpg, verbruikt. Brandstofverbruik in het verkeer heeft milieueffecten: uitputting (van de voorraad fossiele brandstoffen, in dit geval aardolie) en vervuiling (van de lucht, in dit geval met stikstofoxiden NO_x en koolstofdioxide CO_2). Om deze milieueffecten te verminderen wordt voortdurend gezocht naar mogelijkheden om het brandstofverbruik te beperken. Dat kan door auto's kleiner te maken en een betere stroomlijn te geven, of door de rijsnelheid te beperken. Maar dat kan ook door benzineauto's in te ruilen voor elektrische auto's.

Een ander aspect van het verkeer is de verkeersveiligheid. Bij botsingen kunnen grote krachten op het lichaam werken. Om schade aan het lichaam zoveel mogelijk te voorkomen, zijn veiligheidsmaatregelen genomen: de autogordel, airbag en kreukelzone in de auto, maar ook de valhelm voor motor-, brommer- en scooterrijders (en zelfs fietsers).

Dit hoofdstuk gaat over energie en arbeid. Dat zijn de natuurkundige begrippen die een hoofdrol spelen bij bewegingen in het verkeer, zowel bij het rijden met een constante snelheid op een autosnelweg als bij de vertraagde beweging van het lichaam bij een botsing. Daarmee is te begrijpen hoe op het brandstofverbruik in het verkeer te besparen is, en hoe de autogordel, airbag, kreukelzone en valhelm de schade aan het lichaam bij een botsing beperken.

Hoofdstukvraag

Welke rol spelen energie en arbeid bij bewegingen met een constante en met een veranderende snelheid?

Voorkennis

- 1 Bij bewegingen is sprake van *energieomzettingen*: energie van de ene soort wordt omgezet in energie van een andere soort.
 - a Welke soorten energie ken je? Met welke formule kun je elk van die soorten energie uitrekenen? Wat stellen de symbolen in elk van die formules voor?
 - b Welke energieomzettingen ken je? Geef minstens twee voorbeelden.
 - c Hoe is het rendement van een apparaat gedefinieerd?
 - d Hoe is het vermogen van een apparaat gedefinieerd?
- 2 Bij bewegingen is niet alleen sprake van energieomzettingen. Ook *kracht* en *snelheid* spelen een rol.
 - a Welke soorten kracht ken je? Met welke formule kun je elk van die krachten uitrekenen? Wat stellen de symbolen in elk van die formules voor?
 - b Hoe is de snelheid bij een beweging gedefinieerd?
 - c Hoe is de resulterende kracht (of netto-kracht) op een voorwerp gedefinieerd?
 - d Welk verband is er tussen de resulterende kracht (of netto-kracht) op een voorwerp en de beweging van dat voorwerp?

4.2 Energiesoorten

Bij bewegingen is sprake van verschillende *energiesoorten*. Om een voorwerp in beweging te brengen en te houden is energie nodig (bijvoorbeeld chemische energie in brandstof of voedsel), en krijgt het voorwerp energie van een andere soort (bijvoorbeeld kinetische energie of zwaarte-energie).

Paragraafvraag

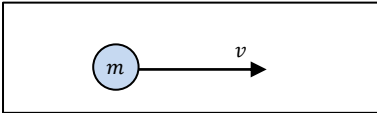
Welke energiesoorten spelen een rol bij bewegingen?

Kinetische energie

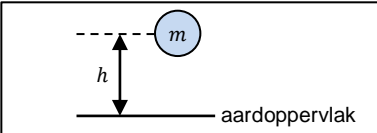
Een voorwerp dat beweegt heeft energie: *kinetische energie* of *bewegings-energie* (symbool: E_k). De kinetische energie van een voorwerp hangt af van de massa en de snelheid van het voorwerp:

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

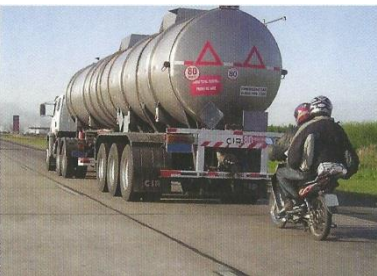
In deze formule is E_k de kinetische energie (in J), m de massa (in kg) en v de



Figuur 2 Een bewegend voorwerp heeft kinetische energie.



Figuur 3 Een voorwerp boven het aardoppervlak heeft zwaarte-energie.



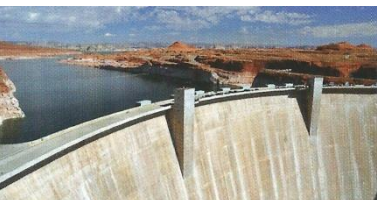
Figuur 4 In een brandstof ligt chemische energie opgeslagen.

Energiesoorten

Naast kinetische energie, zwaarte-energie en chemische energie zijn er nog andere energiesoorten, zoals elektrische energie, veerenergie, stralingsenergie en warmte.



Figuur 5 Een windturbine levert elektrische energie.



Figuur 6 Een waterkrachtcentrale levert elektrische energie met behulp van de energie die in een stuwmeer is opgeslagen.

snelheid (in m/s) van het voorwerp.

Zwaarte-energie

Een voorwerp dat is opgetild heeft energie: **zwaarte-energie** (symbool: E_z). Zwaarte-energie heeft te maken met zwaartekracht. De zwaartekracht zorgt er bij het vallen voor dat het voorwerp versnelt: een snelheid, en dus kinetische energie krijgt. De zwaarte-energie van een voorwerp hangt af van de massa en de hoogte van het voorwerp:

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

In deze formule is E_z de zwaarte-energie (in J), m de massa (in kg) en h de hoogte (in m) van het voorwerp boven de grond. De valversnelling g is $9,8 \text{ m/s}^2$ (op aarde).

Chemische energie

In een brandstof of in voedsel is energie opgeslagen: **chemische energie** (symbool: E_{ch}). Die chemische energie komt vrij bij het verbranden van de brandstof in een motor of van het voedsel in het lichaam. De hoeveelheid energie die per kilogram of per liter brandstof vrijkomt, noemen we de **verbrandingswarmte** (symbool: r_m of r_v , afhankelijk van de soort brandstof: vast of vloeibaar/gasvormig). De in een brandstof opgeslagen chemische energie hangt af van de massa of het volume en de verbrandingswarmte van de brandstof:

$$E_{\text{ch}} = r_m \cdot m$$

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

In deze formules is E_{ch} de chemische energie (in J), r_m de verbrandingswarmte (in J/kg), m de massa, r_v de verbrandingswarmte (in J/m^3) en V het volume (in m^3) van de brandstof.

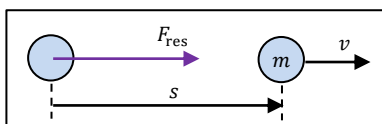
- 3 De energiebron voor bewegen is meestal chemische energie.
 - a Noem twee voorbeelden van chemische energie.
 - b Leg uit dat in een elektrische auto chemische energie is opgeslagen, maar in een elektrische trein niet.
- 4 In een elektriciteitscentrale staan grote generatoren (dynamo's), die elektrische energie leveren.
 - a Welke soort energie is de energiebron bij conventionele centrales, die op aardgas of steenkool werken?
 - b Welke soort energie is de energiebron bij de windturbines van figuur 5?
 - c Welke soort energie is de energiebron bij de waterkrachtcentrale bij het stuwmeer van figuur 6?
- 5 De vrachtwagen en de motor in figuur 4 rijden met dezelfde snelheid.
 - a Bij welk voertuig is de kinetische energie het grootst?
 - b Bij welk voertuig is de zwaarte-energie het grootst?
 - c Bij welk voertuig is de (opgeslagen) chemische energie het grootst?
- 6 Hoeveel keer zo groot wordt de kinetische energie van een voorwerp als het met een $2 \times$ zo grote snelheid gaat bewegen?
- 7 Hoeveel keer zo groot wordt de zwaarte-energie van een voorwerp als het tot een $1,5 \times$ zo grote hoogte wordt opgetild?
- 8 Bepaal in elk van de volgende drie situaties van welke energiesoort er sprake is, en bereken de hoeveelheid energie.
 - a Een auto met een massa van 950 kg rijdt met een constante snelheid van 50 km/h over een horizontale weg.
 - b Een gewichtheffer houdt een halter met een massa van 90 kg op een hoogte van 2,3 m boven de grond.
 - c De brandstoftank van een auto bevat 35 L benzine.

4.3 Arbeid

Bij bewegingen wordt de ene energiesoort omgezet in een andere energiesoort. Daarbij spelen de krachten op een voorwerp een belangrijke rol, doordat ze

Paragraafvraag

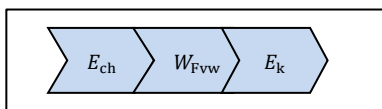
Welke rol spelen krachten bij energie-omzettingen?



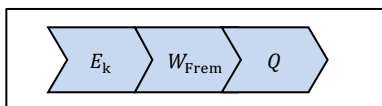
Figuur 7 De resulterende kracht F_{res} (of netto-kracht) op een voorwerp verricht arbeid bij een verplaatsing s . De verandering van de kinetische energie van het voorwerp is gelijk aan de arbeid die de resulterende kracht verricht. Bij een resulterende kracht in de bewegingsrichting (optrekken), neemt de kinetische energie van het voorwerp toe. Bij een resulterende kracht tegen de bewegingsrichting in (afremmen), neemt de kinetische energie van het voorwerp af.

9 W Practicum: arbeid en kinetische energie

In deze opdracht controleer je de wet van arbeid en kinetische energie door metingen aan een bewegend voorwerp op een luchtkussenbaan.



Figuur 8 Bij optrekken (dus: toenemende snelheid) wordt chemische energie via arbeid van de voorwaartse kracht omgezet in kinetische energie.



Figuur 9 Bij remmen (dus: afnemende snelheid) wordt kinetische energie via arbeid van de remkracht omgezet in warmte.

arbeid verrichten.

Kracht en arbeid

Een kracht verricht arbeid. Deze arbeid heeft in de natuurkunde een andere betekenis dan in het dagelijks leven. Bij arbeid denk je misschien aan werken in de fabriek, of achter je computer een verslag schrijven. Natuurkundig gezien lever je arbeid als je de trap op klimt, een eind fietst of een plank doorzaagt. De motor van een auto verricht arbeid tijdens het rijden.

De **arbeid** (symbool: W) die een kracht verricht, is de hoeveelheid energie die door de kracht wordt omgezet voor een beweging. Voor het verrichten van arbeid is niet alleen een kracht nodig, maar ook een verplaatsing. De arbeid hangt af van de kracht en de verplaatsing:

$$W = F \cdot s$$

In deze formule is W de arbeid (in J), F de kracht (in N) en s de verplaatsing (in m). Uit de formule volgt de eenheid van arbeid: *newton-meter* (afgekort: Nm).

Voor deze eenheid geldt: $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$.

De formule om de arbeid van een kracht te berekenen geldt alleen als de kracht F en de verplaatsing s dezelfde of tegengestelde richting hebben.

Arbeid en kinetische energie

Een voorwerp versnelt of vertraagt door een kracht. De kracht op het voorwerp verricht arbeid, en de kinetische energie van het voorwerp neemt toe. De verandering van de kinetische energie van het voorwerp is gelijk aan de arbeid van de kracht die op het voorwerp werkt. En als er meer dan één kracht op het voorwerp werkt, dan gaat het om de totale arbeid van alle krachten. Dit noemen we de **wet van arbeid en kinetische energie**. In de vorm van een formule is deze wet te schrijven als:

$$W_{tot} = \Delta E_k$$

In deze formule is W_{tot} de totale arbeid (in J) van alle krachten die op het voorwerp werken, en ΔE_k de verandering van de kinetische energie (in J) van het voorwerp. De totale arbeid is ook op te vatten als de netto-arbeid: de arbeid van de resulterende kracht (of netto-kracht) op het voorwerp.

Zwaarte-energie en kinetische energie

De wet van arbeid en kinetische energie is ook toe te passen op een vallend voorwerp. Op een hoogte h boven de grond heeft het voorwerp zwaarte-energie. Tijdens het vallen neemt deze zwaarte-energie af. De zwaartekracht zorgt ervoor dat het voorwerp tijdens het vallen versnelt: de snelheid, en dus de kinetische energie van het voorwerp neemt tijdens het vallen toe. De arbeid die de zwaartekracht verricht, is gelijk aan de verandering van de kinetische energie van het voorwerp: $W_{F_z} = F_z \cdot h = m \cdot g \cdot h = \Delta E_k$. Hierin herkennen we $m \cdot g \cdot h$ als de zwaarte-energie E_z van het voorwerp bij de start van de valbeweging, of als de verandering ΔE_z van de zwaarte-energie van het voorwerp tijdens de val. De wet van arbeid en kinetische energie is dan in dit geval te schrijven als: $\Delta E_z = \Delta E_k$. Maar dat mag alleen als de valbeweging plaatsvindt onder invloed van *alleen* de zwaartekracht. Als er sprake is van een tegenwerkende luchtweerstandskracht, dan wordt een deel van de zwaarte-energie van het voorwerp tijdens de val omgezet in warmte. De kinetische energie van het voorwerp neemt dan minder toe dan de zwaarte-energie van het voorwerp afneemt.

Arbeid en energieomzetting

Steeds wanneer een kracht arbeid verricht, wordt er energie omgezet.

Chemische energie wordt via arbeid van de spierkracht omgezet in kinetische energie van een voorwerp (bij het omhoog gooien van een voorwerp, vóór het loslaten). Kinetische energie wordt via arbeid van de zwaartekracht omgezet in zwaarte-energie (bij het omhoog bewegen van het voorwerp, na het loslaten). Zwaarte-energie wordt via arbeid van de zwaartekracht omgezet in kinetische energie (bij het vallen van het voorwerp). En kinetische energie wordt via arbeid van de normaalkracht omgezet in warmte (als het vallende voorwerp de grond raakt).

10 Een auto trekt vanuit stilstand over een afstand van 35 m op naar een snelheid van 50 km/h. Neem aan dat de versnelling van de auto constant is.

De luchtweerstand wordt verwaarloosd.

Als de auto met dezelfde kracht optrekt naar een snelheid van 100 km/h, is daarvoor een langere tijd en een grotere afstand nodig.

- a Leg uit dat de tijd waarin de auto optrekt tot 100 km/h $2 \times$ zo lang is als de tijd bij het optrekken tot 50 km/h.
 - b Leg uit dat voor het optrekken tot 100 km/h een afstand van 140 m nodig is.
- 11 Met een katapult schiet je een steentje recht omhoog. Geef voor elk van de vier delen van de beweging van het steentje hieronder aan welke energie-omzetting er plaatsvindt en welke kracht daarbij arbeid verricht.
- a Het wegschieten van het steentje.
 - b Het omhoog bewegen van het steentje na het wegschieten.
 - c De val van het steentje.
 - d De botsing van het steentje met de grond.
- 12 Een voorwerp valt vanaf een hoogte h zonder luchtweerstand omlaag naar de grond. Laat zien dat de snelheid v waarmee het voorwerp de grond raakt, gegeven wordt door: $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$. Hierin is g de valversnelling.
- 13 Een zwaar en een licht voorwerp worden op dezelfde hoogte losgelaten. De luchtweerstand is verwaarloosbaar.
- a Hebben beide voorwerpen dezelfde zwaarte-energie? Zo nee, bij welk voorwerp is de zwaarte-energie het grootst?
 - b Leg met behulp van energie uit dat de snelheid waarmee beide voorwerpen de grond raken even groot is.
- 14 Een auto rijdt met een constante snelheid van 30 m/s. Onder normale omstandigheden is de remweg van de auto bij deze snelheid 60 m. Op een glad wegdek is de remkracht $2 \times$ zo klein.
- a Wordt de remweg daardoor groter of kleiner?
 - b Leg met behulp van het begrip arbeid uit dat de remweg omgekeerd evenredig is met de remkracht.
 - c Hoe groot is dan de remweg op een glad wegdek?
Uit veiligheidsoverwegingen halveert de automobilist zijn snelheid.
 - d Leg uit of de remweg van de auto op het gladde wegdek nu weer 60 m is, of groter of kleiner.
- 15 Een kogel met een massa m van 0,20 kg wordt met een verticale snelheid v van 40 m/s omhoog geschoten. Tijdens de hele beweging is de luchtweerstand verwaarloosbaar klein.
- a Bereken de kinetische energie van de kogel vlak ná het afschieten.
 - b Hoe groot is dan zijn zwaarte-energie in het hoogste punt van de beweging?
 - c Welke hoogte bereikt de kogel maximaal?

4.4 Arbeid en warmte

Voor bewegen met een constante snelheid is een voorwaartse kracht op een voorwerp nodig. Die voorwaartse kracht verricht voortdurend arbeid. Toch neemt de kinetische energie van het voorwerp niet toe, want de snelheid is constant. Er vindt dus een andere energieomzetting plaats. Dat heeft te maken met de tegenwerkende wrijvingskrachten.

Paragraafvraag

Welke rol spelen wrijvingskrachten bij energieomzettingen?

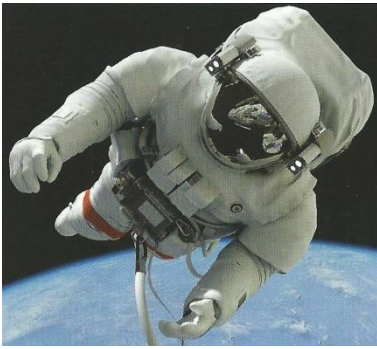
Wrijvingsarbeid

Bij bewegen met een constante snelheid is een voorwaartse kracht nodig om de beweging in stand te houden, tegen de tegenwerkende wrijvingskrachten in. De geleverde energie wordt omgezet in een andere energiesoort: **warmte**.

Als je in je handen wrijft, voel je dat je handen warm worden. Er wordt chemische energie via beweging omgezet in warmte. Deze omzetting noemen we **wrijvingsarbeid**.

Rol- en luchtweerstand

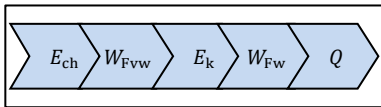
Bij bewegen is de luchtweerstand vaak een belangrijke 'tegenstander'. Want door



Figuur 10 In de ruimte is er geen lucht en dus ook geen luchtweerstand. Er is daar dan ook geen kracht nodig om een beweging in stand te houden: satellieten draaien rondjes om de aarde zonder energie te gebruiken.



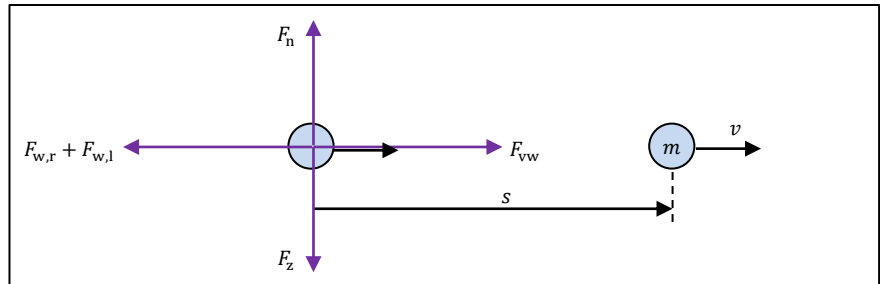
Figuur 11 De invloed van luchtweerstand is goed merkbaar als een ruimtecapsule terugkeert in de dampkring van de aarde. Er is dan zelfs een hiteschild nodig om te voorkomen dat de capsule smelt.



Figuur 13 Bij rijden met constante snelheid wordt chemische energie via arbeid van de voorwaartse kracht omgezet in kinetische energie, en uiteindelijk via wrijvingsarbeid van de tegenwerkende krachten omgezet in warmte.

die luchtweerstand wordt er voortdurend energie van de beweging omgezet in warmte. Deze warmte wordt afgegeven aan de lucht en het oppervlak waar die lucht langs stroomt. Daar merk je normaal gesproken niets van, want de temperatuurstijging is heel klein en de langsstromende lucht zorgt ook voor afkoeling.

Als je met een voertuig op een horizontale weg rijdt, zijn de rol- en luchtweerstandskracht $F_{w,r}$ en $F_{w,l}$ de enige tegenwerkende krachten. Bij een constante snelheid is er sprake van krachtenevenwicht: in de horizontale richting is de voorwaartse kracht F_{vw} op het voertuig precies even groot als de totale tegenwerkende kracht. Dus: $F_{vw} = F_{w,r} + F_{w,l}$.



Figuur 12 De voorwaartse kracht F_{vw} verricht arbeid en zorgt daarmee voor de omzetting van chemische energie in kinetische energie. De tegenwerkende krachten $F_{w,r}$ en $F_{w,l}$ verrichten wrijvingsarbeid, en zorgen daarmee voor een omzetting van kinetische energie in warmte.

De snelheid, en dus ook de kinetische energie van het voertuig blijft gelijk. De chemische energie die wordt omgezet in kinetische energie is dan even groot als de kinetische energie die door wrijving wordt omgezet in warmte.

De rolweerstandskracht $F_{w,r}$ op een voertuig hangt af van de massa van het voertuig en van de vervorming van de oppervlakken die elkaar raken (de banden en het wegdek). Deze rolweerstandskracht wordt gegeven door:

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

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

In deze formule geeft de normaalkracht F_n de invloed van de massa m . Want: bij het rijden op een horizontale weg is de normaalkracht even groot als de zwaartekracht: $F_n = F_z = m \cdot g$. Hierin is m de massa (in kg) en g de valversnelling ($9,81 \text{ m/s}^2$). De rolweerstandscoefficiënt c_r geeft de invloed van de vervorming: hoe kleiner de vervorming is, des te kleiner is de c_r -waarde.

De luchtweerstandskracht $F_{w,l}$ op een voertuig hangt af van de snelheid, het frontaal oppervlak en de stroomlijn. Hoe kleiner de snelheid en het frontaal oppervlak zijn en hoe beter de stroomlijn is, des te kleiner is de luchtweerstandskracht. Deze luchtweerstandskracht wordt gegeven door:

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

In deze formule is $F_{w,l}$ de luchtweerstandskracht (in N), c_w de luchtweerstandscoefficiënt (zonder eenheid), A het frontaal oppervlak (in m^2), ρ de dichtheid van de lucht (in kg/m^3), en v de snelheid (in m/s).

In deze formule geeft de luchtweerstandscoefficiënt c_w de invloed van de stroomlijn: hoe beter de stroomlijn is, des te kleiner is de c_w -waarde.

16 Leg uit waardoor de remmen van een voertuig tijdens het remmen warm worden.

17 Een voorwerp valt als gevolg van de luchtweerstandskracht met een constante snelheid. Van welke energieomzettingen is bij deze beweging sprake? Geef bij elke energieomzetting aan welke kracht daarbij arbeid verricht.

18 Een voorwerp wordt met een bepaalde snelheid vanaf de grond verticaal omhoog gegooid. Tijdens de beweging is sprake van een luchtweerstandskracht.

kracht op het voorwerp.

- a** Van welke energieomzettingen is bij deze beweging sprake? Geef bij elke energieomzetting aan welke kracht daarbij arbeid verricht.
- b** Leg uit waardoor de snelheid waarmee het voorwerp weer op de grond terecht komt kleiner is dan de snelheid waarmee het omhoog werd gegooid.
- 19** Als een auto een bepaalde afstand rijdt, verricht de voorwaartse kracht op de auto arbeid.
- a** Hoeveel keer zo groot is deze arbeid als de auto met dezelfde snelheid een $3 \times$ zo grote afstand aflegt?
- b** Hoeveel keer zo groot is deze arbeid als de auto een $3 \times$ zo grote afstand aflegt met een $2 \times$ zo grote voorwaartse kracht, waardoor de snelheid groter is?
- c** Welke andere krachten verrichten ook nog arbeid op de auto?
- d** Noem een kracht die op de auto werkt zonder arbeid te verrichten.
- 20** Bij een snelheid van 90 km/h verbruikt een auto 6,7 L benzine voor het afleggen van een afstand van 100 km. De auto heeft een massa van 800 kg.
- a** Bereken de verbruikte hoeveelheid chemische energie bij het afleggen van een afstand van 100 km.
- b** Bereken de rol- en de luchtweerstandskracht op de auto bij een snelheid van 90 km/h. Zie de tabel van figuur 14 voor de benodigde gegevens.
- c** Bereken de arbeid die de motor heeft verricht tijdens de rit.
- d** Bereken de warmte die tijdens de rit is afgegeven aan de omgeving (inclusief de auto zelf).

grootheid	
c_r	0,015
c_w	0,35
A	$2,0 \text{ m}^2$
ρ	$1,3 \text{ kg/m}^3$

Figuur 14

4.5 Rendement

Bij het verbranden van brandstof komt warmte vrij. Deze warmte is rechtstreeks te gebruiken voor verwarming, maar ook om een motor arbeid te laten leveren of om de turbine-generatorcombinatie in een elektriciteitscentrale te laten draaien voor de productie van elektrische energie. En elektrische energie is dan weer om te zetten in onder andere kinetische energie (elektromotor) en stralingsenergie (lamp).

Bij al deze energieomzettingen wordt de ene soort energie (bijvoorbeeld chemische energie in brandstof) door een energieomzetter (een apparaat) omgezet in een andere, gewenste soort energie. Het rendement geeft aan hoe goed zo'n energieomzetter zijn werk doet.

Paragraafvraag

Hoe groot is het rendement van energieomzettingen?

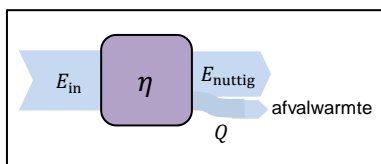
Energiebehoud

Bij elke energieomzetting is de totale hoeveelheid energie die de energieomzetter *in* gaat even groot als de totale hoeveelheid energie die de energieomzetter *uit* komt. Met andere woorden: bij elke energieomzetting blijft de totale hoeveelheid energie *behouden*. Dit noemen we de **wet van behoud van energie**. In de vorm van een formule is deze wet te schrijven als:

$$E_{\text{tot,in}} = E_{\text{tot,uit}}$$

In deze formule zijn $E_{\text{tot,in}}$ en $E_{\text{tot,uit}}$ de totale hoeveelheid energie (in J) die de energieomzetter in gaat en uit komt.

Maar bij elke energieomzetting wordt slechts *een deel* van de toegevoerde energie omgezet in een nuttige (of gewenste) energiesoort. De rest gaat verloren in de vorm van warmte. Die warmte – waar we niets mee doen – zouden we **afvalwarmte** kunnen noemen (zie figuur 15).



Figuur 15 Energie-stroomdiagram van een energieomzetter.

Rendement

Het rendement van een energieomzetter geeft aan welk deel van de omgezette energie wordt geleverd in de vorm van nuttige (of gewenste) energie:

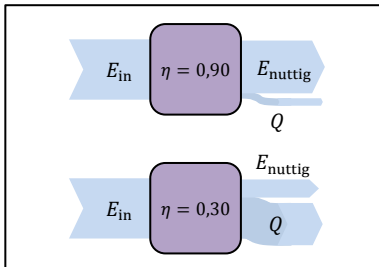
$$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}}$$

In deze formule is η het rendement (zonder eenheid), E_{nuttig} de geleverde nuttige energie (in J) en E_{in} de omgezette energie (in J).

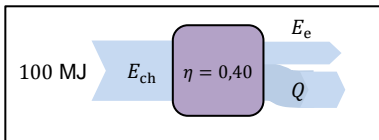
In deze formule mag je de energie E ook vervangen door het vermogen P . Want: het gaat om de nuttige en omgezette energie in dezelfde tijdsduur. Bij een tijdsduur van 1 s is deze energie gelijk aan het vermogen:

$$\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}}$$

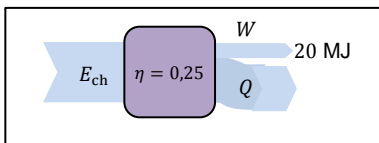
In deze formule is η het rendement (zonder eenheid), P_{nuttig} het geleverde nuttige vermogen (in W) en P_{in} het omgezette vermogen (in W).



Figuur 16 Energieomzetting met een hoog rendement (boven) en een laag rendement (onder).



Figuur 17 Energie-stroomdiagram van een elektriciteitscentrale.



Figuur 18 Energie-stroomdiagram van een automotor.

26 W Practicum: rendement meten

In deze opdracht meet je het rendement van een of meer energieomzetters, zoals een kookplaat, een elektromotor en een gloeilamp.

Paragraafvraag

Welk verband is er tussen voorwaartse kracht, snelheid en vermogen?

Het rendement kan worden opgegeven als getal of in de vorm van een percentage. Met de twee formules hierboven bereken je het rendement in de vorm van een getal. Met als resultaat bijvoorbeeld een rendement van 0,21. Dit is dan ook op te geven in de vorm van een percentage: een rendement van $0,21 \cdot 100\% = 21\%$.

Het rendement van een energieomzetter is altijd kleiner dan 1 (of 100%), omdat de geleverde nuttige energie altijd slechts een deel is van de omgezette energie. In figuur 16 zie je: hoe groter het rendement is, des te groter is het deel dat wordt omgezet in nuttige energie en des te kleiner is het deel dat wordt omgezet in (onbenutte) afvalwarmte. Met andere woorden: hoe groter het rendement is, des te beter doet een energieomzetter zijn werk.

21 In figuur 17 zie je het energie-stroomdiagram van een energieomzetter: een elektriciteitscentrale.

- Bereken de hoeveelheid elektrische energie en de hoeveelheid afvalwarmte die de energieomzetter levert.
- Bereken de hoeveelheid aardgas die de energieomzetter verbruikt.

22 In figuur 18 zie je het energie-stroomdiagram van een energieomzetter: een automotor.

- Bereken de hoeveelheid chemische energie die de energieomzetter verbruikt.
- Bereken de hoeveelheid afvalwarmte die de energieomzetter levert.

23 Voor normaal fietsen met een snelheid van 25 km/h moet het menselijk lichaam per seconde 125 J arbeid leveren. De door het lichaam omgezette chemische energie is daarbij zo'n 625 J per seconde. Bereken het rendement van het menselijk lichaam bij deze manier van voortbewegen.

24 Een gasgestookte elektriciteitscentrale met een rendement van 0,40 (of 40%) levert een elektrisch vermogen van 65 MW. Bereken het brandstofverbruik van de centrale (in m^3 aardgas per jaar).

25 Een spaarlamp met een elektrisch vermogen van 18 W geeft evenveel licht als een gloeilamp van 75 W. Het rendement van een gloeilamp is 0,09 (of 9%). Bereken het rendement van de spaarlamp.

4.6 Vermogen

De voorwaartse kracht op een rijdend voertuig verricht arbeid. Daarbij is niet alleen de hoeveelheid arbeid van belang, maar ook de tijd waarin die arbeid moet worden verricht. Als een auto hard rijdt, is een grote voorwaartse kracht nodig en wordt per seconde een grote afstand afgelegd. De motor levert dan in korte tijd veel arbeid, en dus een groot vermogen.

Arbeid en vermogen

Bij het rijden levert een motor arbeid. Die arbeid wordt geleverd in een bepaalde tijd. De arbeid die de motor per seconde levert, noemen we het **mechanisch vermogen** (symbool: P_m) van de motor:

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

In deze formule is P_m het mechanisch vermogen (in J/s of W), W de geleverde arbeid (in Nm of J) en t de tijdsduur (in s) waarin de arbeid wordt geleverd.

Uit de formule volgt de eenheid van mechanisch vermogen: *joule per seconde* (afgekort: J/s). Dit is – net als bij het eerder behandelde elektrisch vermogen – hetzelfde als de eenheid *watt* (afgekort: W): $1 \text{ J/s} = 1 \text{ W}$.

Snelheid en vermogen

Een voertuig dat met een constante snelheid v rijdt, legt in een bepaalde tijd t een afstand s af. Voor de constante snelheid van dat voertuig geldt: $v = s/t$.

Om een voertuig met een bepaalde (constante) snelheid te laten rijden, moet de motor een bepaald mechanisch vermogen leveren. Het verband tussen dit mechanisch vermogen en de snelheid is af te leiden uit de arbeidsformule: $W = F_{vw} \cdot s$. Voor het mechanisch vermogen geldt dan: $P_m = W/t = F_{vw} \cdot s/t$. Hierin is s de afstand die wordt afgelegd, en t de tijd waarin dat gebeurt. De breuk s/t in de formule is niets anders dan de snelheid. Het vervangen van de breuk s/t door de snelheid v levert de volgende formule voor het mechanisch vermogen:

$$P_m = F_{vw} \cdot v$$

In deze formule is P_m het mechanisch vermogen (in J/s of W), F_{vw} de voorwaartse kracht (in N) en v de snelheid (in m/s).

27 De motor van een auto levert bij een snelheid van 100 km/h een mechanisch vermogen van 25 kW.

- a** Bereken de arbeid die de motor verricht tijdens een rit van 1,5 uur.
- b** Bereken de voorwaartse kracht op de auto tijdens deze rit.

28 Een zwemmer legt de 400 m vrije slag af in een tijd van 4,00 minuten en levert daarbij 144 kJ arbeid.

- a** Bereken de voorwaartse kracht op de zwemmer tijdens de race.
- b** Bereken het mechanisch vermogen van de zwemmer.

29 Voor het leegpompen van een kelder moet $4,4 \text{ m}^3$ water binnen een tijd van 1,5 uur over een afstand van 1,3 m omhoog worden gepompt. Bereken hoe groot het mechanisch vermogen van de waterpomp minstens moet zijn.

30 Leg uit waardoor bij een $2 \times$ zo grote snelheid het mechanisch vermogen méér dan $2 \times$ zo groot moet zijn.

31 Een wielrenner kan gedurende een lange tijd een mechanisch vermogen van 400 W leveren. De voorwaartse kracht op de wielrenner hangt onder andere af van zijn snelheid v . Bij een voorovergebogen houding van de wielrenner wordt deze voorwaartse kracht gegeven door: $F_{vw} = 0,16 \cdot v^2$. Deze voorwaartse kracht is gelijk aan de tegenwerkende luchtweerstandskracht. De tegenwerkende rolweerstandskracht wordt dus verwaarloosd.

- a** Bereken de snelheid van deze wielrenner.
- b** Leg uit waardoor in de praktijk de snelheid van deze wielrenner wat kleiner zal zijn.



Figuur 19 Bij een mechanisch vermogen van 400 W bereikt een wielrenner een snelheid van zo'n 50 km/h.

4.7 Keuzeonderwerpen

De inhoud van dit hoofdstuk over energie en arbeid is toe te passen op situaties in het verkeer, zoals in de volgende keuzeonderwerpen over brandstofverbruik, de elektrische auto en veilig botsen.

A Brandstofverbruik in het verkeer

Een automotor verbruikt brandstof. In die brandstof ligt chemische energie opgeslagen. Die energie wordt door de motor omgezet in arbeid (verricht door de voorwaartse kracht op het voertuig), en uiteindelijk in warmte. Brandstofverbruik in het verkeer heeft milieueffecten: uitputting (van de voorraad fossiele brandstoffen, in dit geval aardolie) en vervuiling (van de lucht, in dit geval met stikstof-oxiden NO_x en koolstofdioxide CO_2). Om deze milieueffecten te verminderen wordt voortdurend gezocht naar mogelijkheden om het brandstofverbruik te

Paragraafvraag

Hoe is het brandstofverbruik in het verkeer zoveel mogelijk te beperken?

beperken.

- 32** Als je op de autosnelweg met een $2 \times$ zo grote snelheid rijdt, ben je in de helft van de tijd op je bestemming. Het brandstofverbruik is dan a) $2 \times$ zo klein, b) even groot, c) $2 \times$ zo groot, of d) meer dan $2 \times$ zo groot. Kies het juiste antwoord en geef een toelichting op je keuze. Of leg uit waardoor je deze vraag (nog) niet kunt beantwoorden.

Het brandstofverbruik van een voertuig hangt af van de arbeid die de motor moet leveren, maar ook van het rendement van de motor. Voor de geleverde arbeid geldt: $W = F_{vw} \cdot s$. Voor het rendement geldt: $\eta = E_{\text{nuttig}}/E_{\text{in}} = W/E_{\text{ch}}$. Het combineren van deze twee formules geeft de volgende formule voor de omgezette chemische energie:

$$E_{\text{ch}} = \frac{W}{\eta} = \frac{F_{vw} \cdot s}{\eta}$$

Uit deze formule volgt dat bij het afleggen van een bepaalde afstand s de omgezette chemische energie (en dus het brandstofverbruik) afhangt van de voorwaartse kracht F_{vw} op het voertuig en van het rendement η van de motor. Een laag brandstofverbruik ontstaat dus door te zorgen voor een kleine voorwaartse kracht (en dus: een kleine rol- en luchtweerstandskracht) op het voertuig en een hoog rendement van de motor.

- 33** Om het brandstofverbruik van een voertuig te berekenen, wordt de volgende formule gebruikt: $E_{\text{ch}} = F_{vw} \cdot s/\eta$. Deze formule lijkt erop te wijzen dat het brandstofverbruik niet afhangt van de snelheid. Is dit inderdaad zo? Leg uit waarom wel of niet.

- 34** Bij een onderzoek naar het brandstofverbruik van een nieuw automodel is bij verschillende waarden van de snelheid v de grootte van de totale wrijvingskracht F_w op de auto gemeten. De meetresultaten staan in de tabel van figuur 20. De auto heeft een benzinemotor met een rendement van 0,25 (of 25%).

- a** Bereken bij elk van de drie snelheden de hoeveelheid chemische energie die de motor verbruikt bij het afleggen van een afstand van 100 km.
b Bereken bij elk van de drie snelheden het brandstofverbruik van de auto.
c Hoeveel keer zo groot wordt dit brandstofverbruik (ongeveer) als de snelheid verdubbelt (van 60 naar 120 km/h)?

v (km/h)	F_w (N)
60	$3,6 \cdot 10^2$
100	$6,8 \cdot 10^2$
120	$9,0 \cdot 10^2$

Figuur 20



Figuur 21 Een lagere maximumsnelheid betekent minder brandstofverbruik in het verkeer.

- 35** Om de milieueffecten van het verkeer te beperken is onder andere voorgesteld om de maximumsnelheid van 130 km/h op autosnelwegen (weer) terug te brengen tot 100 km/h. In deze opgave ga je na hoeveel daardoor het brandstofverbruik afneemt.

Een personenauto heeft (leeg) een massa van 800 kg. De rolweerstandskracht wordt gegeven door $F_{w,r} = 0,015 \cdot F_n$. De luchtweerstandskracht op de redelijk gestroomlijnde auto wordt gegeven door $F_{w,l} = 0,45 \cdot v^2$. Het rendement van de benzinemotor is 0,23 (of 23%).

- a** Bereken het brandstofverbruik (in L/100 km) bij een snelheid van 130 en 100 km/h.
b Wat is je conclusie: met hoeveel procent neemt het brandstofverbruik af door een lagere maximumsnelheid (100 in plaats van 130 km/h)?

- 36** Eén van de mogelijkheden om het brandstofverbruik in het verkeer te beperken is rijden met een lagere snelheid.

- a** Welke andere mogelijkheden zijn er om het brandstofverbruik in het verkeer te beperken?
b Welke alternatieven zijn er voor het gebruik van brandstoffen (of verbrandingsmotoren) in het verkeer?

- 37** Lees het artikel hieronder over een nieuw wereldrecord voor de afgelegde afstand op één liter benzine.

1 op 3.789 kilometer

Het zuinigheidswereldrecord is gebroken. Op de Shell Eco-marathon in het Britse Rockingham slaagden studenten erin om met één liter benzine 3789 kilometer en 520

meter af te leggen. Met een extreem gestroomlijnd voertuig en op speciale banden met een ultralage rolweerstand werd het record gevestigd. Het oude record stond op 1 op 3625.

Bron: *Utrechts Nieuwsblad*

Om dit wereldrecord te vestigen heeft het team zijn uiterste best moeten doen om de rol- en luchtweerstand van hun voertuig zo laag mogelijk te houden, en het motorrendement zo hoog mogelijk te maken. De rolweerstandskracht op het voertuig is slechts 2,0 N. Verder heeft het voertuig een extreem lage c_w -waarde van 0,12 en een frontaal oppervlak A van $0,80 \text{ m}^2$. Tijdens de test moest het voertuig een minimale snelheid aanhouden van 15 mijl per uur (wat overeenkomt met 24 km/h) bij een luchtdichtheid ρ van $1,27 \text{ kg/m}^3$.
Bereken het rendement van de motor in dit voertuig.

Paragraafvraag

Hoe is het brandstofverbruik in het verkeer te beperken door omschakeling op elektrisch rijden?



Figuur 22 Het opladen van een elektrische auto met stroom uit het elektriciteitsnet.

B Benzineauto of elektrische auto

Een automotor verbruikt brandstof. In die brandstof ligt chemische energie opgeslagen. Die energie wordt door de motor omgezet in arbeid (verricht door de voorwaartse kracht op het voertuig), en uiteindelijk in warmte. Brandstofverbruik in het verkeer heeft milieueffecten: uitputting (van de voorraad fossiele brandstoffen, in dit geval aardolie) en vervuiling (van de lucht, in dit geval met stikstof-oxiden NO_x en koolstofdioxide CO_2). Om deze milieueffecten te verminderen wordt voortdurend gezocht naar mogelijkheden om het brandstofverbruik te beperken. Eén van die mogelijkheden is het inruilen van een auto met verbrandingsmotor door een elektrische auto.

- 38** Een elektrische auto gebruikt geen chemische energie (in brandstof), maar elektrische energie als energiebron. Daardoor is, vergeleken met het brandstofverbruik van een auto met verbrandingsmotor, het brandstofverbruik van een elektrische auto a) nul, b) kleiner, c) vrijwel even groot, of d) groter. Kies het juiste antwoord en geef een toelichting op je keuze. Of leg uit waardoor je deze vraag (nog) niet kunt beantwoorden.

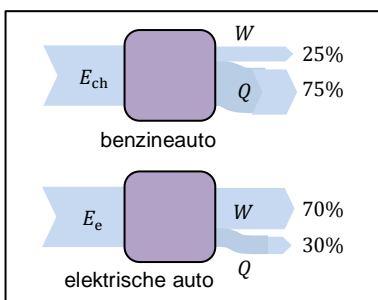
Het elektriciteitsverbruik van een elektrische auto hangt af van de arbeid die de motor moet leveren, maar ook van het rendement van de motor. Voor de geleverde arbeid geldt: $W = F_{vw} \cdot s$. Voor het rendement geldt: $\eta = E_{\text{nuttig}}/E_{\text{in}} = W/E_e$. Het combineren van deze twee formules geeft de volgende formule voor de omgezette elektrische energie:

$$E_e = \frac{W}{\eta} = \frac{F_{vw} \cdot s}{\eta}$$

Uit deze formule volgt dat bij het afleggen van een bepaalde afstand s de omgezette elektrische energie afhangt van de voorwaartse kracht F_{vw} op het voertuig en van het rendement η van de motor.

- 39** In figuur 23 zie je het energie-stroomdiagram van een benzineauto en een elektrische auto. Het gegeven rendement van deze voertuigen is een redelijk gemiddelde schatting, maar hangt in de praktijk bij vooral de elektrische auto af van de gebruikte techniek voor onder andere de manier van elektriciteitsvoorziening en -opslag.

- a** Voor welke energieomzetting zorgt de motor in elk van de twee auto's?
b Bij welke soort auto is het rendement van de energieomzetting het grootst: bij de benzineauto of bij de elektrische auto?
 De elektrische energie voor een elektrische auto is geproduceerd in een elektriciteitscentrale. Zo'n centrale zet chemische energie in brandstof (steenkool) met een rendement van 40% om in elektrische energie. Overigens kan een moderne aardgasgestookte centrale een hoger rendement hebben (tot zo'n 60%).
c Teken het energie-stroomdiagram van de omzetting van chemische energie in de steenkoolgestookte centrale via elektrische energie naar arbeid door de motor in een elektrische auto.
d Hoe groot is het rendement van de energieomzetting in de elektriciteits-



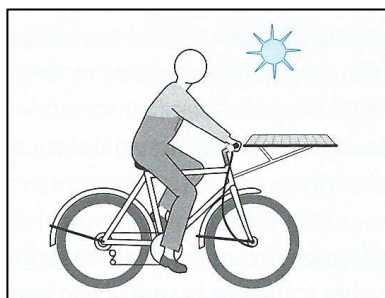
Figuur 23 Energie-stroomdiagram van een benzineauto (boven) en van een elektrische auto (onder).

centrale en in de elektrische auto samen?

- e Geef commentaar op de volgende uitspraak: "Het rendement van een elektrische auto is veel hoger dan het rendement van een benzineauto."
- 40 Maak een vergelijking tussen het brandstofverbruik van een benzineauto en een elektrische auto, als de elektriciteit wordt geproduceerd door een steenkoolgestookte elektriciteitscentrale. Hoeveel keer zo groot of klein is het brandstofverbruik van een elektrische auto, vergeleken met dat van een benzineauto onder verder vergelijkbare omstandigheden?



Figuur 24 Zonnepanelen zetten stralingsenergie van de zon om in elektrische energie.



Figuur 25 Fietsen op zonne-energie. Als de accu door het zonnepaneel is volgeladen, kan deze fiets een afstand van bijna 50 km afleggen. Schijnt onderweg de zon, dan haalt de fiets een snelheid van 13 km/h zonder de accu te gebruiken.

- 41 Een elektrische auto wordt pas echt "schoon" als de benodigde elektrische energie wordt geproduceerd met duurzame energiebronnen als zon en wind. De opbrengst aan elektrische energie van zes zonnepanelen op het dak van een woning is 1200 kWh per jaar.
- a Bereken de jaarproductie van elektrische energie in J. De door de zonnepanelen geproduceerde elektrische energie wordt via opslag in accu's volledig gebruikt voor de aandrijving van een elektrische auto. De auto heeft (leeg) een massa van 800 kg. De rolweerstandskracht wordt gegeven door $F_{w,r} = 0,015 \cdot F_n$. De luchtweerstandskracht op de redelijk gestroomlijnde auto wordt gegeven door $F_{w,l} = 0,45 \cdot v^2$. Het rendement van de elektrische auto is 0,70 (of 70%).
- b Bereken de afstand die de auto met een snelheid van 100 km/h kan afleggen op de door de zonnepanelen geleverde elektrische energie.
- c Wat is je conclusie: is het aantal zonnepanelen groot genoeg voor het afleggen van een afstand van (bijvoorbeeld) 12.000 km per jaar? En zo nee: welke maatregelen zou de automobilist/bewoner kunnen nemen om de per jaar af te leggen afstand groter te maken?
- 42 De fiets in figuur 25 is voorzien van een zonnepaneel. De zonnecellen op dat paneel zetten de invallende stralingsenergie van de zon om in elektrische energie. Een elektromotor zorgt vervolgens voor de aandrijving. In de tabel van figuur 26 staan enkele technische gegevens van deze zonnefiets. Ga met een berekening na of deze fiets op een zonnige dag inderdaad – zoals in het onderschrift van figuur 25 staat – een snelheid van 13 km/h haalt zonder de accu te gebruiken.

stralingsintensiteit (op een zonnige dag)	I	500 W/m ²
oppervlakte zonnepaneel	A	0,70 m ²
rendement zonnepaneel	η_{zp}	0,10 (of 10%)
rendement elektromotor en overbrenging	η_{em}	0,50 (of 50%)
totale wrijvingskracht (bij een snelheid van 13 km/h)	F_w	5 N

Figuur 26

Paragraafvraag

Hoe beperken veiligheidsmaatregelen als de autogordel, airbag en kreukelzone de schade aan het lichaam bij een botsing?



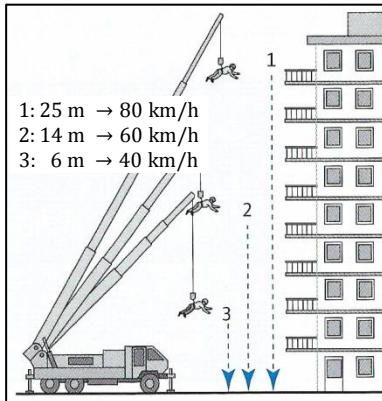
Figuur 27 De autogordel en airbag remmen het lichaam geleidelijk af bij een botsing.

C Veilig botsen

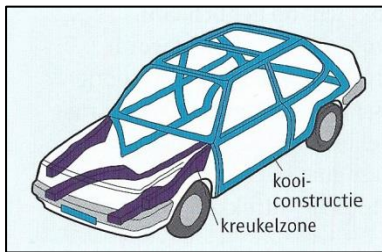
Bij botsen is sprake van een (al dan niet eenparig) vertraagde beweging. Er wordt op het voertuig en op de inzittenden een remkracht uitgeoefend, die de snelheid terugbrengt tot nul.

- 43 Bij een botsing remmen de autogordel en airbag je lichaam af tot stilstand voordat je tegen het stuur of dashboard botst. Als je vóór de botsing met een $2 \times z_0$ grote snelheid rijdt, dan is de remkracht van de autogordel en airbag op je lichaam a) $2 \times z_0$ klein, b) even groot, c) $2 \times z_0$ groot, of d) meer dan $2 \times z_0$ groot. Kies het juiste antwoord en geef een toelichting op je keuze. Of leg uit waardoor je deze vraag (nog) niet kunt beantwoorden.

Om schade aan het lichaam bij botsen zoveel mogelijk te voorkomen, zijn veiligheidsmaatregelen genomen: de autogordel, airbag en kreukelzone in de auto. Het effect van deze veiligheidsmaatregelen is te verklaren met de wet van arbeid en kinetische energie: $W_{\text{tot}} = \Delta E_k$. Het voertuig en de inzittenden hebben een snelheid v , en dus kinetische energie: $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$. En de remkracht F_{rem} op het



Figuur 28 De snelheid waarmee het lichaam de grond raakt bij vallen vanaf een verschillende hoogte.



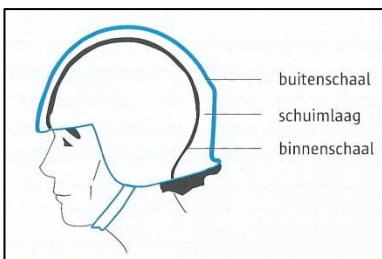
Figuur 29 De kreukelzone van een auto frommelt bij een botsing vrij gemakkelijk in elkaar.

47 W Practicum: lichaamskracht meten

In deze opdracht meet je de kracht waarmee je jezelf schrap kunt zetten, en ga je na of dat voldoende is om een botsing 'op te vangen'.



Figuur 30 Rimpelbuisobstakelbeveiliging



Figuur 31 Valhelm

voertuig en de inzittenden moet ervoor zorgen dat deze over een bepaalde afstand s worden afgeremd, waarbij deze kracht arbeid verricht: $W_{\text{Frem}} = F_{\text{rem}} \cdot s$. Bij botsen neemt de kinetische energie af tot nul, en dus is de verandering ΔE_k van de kinetische energie gelijk aan de kinetische energie E_k vóór het botsen. De wet van arbeid en kinetische energie is dan te schrijven als:

$$F_{\text{rem}} \cdot s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Bij een gegeven snelheid vóór het botsen heeft het product $F_{\text{rem}} \cdot s$ een bepaalde waarde. De benodigde remkracht op het voertuig en op de inzittenden is dus kleiner te maken (met minder schade aan het lichaam) door de afstand groter te maken. En dat is wat de drie genoemde veiligheidsmaatregelen doen: de afstand waarover de inzittenden bij een botsing worden afgeremd tot stilstand groter maken.

- 44** In figuur 28 worden de gevolgen van het niet dragen van de autogordel bij een botsing vergeleken met het vallen van een bepaalde hoogte. Kies één van de hoogtes in de tekening. Controleer met een berekening of de bij die hoogte gegeven informatie over de snelheid waarmee het lichaam de grond raakt juist is. Ga er daarbij van uit dat de luchtweerstandskracht verwaarloosbaar klein is ten opzichte van de zwaartekracht.
- 45** Bij botsen zonder autogordel en airbag remt het voertuig af, maar de inzittenden niet: die bewegen in eerste instantie met dezelfde snelheid rechtdoor, omdat ze nergens door worden afgeremd.
- a** Leg uit dat de remkracht op de inzittenden bij de botsing van het lichaam met het stuur of dashboard zeer groot zal zijn.
Bij botsen met autogordel en airbag rekt de autogordel uit en remt het lichaam van de inzittenden "geleidelijk" af over de afstand tot het stuur of dashboard.
- b** Leg uit dat de remkracht op de inzittenden nu veel kleiner zal zijn, vergeleken met botsen zonder gordel en airbag.
- 46** De autogordel en airbag remmen het lichaam van de bestuurder van een auto bij een botsing af over een afstand van 30 cm tot het stuur. De auto is voorzien van een kreukelzone, die bij de botsing over een afstand van 50 cm indeukt.
- a** Bereken de remkracht van de autogordel op het lichaam van de bestuurder met een massa van 75 kg bij een botsing met een snelheid van 50 km/h.
- b** Hoeveel keer zo groot is deze remkracht bij een botsing met een $2 \times$ zo grote snelheid?
- 48** Kan de kreukelzone in een auto het dragen van een autogordel vervangen? Leg uit waarom wel of niet.
- 49** Voor de pijlers van een viaduct over een autosnelweg staat soms een rimpelbuisobstakelbeveiliging (afgekort: rimob), zoals in figuur 30. Welke functie heeft zo'n rimob? Welke eigenschap moet een rimob daarom hebben?
- 50** In figuur 31 zie je de doorsnede van een valhelm voor motor-, brommer- en scooterrijders.
- a** Leg uit hoe de valhelm er bij een botsing voor zorgt dat de kracht op het hoofd beperkt blijft.
- b** Een valhelm die de klap bij een botsing heeft opgevangen en er daarna nog goed uitziet, mag toch niet meer worden gebruikt. Leg uit waarom niet.
- 51** Eén van de mogelijkheden om de veiligheid bij botsingen te vergroten is het dragen van een autogordel.
- a** Welke andere mogelijkheden zijn er om de veiligheid bij botsingen te vergroten?
- b** Welke van die mogelijkheden heeft te maken met het gedrag van verkeersdeelnemers?
- 52** De wet van arbeid en energie geldt niet alleen voor botsen, maar ook voor remmen (om bijvoorbeeld een botsing te voorkomen). Daarbij moet echter

ook rekening worden gehouden met de reactietijd van zo'n 1 s tussen het zien dat je moet remmen en het daadwerkelijk beginnen met remmen. De wrijvingskracht tussen het wegdek en de banden (de remkracht) is op een droge asfaltweg $7,2 \cdot 10^3$ N voor een auto met een massa van 800 kg. De remweg hangt onder andere af van de snelheid.

- a** Bereken de remweg op een droge asfaltweg bij een snelheid van 50 km/h en bij een $2 \times$ zo grote snelheid (100 km/h). Welk verband is er tussen remweg en snelheid?

Bij een kleinere remkracht is de remweg langer. Op een natte asfaltweg is de wrijvingskracht tussen wegdek en banden $1,5 \times$ zo klein als op een droge asfaltweg.

- b** Bereken de remweg op een natte asfaltweg bij een snelheid van 50 km/h.

- c** Bij welke snelheid zal de remweg op een natte asfaltweg even groot zijn als de remweg op een droge asfaltweg bij een snelheid van 50 km/h?

- 53** Op een mistige dag is het zicht beperkt tot 50 m. Dat betekent dat een automobilist de weg over een afstand van 50 m kan overzien. De wrijvingskracht tussen het wegdek en de banden (de remkracht) is op een droge asfaltweg $7,2 \cdot 10^3$ N voor een auto met een massa van 800 kg.

Laat met een berekening zien wat onder deze omstandigheden een veilige rijnsnelheid is.

4.8 Afsluiting

Samenvatting

De inhoud van dit hoofdstuk over energie en arbeid bij bewegingen met een constante en met een veranderende snelheid is als volgt samen te vatten.

- Energie is te onderscheiden in verschillende energiesoorten: kinetische energie, zwaarte-energie, chemische energie en warmte (maar ook elektrische energie, veerenergie en stralingsenergie).
- Bij een energieomzetting wordt de ene energiesoort omgezet in één of meer andere energiesoorten.
- Een energieomzetting wordt veroorzaakt door de arbeid van één of meer krachten.
- Bij een energieomzetting zonder tegenwerkende wrijvingskrachten geldt de wet van arbeid en kinetische energie.
- Bij een energieomzetting met tegenwerkende wrijvingskrachten wordt de wrijvingsarbeid van deze krachten omgezet in warmte.
- Bij elke energieomzetting geldt de wet van behoud van energie: de totale energie die een energieomzetter in gaat is gelijk aan de totale energie die de energieomzetter uit komt.
- Bij elke energieomzetting ontstaat afvalwarmte, waardoor het rendement van een energieomzetter altijd kleiner dan 1 (of 100%) is: de geleverde nuttige energie is kleiner dan de omgezette energie.
- Het mechanisch vermogen is de door een kracht per seconde verrichte arbeid, en hangt bij bewegingen af van de kracht en de snelheid.

- 54** Maak een overzicht van de formules die bij energieomzettingen een rol spelen. Geef bij elk symbool in die formules aan welke grootheid dat symbool voorstelt, en wat de bijbehorende eenheid is.

- 55** Maak een begrippenweb over energieomzettingen waarin je laat zien welke verbanden er zijn tussen de verschillende grootheden uit de samenvatting hierboven. Vul het begrippenweb waar mogelijk aan met de formules voor het verband tussen de verschillende grootheden uit opdracht 54.

