



# Blok 8

## INHOUD

### BASISSTOF

T0	Energie-omzettingen	198
W0	200	
T1	In training	200
W1	203	
T2	Vermogen	203
W2	205	
T3	Topprestaties	206
W3	208	
T4	Arbeid en energie	209
W4	212	
T5	Hoogspringen	213
W5	215	

### HERHAALSTOF

H1	Begrippen uit dit blok	217
H2	Oefenen, oefenen, oefenen...	219
H3	Oefenen met examenopgaven	222

## LEERDOELEN

- 1 Je moet een aantal energiesoorten kennen en aan kunnen geven welke energie-omzettingen er plaatsvinden. [P0, T0, W0]
- 2 Je moet weten wat men in de natuurkunde onder het begrip arbeid verstaat. [P1, T1, W1]
- 3 Je moet de formules voor de arbeid kennen en kunnen gebruiken:  $W = F \cdot s$ . [P1, T1, W1]
- 4 Je moet weten dat de verrichte arbeid
  - positief is als kracht en verplaatsing dezelfde richting hebben;
  - negatief is als kracht en verplaatsing tegengesteld gericht zijn. [T1, W1]
- 5 Je moet de formules voor het vermogen kennen en kunnen gebruiken:  $P = W/t$ . [T2, W2]
- 6 Je moet opgaven kunnen maken met  $P = W/t$  en  $W = F \cdot s$ . [T2, W2]
- 7 Je moet weten wat bewegingsenergie is. [P3, T3, W3]





# Sport en energie

- 8** Je moet de formule voor bewegingsenergie kennen en kunnen gebruiken:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2. \text{ [P3, T3, W3]}$$

- 9** Je moet weten wat zwaarte-energie is.  
[P3, T3, W3]

- 10** Je moet de formule voor zwaarte-energie kennen en kunnen gebruiken:  $E_z = m \cdot g \cdot h$ . [T3, W3]

- 11** Je moet weten dat de verrichte arbeid gelijk is aan de verandering van de bewegingsenergie.  
[T4, W4]

- 12** Je moet weten wat de wet van behoud van mechanische energie inhoudt. [T5, W5]

- 13** Je moet de wet van behoud van mechanische energie in een formulevorm kunnen schrijven. [T5]

- 14** Je moet de wet van behoud van mechanische energie kunnen toepassen. [T5, W5]

- 15** Je moet de verschillende formules uit de mechanica kennen en kunnen gebruiken. [T5, W5]

# TO Energie-omzettingen

## Mechanische energie

Al eerder heb je geleerd dat er verschillende soorten energie zijn. Dit blok gaat over twee bijzondere soorten energie: *bewegingsenergie* en *zwaarte-energie*. Beide energiesoorten zijn vormen van *mechanische energie*. Aan de hand van een aantal voorbeelden uit de sport ontdek je hoe een voorwerp aan bewegingsenergie of aan zwaarte-energie komt. Je hebt ook geleerd dat verschillende soorten energie in elkaar omgezet kunnen worden. Daarbij gaat nooit energie verloren. Dit noemen we *de wet van behoud van energie*. Bij de omzetting van bewegingsenergie in zwaarte-energie en omgekeerd spreken we over *de wet van behoud van mechanische energie*. In dit blok bespreken we de wet van behoud van mechanische energie aan de hand van een aantal voorbeelden uit de sport.

FIG. 1

energiesoort	voorbeeld
chemische energie	benzine
warmte	kopje hete thee
elektrische energie	stroom door een lamp
stralingsenergie	zonlicht
bewegingsenergie	wielrenner in de sprint
zwaarte-energie	hoogspringer boven de lat
veerenergie	gespannen (pijl en) boog
magnetische energie	spijker bij magneet
kernenergie	uranium



FIG. 3 De krachtexplosie van een gewichtheffer.

## Energiesoorten

De energiesoorten uit de tabel van figuur 1 ken je al. Dingen die bewegen, hebben *bewegingsenergie* (figuur 2). Een speer die door de lucht zoeft, bezit bewegingsenergie. Ook een kogel die wordt rondgeslingerd, bezit bewegingsenergie.

Dingen die kunnen vallen hebben *zwaarte-energie*. Een halter die door een gewichtheffer wordt opgetild, kan vallen. Tijdens de val krijgt de halter bewegingsenergie. Die energie ontstaat niet zomaar. De halter bezat al energie voordat deze door de gewichtheffer werd opgetild (figuur 3).

FIG. 2 Het peloton stormt in volle snelheid op de finish af.





FIG. 4 Op weg naar de top.

Andere voorbeelden zijn:

- Een hoogspringer die over de lat scheert, bezit zwaarte-energie.
- Een bergbeklimmer die tegen een bergwand hangt, bezit zwaarte-energie (figuur 4).
- Een schoonspringer op een duikplank bezit zwaarte-energie.

### Energie-omzettingen

Energie van de ene soort kan omgezet worden in energie van een andere soort. In een elektrische schakeling (figuur 5) wordt chemische energie omgezet in elektrische energie. De elektrische energie wordt omgezet in stralingsenergie en warmte. Schematisch genoteerd ziet dat er zo uit:

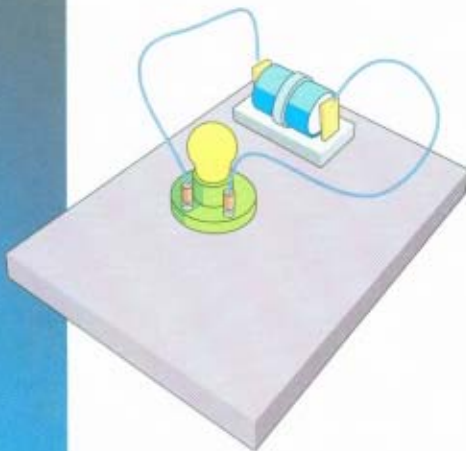


FIG. 5 Een lampje brandt op een batterij.

chemische energie  $\rightarrow$  elektrische energie  $\rightarrow$   
stralingsenergie + warmte

In het voorbeeld van de vallende halter, wordt zwaarte-energie omgezet in bewegingsenergie:

zwaarte-energie  $\rightarrow$  bewegingsenergie

Bij energie-omzettingen gaat geen energie verloren. We noemen dit de wet van behoud van energie. Soms lijkt het alsof er energie verdwijnt. Maar als je dan goed kijkt, blijkt de 'verdwenen energie' omgezet te zijn in warmte of in een andere vorm van energie. Het symbool voor energie is  $E$ . De eenheid van energie is de *joule* ( $J$ ).



- 1 **a** Noem acht soorten energie.  
**b** Welke energiesoorten zijn voorbeelden van mechanische energie?
- 2 **a** Geef drie voorbeelden uit de sportwereld van dingen met bewegingsenergie die niet in T1 staan.  
**b** Geef drie voorbeelden uit de sportwereld van dingen met zwaarte-energie die niet in T1 staan.
- 3 **a** Welke wet geldt bij energie-omzettingen?  
**b** Hoe luidt deze wet?
- 4 Geef voorbeelden uit de sport van de volgende energie-omzettingen:  
**a** Zwaarte-energie wordt omgezet in bewegings-energie.  
**b** Veerenergie wordt omgezet in bewegingsenergie.  
**c** Bewegingsenergie wordt omgezet in zwaarte-energie.  
**d** Chemische energie wordt omgezet in warmte.



FIG. 6 Een speerwerper gooit een speer weg. Let op de beweging die de speerwerper tijdens het gooien maakt.

### Arbeid

In het dagelijks leven wordt het woord *arbeid* vaak gebruikt. Het heeft iets te maken met werken of inspanning leveren. Denk maar aan lichamelijke of geestelijke arbeid.

In de natuurkunde kennen we het begrip arbeid ook. Het heeft daar een iets andere betekenis.

#### VOORBEELD 1

Een speerwerper gooit een speer weg. Hij moet daarvoor een kracht uitoefenen op de speer. Terwijl de atleet een kracht uitoefent, verplaatst hij de speer. We zeggen nu: *de kracht verricht arbeid op de speer*. Door die arbeid gaat de speer bewegen. De speer krijgt bewegingsenergie.

De *hoeveelheid arbeid* en dus de bewegingsenergie die de speer krijgt, hangt af van:

- 1 *de kracht* waarmee de speerwerper gooit;
- 2 *de afstand* waarover hij de speer verplaatst tijdens het werpen.



FIG. 7 Een gewichtheffer voor het 'uitstoten'.

Hoe groter de kracht die hij uitoefent, des te meer arbeid kan hij verrichten (en des te meer bewegings-energie krijgt de speer).

Hoe groter de afstand waarover de speer wordt verplaatst, des te meer arbeid kan hij verrichten (en des te meer bewegingsenergie krijgt de speer).

Vandaar dat speerwerpers tijdens het gooien zo'n bijzondere beweging maken. Door deze beweging wordt de afstand waarover de speer wordt verplaatst, zo groot mogelijk (figuur 6).

#### VOORBEELD 2

Een gewichtheffer tilt een halter op. Hij moet daarvoor een kracht uitoefenen (figuur 7). Deze kracht verricht arbeid. Door de verrichte arbeid wordt de zwaarte-energie van de halter groter. Je begrijpt wel dat de gewichtheffer meer arbeid moet verrichten als hij de halter hoger wil tillen. De halter wordt dan over een grotere *afstand* verplaatst.

Ook het gewicht van de halter speelt een rol. Als de halter zwaarder is, moet de gewichtheffer een grotere *kracht* uitoefenen. Ook dan verricht hij meer arbeid. De *hoeveelheid arbeid* en dus de zwaarte-energie die de halter krijgt, hangt af van:

- 1 de *kracht* waarmee de gewichtheffer tilt;
- 2 de *afstand* waarover hij de halter verplaatst tijdens het tillen.

Uit de voorbeelden blijkt dat de verrichte arbeid afhangt van:

- 1 de grootte van de *kracht*;
- 2 de *afstand* waarover de kracht werkt.

Dit geeft de volgende formule:

arbeid = kracht  $\times$  afstand

In formulevorm:

$$W = F \cdot s$$

Het symbool voor arbeid is de hoofdletter *W* (van het Engelse work). De eenheid van *F* is N. De eenheid van *s* is m. Als je deze beide vermenigvuldigt, krijg je als eenheid N·m. Volgens afspraak is dit precies gelijk aan joule. Dus onthoud:

$$1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ joule}$$

Hoe je deze formule kunt gebruiken, zie je in de volgende voorbeelden.

#### VOORBEELD 3

Een gewichtheffer tilt een halter op van 1000 N. De halter wordt 2,0 m verplaatst. Hoeveel arbeid verricht de gewichtheffer?

*Gegeven:*

$$F = 1000 \text{ N}$$

$$s = 2,0 \text{ m}$$

*Gevraagd:*

*W*

*Formule:*

$$W = F \cdot s$$

*Oplossing:*

$$W = 1000 \times 2,0 = 2000 \text{ N} \cdot \text{m}$$

De gewichtheffer heeft 2000 joule arbeid verricht (volgens afspraak is 1 Nm = 1 joule). Door de arbeid van de gewichtheffer krijgt de halter zwaarte-energie en wel 2000 J.

#### VOORBEELD 4

Een bal rolt door het gras en komt na 6,0 m stil te liggen. De bal ondervindt van het gras een (gemiddelde) wrijvingskracht van 0,5 N. Hoeveel arbeid verricht de wrijvingskracht?

FIG. 8 Bij een gewichtheffer hebben kracht en afstand dezelfde richting.



Gegeven:

$$F = 0,5 \text{ N}$$

$$s = 6,0 \text{ m}$$

Gevraagd:

$W$

Formule:

$$W = F \cdot s$$

Oplossing:

$$W = 0,5 \times 6,0 = 3,0 \text{ Nm}$$

De wrijvingskracht heeft dus 3,0 joule arbeid verricht. Door de arbeid van de wrijvingskracht neemt de bewegingsenergie van de bal af! De bewegingsenergie wordt omgezet in warmte.

Uit de voorbeelden 3 en 4 blijkt dat door het verrichten van arbeid de energie kan toenemen of afnemen. Dit hangt af van de *richting* van de kracht en de afstand waarover verplaatst wordt.

In voorbeeld 3 hebben kracht en afstand *dezelfde* richting (figuur 8). In dit geval is de arbeid *positief*: +2000 Nm. De energie van de halter neemt toe.

In voorbeeld 4 zijn kracht en afstand *tegengesteld* gericht (figuur 9). De arbeid is dan *negatief*: -3,0 Nm. De energie van de bal neemt af.

FIG. 9 Bij de rollende bal zijn wrijvingskracht en afstand tegengesteld gericht.



FIG. 10 Geen arbeid; wel inspanning.



#### ARBEID IN NATUURKUNDIGE ZIN

Aan het begin van dit theorieblad hebben we al gezegd dat de betekenis van het begrip arbeid in de natuurkunde anders is dan in het dagelijks leven. Denk maar eens aan de volgende situatie: Een gewichtheffer staat stil met een halter van 100 kg boven zijn hoofd (figuur 10). Het kost veel energie om dat vol te houden. Toch verricht de gewichtheffer natuurkundig gezien geen arbeid! De halter wordt immers niet verplaatst. Toch kost dit zichtbaar energie. Hoe kan dat? Dat heeft te maken met de werking van de spieren. Tijdens het omhoog houden van de halter spannen en ontspannen de spieren zich voortdurend. In de spieren wordt dus wel degelijk arbeid verricht. Daarbij wordt chemische energie omgezet in warmte. De zweetdruppeltjes op het voorhoofd van de gewichtheffer zijn daarvan het bewijs.

- 1 **a** Omschrijf in woorden wat er (natuurkundig gezien) bedoeld wordt met arbeid verrichten.  
**b** Geef de formule waarmee je de arbeid kunt berekenen.  
**c** Wat is de eenheid van arbeid?
- 2 Schrijf het verschil op tussen 'arbeid' in het dagelijks spraakgebruik en de natuurkundige grootte arbeid.
- 3 **a** Leg uit wanneer de geleverde arbeid positief is.  
**b** Leg uit wanneer de geleverde arbeid negatief is.  
**c** Geef een voorbeeld waarin positieve arbeid verricht wordt.  
**d** Geef een voorbeeld waarin negatieve arbeid verricht wordt.
- 4 Een gewichtheffer tilt een halter van 125 kg boven zijn hoofd. De halter wordt daarbij 2,0 m opgetild.  
**a** Welke energie-omzetting vindt plaats?  
**b** Bereken het gewicht van de halter.  
**c** Bereken de arbeid die de gewichtheffer verricht.
- 5 Bij de volgende poging van de gewichtheffer wordt de halter verzwaard tot 135 kg. De poging mislukt en de halter komt niet van zijn plaats.  
**a** Bereken opnieuw het gewicht van de halter.  
**b** Bereken de arbeid die de gewichtheffer verricht.
- 6 Een auto rijdt weg bij het stoplicht. De motor levert een kracht van 800 N. Na 100 m is de snelheid 50 km/u.  
**a** Bereken de arbeid die de motor tijdens die 100 m heeft geleverd.  
 De auto moet afremmen voor het volgende stoplicht. De remkracht is 2,0 kN. De remweg is 50 m.  
**b** Bereken de arbeid die de remkracht heeft geleverd tijdens het remmen.

FIG. 11 Bij schaatsen gaat het om de snelste tijd.



Bij veel sporten gaat het niet om de arbeid die een atleet moet leveren. Van belang is de tijd waarin die arbeid wordt geleverd. De winnaar van de 500 m schaatsen levert zijn arbeid in de kortste tijd (figuur 11). We belonen zo het vermogen van de atleet.

Het vermogen heb je leren kennen als:  
 De hoeveelheid energie die per seconde wordt geleverd of omgezet.  
 Het vermogen wordt berekend met:

$$\text{vermogen} = \frac{\text{energie die wordt geleverd of omgezet}}{\text{tijdsduur}}$$

In formulevorm:

$$P = \frac{E}{t}$$

De eenheid van vermogen is de watt (W).

Uit de formule voor het vermogen volgt:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

In woorden: één watt is één joule per seconde.



Op een gloeilamp staat bijvoorbeeld: vermogen = 40 watt. Dan betekent dit: in de lamp wordt iedere seconde 40 J elektrische energie omgezet in stralings-energie en warmte.

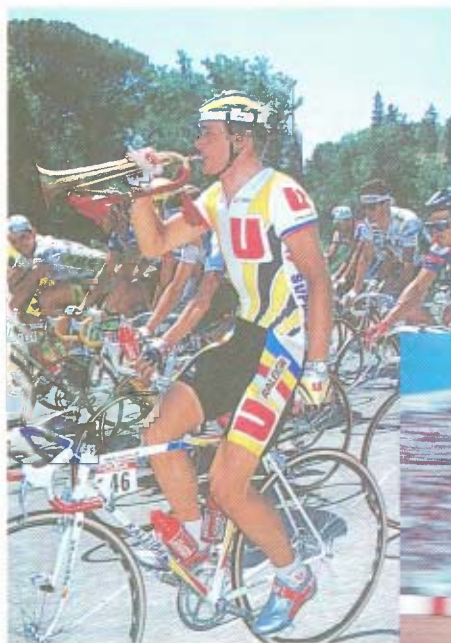
Ook bij het verrichten van arbeid kunnen we spreken over vermogen. Bij het verrichten van arbeid wordt energie omgezet. De verrichte arbeid is gelijk aan de hoeveelheid energie die wordt omgezet. We kunnen voor het vermogen dus ook schrijven:

$$\text{vermogen} = \frac{\text{verrichte arbeid}}{\text{tijdsduur}}$$

In formulevorm:

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

FIG. 12 Een 'wandeland' peloton vraagt niet veel vermogen.



Pas op als je gaat werken met deze formule. Je gebruikt twee keer de hoofdletter W. Arbeid (work) kort je af met W en de eenheid van vermogen is watt, ook afgekort met W. Hoe je deze formule kunt gebruiken, zie je in de volgende voorbeelden.

#### VOORBEELD 1

Een wielrenner heeft een vermogen van 200 W (figuur 12). De renner moet arbeid verrichten om de wrijvingskracht te overwinnen. De arbeid die de wielrenner iedere seconde verricht, is gelijk aan 200 Nm. Daarbij wordt iedere seconde 200 J chemische energie omgezet in warmte.

Je kunt het vermogen berekenen als de verrichte arbeid en de tijdsduur bekend zijn.

#### VOORBEELD 2

Kogelstootster Corrie de Bruin verricht tijdens haar stoot 75 J arbeid op de kogel. De stootactie duurt 0,3 s. Bereken haar vermogen.

Gegeven:

$$W = 75 \text{ J}$$

$$t = 0,3 \text{ s}$$

Gevraagd:

P



FIG. 13 Met volle vaart langs de tribune.

## BLOK 8 BASISSTOF

### W2

Formule:

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

Oplossing:

$$P = \frac{75}{0,3} = 250 \text{ W}$$

VOORBEELD 3

Een raceauto legt 50 m af in 1,0 s. De motor levert bij deze (constante) snelheid een vermogen van 100 kW (figuur 13). Bereken de wrijvingskracht die de raceauto bij deze snelheid ondervindt.

Gegeven:

$$s = 50 \text{ m}$$

$$t = 1,0 \text{ s}$$

$$P = 100 \text{ kW} = 100\,000 \text{ W}$$

Gevraagd:

$$F_w$$

Formules:

$$W = F \cdot s$$

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

Oplossing:

$$100\,000 = \frac{W}{1,0}$$

$$W = 100\,000 \text{ J}$$

$$100\,000 = F \times 50$$

$$F = \frac{100\,000}{50} = 2000 \text{ N}$$

De kracht die de motor levert, is gelijk aan de wrijvingskracht:  $F_w = 2000 \text{ N}$ . (De snelheid was constant!)

- 1 'Het vermogen van een automotor is 44 kW.'  
Wat wordt hiermee bedoeld?
- 2 Schrijf het verschil op tussen 'vermogen' in het dagelijks spraakgebruik en de natuurkundige grootte vermogen.
- 3 Wat is het verschil tussen het vermogen van een automotor en het vermogen van een gloeilamp?
- 4 Rintje Ritsma legt tijdens een sprint de laatste 100 m af in 8,0 s. Zijn snelheid is daarbij constant. Hij ondervindt een wrijvingskracht van 120 N.
  - a Welke energie-omzetting vindt er plaats tijdens de laatste 100 m?
  - b Bereken de arbeid die Rintje tijdens de laatste 100 m verricht.
  - c Bereken het vermogen van Rintje tijdens de laatste 100 m.
- 5 Nellie Cooman legt de 60 m indoor af in 7,00 s (figuur 14). Tijdens deze sprint levert ze een constante kracht van 140 N.
  - a Bereken de arbeid die Nellie Cooman heeft verricht.
  - b Bereken het vermogen dat ze tijdens de sprint levert.

FIG. 14 De winnende 'jump'.



- 6 Tijdens de 13 km lange klim naar Alpe d'Huez wordt een hoogteverschil van 1000 m overwonnen. Danny Nelissen klimt in precies 1,0 uur naar boven. Het gewicht van de renner met fiets is 800 N.
- a Bereken de arbeid die de zwaartekracht tijdens de klim verricht.
  - b Bereken de arbeid die Danny minstens moet verrichten.
  - c Bereken het vermogen dat hij minstens moet leveren.
  - d Waarom staat in beide voorgaande opdrachten 'minstens'?
- 7 Een automotor levert tijdens een rit van een uur een gemiddeld vermogen van 70 pk. De eenheid pk is een oude (nog veel gebruikte) eenheid van vermogen. Er geldt: 1 pk = 735 watt.
- a Reken 70 pk om in W en kW.
  - b Hoeveel energie heeft de automotor geleverd tijdens deze rit?
- In je informatieboekje vind je de verbrandingswarmte van benzine:  $33 \cdot 10^6$  J per liter.
- c Hoeveel liter benzine heeft deze rit minstens gekost?
  - d Waarom staat in de voorgaande opdracht 'minstens'?

Twee soorten energie spelen in de sport een belangrijke rol. Bij het hoogspringen komen ze samen voor: bewegingsenergie en zwaarte-energie.

In dit theorieblad leer je waar de bewegingsenergie en de zwaarte-energie van afhangen. Je leert ook met welke formules je bewegingsenergie en zwaarte-energie kunt berekenen.

### Bewegingsenergie

Een bewegend voorwerp bezit energie omdat het beweegt. We noemen deze energiesoort bewegingsenergie (ook wel kinetische energie). Afgekort  $E_k$ . Bewegingsenergie kan omgezet worden in een andere energiesoort. Daarbij wordt arbeid verricht. De hoeveelheid bewegingsenergie hangt af van twee grootheden: *massa* en *snelheid*.

Als een vrachtauto tegen een muur rijdt, dan heeft dit andere gevolgen dan wanneer een klein autootje met dezelfde snelheid tegen de muur botst. Door zijn grote massa bezit de vrachtauto meer bewegingsenergie en kan hij meer arbeid verrichten.

Het zal duidelijk zijn dat de ravage ook afhangt van de snelheid van de vrachtauto. Hoe groter de snelheid van de vrachtauto hoe meer arbeid hij kan verrichten (figuur 15).

De bewegingsenergie kan berekend worden met de volgende formule:

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

Let op de eenheden in deze formule:

$E_k$  is de bewegingsenergie in J;

$m$  is de massa in kg;

$v$  is de snelheid in m/s.





FIG. 15 Snelheid en massa bepalen samen de ravage.

#### VOORBEELD 1

Een atlete van 60 kg heeft een snelheid van 10 m/s.  
Bereken haar bewegingsenergie.

*Gegeven:*

$$m = 60 \text{ kg}$$

$$v = 10 \text{ m/s}$$

*Gevraagd:*

$$E_k$$

*Formule:*

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

*Oplossing:*

$$E_k = \frac{1}{2} \times 60 \times 10^2 = 3000 \text{ J}$$



FIG. 16 Bungee-jumping.

#### VOORBEELD 2

Een snelheids-skiër bereikt een snelheid van 216 km/u!  
Hij weegt 80 kg. Bereken zijn bewegingsenergie.

*Gegeven:*

$$m = 80 \text{ kg}$$

$$v = 216 \text{ km/u} = 60 \text{ m/s}$$

*Gevraagd:*

$$E_k$$

*Formule:*

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

*Oplossing:*

$$E_k = \frac{1}{2} \times 80 \times 60^2 = 144\,000 \text{ J} = 144 \text{ kJ}$$

### Zwaarte-energie

Een voorwerp dat kan vallen, bezit zwaarte-energie.  
Afgekort  $E_z$ . Als het voorwerp valt, wordt de zwaarte-energie omgezet in bewegingsenergie. Daarbij verricht de zwaartekracht arbeid (figuur 16).

De hoeveelheid zwaarte-energie hangt af van de *massa* van het voorwerp en de *hoogte* boven het aardoppervlak.

Je kunt de zwaarte-energie van een voorwerp berekenen met de formule:

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

Let op de eenheden in deze formule:

$E_z$  is de zwaarte-energie in J;

$m$  is de massa in kg;

$g$  is de valversnelling op aarde:  $10 \text{ m/s}^2$ ;

$h$  is de hoogte in m.

#### VOORBEELD 3

Een gewichtheffer tilt een halter van 125 kg 2,0 m hoog. Bereken de zwaarte-energie die de halter krijgt.

*Gegeven:*

$$m = 125 \text{ kg}$$

$$h = 2,0 \text{ m}$$

*Gevraagd:*

$$E_z$$

*Formule:*

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

*Oplossing:*

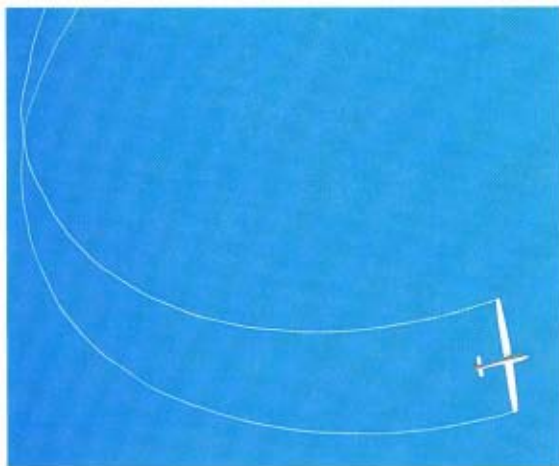
$$E_z = 125 \times 10 \times 2 = 2500 \text{ J}$$

- 1 Een kogelstoter stoot een kogel van 5,0 kg met een snelheid van 8,0 m/s weg.  
Bereken de bewegingsenergie van de kogel op het moment dat deze wordt weggestoten.
- 2 Villeneuve bereikt met zijn raceauto tijdens de 24-uursrace van Le Mans een topsnelheid van 80 m/s. De massa van de auto met bestuurder is 750 kg.  
Bereken de bewegingsenergie van de auto.
- 3 Miguel Indurain heeft tijdens een tijdrit een snelheid van 54 km/u (figuur 17). Miguel heeft een massa van 85 kg.  
Bereken de bewegingsenergie van Indurain op dat moment.
- 4 Een valschermspringster van 60 kg springt op 2,5 km hoogte uit een vliegtuig.  
Bereken de zwaarte-energie van de valschermspringster op het moment dat zij uit het vliegtuig springt.

FIG. 17 In volle concentratie.



FIG. 18 Vrij als een vogel.



- 5 De Cubaanse hoogspringer Sottemayor springt over 2,36 m. Sottemayor heeft een massa van 80 kg. Bereken de zwaarte-energie van Sottemayor als hij net boven de lat zweeft.
- 6 Een zweefvliegtuig van 360 kg heeft op een hoogte van 1,2 km een snelheid van 90 km/u (figuur 18).
  - a Bereken de bewegingsenergie van het zweefvliegtuig.
  - b Bereken de zwaarte-energie van het zweefvliegtuig.
  - c Bereken de totale mechanische energie van het zweefvliegtuig.
- 7 Carl Lewis heeft tijdens zijn race op de 100 m sprint een kinetische energie van 3750 J. Zijn massa is 75 kg. Bereken de snelheid van Lewis in m/s en in km/u.

## BLOK 8 BASISSTOF

### T4 Arbeid en energie

In dit theorieblad kijken we naar het effect van een kracht op de beweging van een voorwerp. Als een kracht op een voorwerp arbeid verricht, verandert de bewegingsenergie van het voorwerp. De verrichte arbeid is gelijk aan de verandering van de bewegingsenergie.

#### VOORBEELD 1

Als een kogelstoter een kogel wegstoot, verricht zijn kracht arbeid op de kogel. De kogelstoter gebruikt voor deze arbeid chemische energie. Door de verrichte arbeid krijgt de kogel bewegingsenergie. Uit dit voorbeeld blijkt dat er bij het verrichten van arbeid energie wordt omgezet. De kogelstoter zet chemische energie om in bewegingsenergie. (Hier verwaarlozen we de wrijvingskrachten, want anders ontstaat er ook nog warmte.)

Volgens de wet van behoud van energie is de chemische energie die de kogelstoter gebruikt, gelijk aan de arbeid die zijn kracht verricht. Die arbeid is vervolgens gelijk aan de toename van de bewegingsenergie van de kogel:

$$\text{afname chemische energie} = \text{arbeid} = \text{toename bewegingsenergie}$$

Dus de arbeid die de kracht van de kogelstoter op de kogel verricht, is gelijk aan de toename van de bewegingsenergie van de kogel. In formulevorm:

$$W = \Delta E_k$$

#### VOORBEELD 2

Een verspringster die na de sprong in de bak belandt, remt af. Daarbij verricht de wrijvingskracht arbeid. Als een wrijvingskracht arbeid verricht, ontstaat er altijd warmte. Er wordt bewegingsenergie omgezet in warmte.



Volgens de wet van behoud van energie is de afname van de bewegingsenergie van de verspringster gelijk aan de arbeid die de wrijvingskracht verricht. Die arbeid is vervolgens gelijk aan de toename van de warmte:

afname bewegingsenergie = arbeid = toename warmte

Dus de arbeid die de wrijvingskracht verricht, is gelijk aan de afname van de bewegingsenergie van de verspringster. Ook nu geldt weer de formule  $W = \Delta E_k$ .

Meestal schrijven we deze formule anders:

$$W = \Delta E_k$$

$$F \cdot s = E_{k,\text{eind}} - E_{k,\text{begin}}$$

$$F \cdot s = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

FIG. 19 Koeman: de schrik van elke keeper.



### VOORBEELD 3

Ronald Koeman neemt een vrije trap. (De bal ligt dus stil.) De bal verlaat zijn voet met een snelheid van 108 km/u. Tijdens de vrije trap maken bal en voet over 0,4 m contact (figuur 19). De bal weegt 0,5 kg. Bereken de kracht die Koeman tijdens deze vrije trap uitoefent.

*Gegeven:*

$$s = 0,4 \text{ m}$$

$$m = 0,5 \text{ kg}$$

$$v_e = 108 \text{ km/u} = 30 \text{ m/s}$$

$$v_b = 0 \text{ m/s}$$

*Gevraagd:*

$F$

*Formule:*

$$F \cdot s = \frac{1}{2} m \cdot v_e^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_b^2$$

*Oplossing:*

$$F \times 0,4 = \frac{1}{2} \times 0,5 \times 30^2 - \frac{1}{2} \times 0,5 \times 0^2$$

$$F \times 0,4 = 225 - 0$$

$$F \times 0,4 = 225$$

$$F = \frac{225}{0,4} = 562,6 \text{ N}$$

De turbo-dijen van Koeman leveren dus een fikse kracht!



FIG. 20 Een kogelstootster in actie.

#### VOORBEELD 4

Een kogelstootster oefent tijdens de stoot een kracht uit van 540 N. De kogel van 5,0 kg wordt daarbij over een afstand van 1,5 m verplaatst. Voordat de kogel weggestoten wordt, maakt de atlete een ronddraaiende beweging (figuur 20). Daardoor heeft de kogel aan het begin van de stoot al een snelheid van 6,0 m/s. Bereken de snelheid van de kogel na de stoot.

*Gegeven:*

$$F = 540 \text{ N}$$

$$s = 1,5 \text{ m}$$

$$m = 5,0 \text{ kg}$$

$$v_b = 6,0 \text{ m/s}$$

*Gevraagd:*

$F$



FIG. 21 De landing in de zandbak.

*Formule:*

$$Fs = \frac{1}{2} m \cdot v_e^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_b^2$$

*Oplossing:*

$$540 \times 1,5 = \frac{1}{2} \times 5,0 \times v_e^2 - \frac{1}{2} \times 5,0 \times 6,0^2$$

$$810 = 2,5 \times v_e^2 - 90$$

$$810 + 90 = 2,5 \times v_e^2 \text{ (Pas op!)}$$

$$900 = 2,5 \times v_e^2$$

$$v_e^2 = \frac{900}{2,5} = 360$$

$$v_e = 19 \text{ m/s}$$

De moeilijkste stap zit in de regel met: Pas op! Het getal -90 verhuist naar de andere kant van het = teken en wordt +90. Bij het oplossen van vergelijkingen in de wiskunde doe je dit heel vaak.

#### VOORBEELD 5

Een verspringster van 60 kg landt met een snelheid van 10 m/s in de zandbak. Uit de afdruk in het zand blijkt dat bij de landing het afremmen tot stilstand plaatsvindt over een afstand van 0,8 m (figuur 21). Bereken de grootte van de wrijvingskracht.

Gegeven:

$$s = 0,8 \text{ m}$$

$$m = 60 \text{ kg}$$

$$v_e = 0 \text{ m/s}$$

$$v_b = 10 \text{ m/s}$$

Gevraagd:

$F$

Formule:

$$F \cdot s = \frac{1}{2} m \cdot v_e^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_b^2$$

Oplossing:

$$F \times 0,8 = \frac{1}{2} \times 60 \times 0^2 - \frac{1}{2} \times 60 \times 10^2$$

$$F \times 0,8 = 0 - 3000$$

$$F = \frac{-3000}{0,8} = -3750 \text{ N}$$

De min in het antwoord ontstaat doordat we hier te maken hebben met een *afname* van de bewegingsenergie. In voorbeeld 2 is dit uitgelegd. Onthoud dus goed: bij remmen/botsen is de kracht *negatief*.

- 1 Tijdens de start van de 500 m schaatsen oefent Gunda Niemann gedurende 20 m een (gemiddelde) kracht van 160 N uit op het ijs. De rijdster heeft een massa van 64 kg.
  - a Bereken de arbeid die de rijdster verricht gedurende de eerste 20 m.
  - b Bereken de snelheid van de rijdster na 20 m als alle arbeid wordt omgezet in bewegingsenergie.
- 2 Een speerwerpster gooit een speer van 600 g weg met een kracht van 100 N. De kracht op de speer werkt over een afstand van 1,75 m. Door de aanloop heeft de speer vóór de worp al een snelheid van 5,0 m/s. Bereken de snelheid van de speer na de worp.
- 3 Bij een vrije slag krijgt de hockeybal van 150 g een snelheid van 90 km/u. Tijdens de slag wordt de bal over 30 cm verplaatst. Bereken de (gemiddelde) kracht op de bal tijdens de slag.
- 4 Bij de start van de Grand Prix van Monaco bereikt Damon Hill met zijn raceauto na 5,0 s een snelheid van 108 km/u. De auto (met bestuurder) van 400 kg legt daarbij 75 m af.
  - a Bereken de bewegingsenergie van de raceauto 5,0 s na de start.
  - b Bereken het vermogen van de motor als alle arbeid bij de start wordt omgezet in bewegingsenergie. Het werkelijk geleverde vermogen is veel groter: 180 kW.
  - c Bereken het rendement van deze motor.
  - d Bereken de kracht die de motor levert tijdens de start.



## T5 Hoogspringen

- 5 Tijdens een sprint passeert Jalabert met een snelheid van 72 km/u als eerste de finish. De massa van de renner met fiets is 80 kg.
- a** Bereken de bewegingsenergie van de renner als hij de finish passeert.
- Na de finish knijpt de wielrenner in de remmen en komt na 25 m tot stilstand.
- b** Bereken de grootte van de remkracht.
- 6 Een auto van 900 kg rijdt met een snelheid van 54 km/u. De automobilist voert de snelheid op tot 90 km/u. De motor levert daarbij een kracht van 1000 N. Je mag de wrijving verwaarlozen. Bereken de afstand die de auto aflegt tijdens het versnellen.
- 7 Door plotseling optredende gladheid bots je met de auto van je vader frontaal tegen een boom. De auto wordt daarbij 1,0 m korter. De snelheid voor de botsing bedraagt 108 km/u en je massa is 60 kg. Bereken de kracht die de veiligheidsgordel op je uitoefent tijdens de botsing.

Er zijn verschillende soorten energie. Energie van de ene soort kan omgezet worden in energie van een andere soort. Bij iedere energie-omzetting geldt de wet van behoud van energie:

energie vóór de omzetting = energie ná de omzetting

### VOORBEELD 1

Als een boogschutter met zijn boog een pijl wegschiet, wordt er veerenergie omgezet in bewegingsenergie. De hoeveelheid bewegingsenergie die de pijl krijgt, is gelijk aan de veerenergie die aanwezig was in de boog.

### Wet van behoud van mechanische energie

Een energie-omzetting die bij veel sporten voorkomt, is de omzetting van zwaarte-energie in bewegingsenergie en omgekeerd.

### VOORBEELD 2

Na de afzet van een hoogspringer wordt bewegingsenergie omgezet in zwaarte-energie. Als hij eenmaal over de lat is, wordt zijn zwaarte-energie weer omgezet in bewegingsenergie.

Ook voor deze energie-omzetting geldt de wet van behoud van energie.

Omdat zwaarte-energie ( $E_z$ ) en bewegingsenergie ( $E_k$ ) twee vormen van mechanische energie zijn, spreken we bij de omzetting van zwaarte-energie in bewegingsenergie (en omgekeerd) over de wet van behoud van *mechanische* energie:

*De totale hoeveelheid mechanische energie blijft behouden.*

Je kunt de wet van behoud van mechanische energie ook in formulevorm schrijven:

$$E_k + E_z = \text{constant}$$

òf:

$$(E_k + E_z)_{\text{begin}} = (E_k + E_z)_{\text{eind}}$$

Als je de wet van behoud van mechanische energie gebruikt, mag alleen de zwaartekracht werken (arbeid verrichten). De wrijving moet te verwaarlozen zijn, zodat er geen warmte ontstaat.

FIG. 22 Een geslaagde poging.



#### VOORBEELD 3

Een hoogspringer scheert met verwaarloosbare snelheid over de lat. De afstand tussen de lat en het kussen is 1,8 m (figuur 22).

Bereken de snelheid waarmee de hoogspringer op het kussen terechtkomt.

*Gegeven:*

Boven de lat hebben we de beginsituatie en beneden op het kussen de eindsituatie. Dus:

$$h_b = 1,8 \text{ m}$$

$$h_e = 0 \text{ m}$$

$$v_b = 0 \text{ m/s}$$

*Gevraagd:*

$$v_e$$

*Formule:*

$$(E_k + E_z)_{\text{begin}} = (E_k + E_z)_{\text{eind}}$$

*Oplossing:*

$$\frac{1}{2} \times m \times 0^2 + m \times 10 \times 1,8 = \frac{1}{2} m \cdot v_e^2 + m \times 10 \times 0$$

$$0 + 18 \times m = \frac{1}{2} m \cdot v_e^2 + 0$$

Als we links en rechts delen door  $m$ , vinden we:

$$18 = \frac{1}{2} v_e^2$$

$$v_e^2 = 36$$

$$v_e = 6,0 \text{ m/s}$$

#### VOORBEELD 4

Basketballer Michael 'Air' Jordan kan vanuit stilstand enorm hoog springen (vandaar zijn bijnaam). Hij zet zich af van de grond met een snelheid van 4,7 m/s. Hij springt recht omhoog, dus op het hoogste punt is zijn snelheid 0 m/s.

Hoe hoog springt Michael?

*Gegeven:*

De beginsituatie is op de grond, de eindsituatie op het hoogste punt.

$$h_b = 0 \text{ m}$$

$$v_b = 4,7 \text{ m/s}$$

$$v_e = 0 \text{ m/s}$$

*Gevraagd:*

$$h_e$$

*Formule:*

$$(E_k + E_z)_{\text{begin}} = (E_k + E_z)_{\text{eind}}$$

*Oplossing:*

$$\frac{1}{2} \times m \times 4,7^2 + m \times 10 \times 0 = \frac{1}{2} \times m \times 0^2 + m \times 10 \times h_e$$

$$\frac{1}{2} \times m \times 4,7^2 + 0 = 0 + m \times 10 \times h_e$$

Links en rechts delen door m levert op:

$$\frac{1}{2} \times 22,09 = 10 \times h_e$$

$$h_e = \frac{11,045}{10} = 1,1 \text{ m}$$

Probeer nu zelf eens hoe hoog je kunt komen.

In de hiernavolgende opgaven mag je de wrijving verwaarlozen, tenzij anders staat aangegeven.

- 1 Schoonspringster Daphne Jongejans duikt vanuit stilstand van een 10 m hoge toren.  
Bereken de snelheid waarmee zij in het water terecht komt.
- 2 De wereldrecordhouder polsstokhoogspringen Sergei Boebka scheert met een verwaarloosbare snelheid over de lat op 6,20 m hoogte.  
Bereken de snelheid waarmee hij zich heeft afzet.
- 3 Steffie Graf gooit bij de service de bal met een snelheid van 5,0 m/s omhoog.  
Bereken de hoogte die de bal bereikt als deze op een hoogte van 1,9 m wordt losgelaten.
- 4 Bij de huldiging van Michael Schumacher na een Grand Prix zege schiet de kurk uit de champagne-fles. De kurk gaat 5,0 m recht omhoog (figuur 23).  
Bereken de snelheid waarmee de kurk uit de fles schiet.

FIG. 23 Na de finish knalt de kurk.

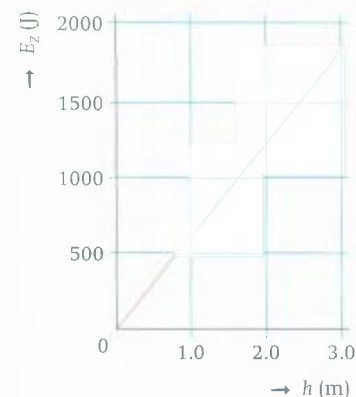




FIG. 24 Het 'muurtje' bij een vrije trap.



FIG. 25 Het verband tussen de zwaarte-energie en de hoogte.



- 5 Bij een vrije trap van Frank de Boer krijgt een voetbal van 500 g een snelheid van 25 m/s (figuur 24). In het hoogste punt heeft de bal nog een (horizontale) snelheid van 24 m/s. Bereken de grootste hoogte die de bal bereikt.
- 6 De viermansbobslee van Zwitserland heeft na de aanloop een snelheid van 5,0 m/s. Na 250 m heeft de slee een snelheid van 30 m/s. Bereken het hoogteverschil over de eerste 250 m.
- 7 Daphne Jongejans duikt vanuit stilstand van de 3m-plank. In het diagram (figuur 25) is de zwaarte-energie uitgezet tegen de hoogte.
  - a Bepaal met behulp van het diagram de massa van Daphne.
  - b Neem het diagram over en teken hierin de grafiek die het verband geeft tussen haar bewegings-energie en de hoogte.
  - c Teken in hetzelfde diagram de grafiek die het verband geeft tussen haar totale mechanische energie ( $E_z + E_k$ ) en de hoogte.

# H1 Begrippen uit dit blok

In dit herhaalblad zetten we de begrippen uit dit blok nog eens op een rijtje. Bij elk begrip staat een aantal oefenopgaven.

## Arbeid

Een kracht verricht alleen arbeid op een voorwerp, als het voorwerp beweegt.

Het symbool voor arbeid is  $W$  (van work).

De arbeid bereken je met:

$$W = F \cdot s$$

In deze formule is:

$F$  = de grootte van de kracht in N;

$s$  = de verplaatsing (afstand) in m;

$W$  = de arbeid in Nm (= J).

De arbeid is positief als  $F$  en  $s$  dezelfde richting hebben.

De arbeid is negatief als  $F$  en  $s$  tegengesteld gericht zijn.

Voor het verrichten van arbeid is energie nodig (chemische energie bijvoorbeeld). De energie wordt (meestal) omgezet in andere energiesoorten (bewegingsenergie, zwaarte-energie, warmte).

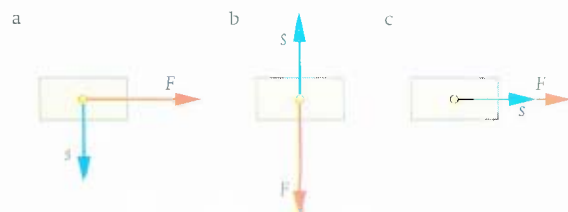
- 1 In figuur 26 zie je drie blokjes getekend. De richtingen van de kracht op het blokje en van de verplaatsing zijn in de tekeningen aangegeven.

**a** In welke tekening(en) is de arbeid positief?

**b** In welke tekening(en) is de arbeid negatief?

**c** In welke tekening(en) verricht de kracht geen arbeid?

FIG. 26 Drie blokjes waarop een kracht werkt.



- 2 Een kracht van 5,0 N zorgt voor een verplaatsing van 3,0 m in de richting van de kracht. Bereken de arbeid die de kracht verricht.
- 3 Marlies gooit een bal omhoog. De bal stijgt over een hoogte van 6,0 m. De zwaartekracht op de bal is 3,0 N. Bereken de arbeid die de zwaartekracht verricht:  
**a** tot de bal het hoogste punt bereikt;  
**b** tot Marlies de bal weer opvangt.
- 4 Als een auto wegrijdt bij een verkeerslicht, verricht de motor arbeid. Welke energie-omzetting vindt plaats bij het wegrijden?
- 5 Sergei Boebka springt met de polsstok over de lat op 6,0 m hoogte.  
**a** Welke krachten verrichten arbeid bij de sprong?  
**b** Welke energie-omzettingen vinden plaats tijdens de sprong?

## Vermogen

Het vermogen van een kracht is de arbeid die de kracht per seconde verricht.

Het symbool voor vermogen is  $P$  (van power).

Het vermogen bereken je met:

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

In deze formule is:

$W$  = de verrichte arbeid in J;

$t$  = de tijdsduur in s;

$P$  = het vermogen in J/s (= W).

Het vermogen van een apparaat is de hoeveelheid energie die dit apparaat per seconde omzet.

Dit bereken je met:

$$P = \frac{E}{t}$$

In deze formule is:

$E$  = de omgezette energie in J;

$t$  = de tijdsduur in s;

$P$  = het vermogen in J/s (= W).

- 6** Een kracht verricht 20 J arbeid in 5,0 s.  
Bereken het vermogen van de kracht.
- 7** Een kracht van 500 N verplaatst in 8,0 s een voorwerp over een afstand van 16 m.  
**a** Bereken de arbeid die de kracht verricht.  
**b** Bereken het geleverde vermogen.
- 8** Na het startschot oefent Carl Lewis gedurende 1,4 s een (gemiddelde) kracht uit van 200 N. Hij legt een afstand van 10 m af.  
**a** Bereken de arbeid die Carl Lewis tijdens de eerste 10 m verricht.  
**b** Bereken het geleverde vermogen bij de start.

## Bewegingsenergie

Een voorwerp dat beweegt bezit bewegingsenergie. Bewegingsenergie wordt ook wel kinetische energie genoemd.

Het symbool voor bewegingsenergie is  $E_k$ .

De bewegingsenergie bereken je met:

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

In deze formule is:

$m$  = de massa van het voorwerp in kg;

$v$  = de snelheid van het voorwerp in m/s;

$E_k$  = de bewegingsenergie van het voorwerp in J.

- 9** Een auto (massa met bestuurder = 900 kg) heeft een snelheid van 30 m/s.  
Bereken de bewegingsenergie van de auto.
- 10** Een hockeybal van 150 g heeft een snelheid van 54 km/u.  
Bereken de bewegingsenergie van de hockeybal.

## Zwaarte-energie

Een voorwerp bezit zwaarte-energie als het kan vallen (of aan het vallen is).

Het symbool voor zwaarte-energie is  $E_z$ .

De zwaarte-energie bereken je met:

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

In deze formule is:

$m$  = de massa van het voorwerp in kg;

$g$  = de valversnelling = 10 m/s<sup>2</sup> (afgerond);

$h$  = de hoogte in m;

$E_z$  = de zwaarte-energie in J.

- 11** Een vaas van 2,5 kg staat boven op een 2,0 m hoge kast.  
Bereken de zwaarte-energie van de vaas.
- 12** Een boek van 500 g ligt op een 90 cm hoge tafel.  
Bereken de zwaarte-energie van het boek.

## Wet van behoud van mechanische energie

De wet van behoud van mechanische energie is een bijzonder geval van de wet van behoud van energie (energie gaat nooit verloren).

De wet van behoud van mechanische energie mag je *alleen toepassen als er bewegingsenergie wordt omgezet in zwaarte-energie en omgekeerd*. Dus alleen als iets *omhoog of omlaag* beweegt. De zwaartekracht is de enige kracht die arbeid verricht. (Dus er mag geen warmte ontstaan door wrijving).

De wet van behoud van mechanische energie luidt: bewegingsenergie plus zwaarte-energie is constant.

In formulevorm:

$$E_k + E_z = \text{constant}$$

of:

$$(E_k + E_z)_{\text{begin}} = (E_k + E_z)_{\text{eind}}$$

FIG. 27 Een schoonspringster tijdens haar sprong.



- 13** Een schoonspringster van 60 kg staat op een 10 m hoge springtoren (figuur 27).
- a** Bereken de zwaarte-energie van de schoonspringster op de toren.
  - b** Hoe groot is haar bewegingsenergie op de toren?
  - c** Bereken  $E_k + E_z$ .
- De schoonspringster duikt naar beneden. Neem aan dat er geen wrijving is tijdens de sprong.
- d** Hoe groot is  $E_z$  als ze het water raakt?
  - e** Hoe groot is dan  $E_k$ ?
  - f** Bereken de snelheid waarmee de schoonspringster in het water duikt.
- Neem nu aan dat er wel wrijving is.
- g** Is  $E_k$  als ze het water raakt nu groter dan, gelijk aan of kleiner dan het antwoord op **e**? Licht je antwoord toe.
- 14** Een hoogspringer van 75 kg zet af met een snelheid van 7,0 m/s. De wrijving tijdens de sprong is te verwaarlozen.
- a** Bereken de maximale hoogte die de hoogspringer met deze snelheid kan bereiken.
- De hoogspringer scheert over de lat op 2,0 m.
- b** Bereken de snelheid waarmee hij over de lat scheert.

## BLOK 8 HERHAALSTOF

### H2 Oefenen, oefenen, oefenen,....

In dit herhaalblad ga je oefenen met het maken van opgaven.

Voor het maken van de opgaven is het noodzakelijk:

- dat je de begrippen die in de opgaven voorkomen goed kent;
- dat je weet welke formules je moet gebruiken.

Beantwoord daarom eerst de onderstaande vragen voor je aan de opgaven begint. Als je een vraag niet kunt beantwoorden, kijk dan eerst H1 door.

- 1** Met welke formule bereken je de arbeid die een kracht verricht?
- 2** Met welke formule bereken je het vermogen?
- 3** Wat is bewegingsenergie?
- 4** Met welke formule bereken je de bewegingsenergie?
- 5** Wat is zwaarte-energie?
- 6** Met welke formule bereken je de zwaarte-energie?
- 7** Hoe luidt de wet van behoud van mechanische energie?
- 8** Hoe schrijf je deze wet in formulevorm?

Voor we verdergaan bekijken we eerst nog eens goed de volgende twee voorbeelden.



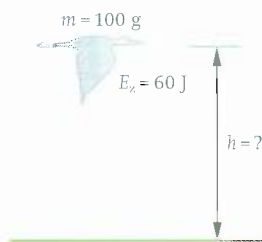


FIG. 28 Een vogel vliegt door de lucht.

#### VOORBEELD 1

Een vogel van 100 g heeft een zwaarte-energie van 60 J. Bereken de hoogte waarop de vogel vliegt. We maken eerst een tekening (figuur 28).

*Gegeven:*

$$m = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$$

$$E_z = 60 \text{ J}$$

*Gevraagd:*

$h$

*Formule:*

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

*Oplossing:*

$$60 = 0,1 \times 10 \times h$$

$$h = \frac{60}{1} = 60 \text{ m}$$

De vogel vliegt dus op een hoogte van 60 m.

#### VOORBEELD 2

Een voetballer schopt een bal met een snelheid van 8,0 m/s loodrecht omhoog. Bereken hoe hoog de bal komt als je de wrijving mag verwaarlozen.

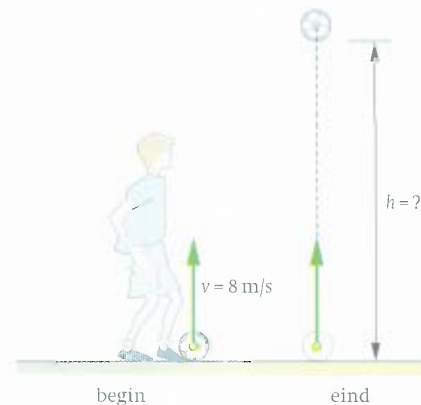


FIG. 29 Een bal wordt omhoog geschoot.

We maken eerst een tekening van de begin- en eind-situatie (figuur 29).

*Gegeven:*

De beginsituatie is op de grond, de eindsituatie in het hoogste punt.

$$h_b = 0 \text{ m}$$

$$v_b = 8,0 \text{ m/s}$$

$$v_e = 0 \text{ m/s}$$

*Gevraagd:*

$h_e$

*Formule:*

$$(E_k + E_z)_{\text{begin}} = (E_k + E_z)_{\text{eind}}$$

*Oplossing:*

$$\frac{1}{2} \times m \times 8,0^2 + m \times 10 \times 0 = \frac{1}{2} \times m \times 0^2 + m \times 10 \times h_e$$

$$\frac{1}{2} \times m \times 64 + 0 = 0 + m \times 10 \times h_e$$

Links en rechts delen door  $m$  geeft:

$$\frac{1}{2} \times 64 = 10 \times h_e$$

$$h_e = \frac{32}{10} = 3,2 \text{ m}$$

In dit voorbeeld zie je de wet van behoud van mechanische energie toegepast: er wordt bewegingsenergie omgezet in zwaarte-energie en er is geen wrijving. De zwaarte-energie in het laagste punt is *nul*. De bewegingsenergie in het hoogste punt is *nul*.

Bij het maken van de volgende opgaven mag je de wrijving verwaarlozen, tenzij anders staat aangegeven.

FIG. 30 Een klap op de 'Kop van Jut'.



- 9 Bij een snelheid van 8,0 m/s heeft een atlete een bewegingsenergie van 1,6 kJ.  
Bereken de massa van de atlete.
- 10 Bij de start van de 500 m bereikt een schaatser van 80 kg na 40 m een snelheid van 10 m/s.  
Bereken de (gemiddelde) kracht die de schaatser de eerste 40 m uitoefent.
- 11 Een gewichtheffer tilt in 5,0 s een halter van 125 kg boven zijn hoofd, 2,0 m boven de grond.  
Bereken het (gemiddelde) vermogen dat de gewichtheffer levert.
- 12 Tijdens een trekkertrekwedstrijd legt een trekker in 5,0 s met constante snelheid een afstand van 50 m af. De trekkermotor levert daarbij een vermogen van 15 kW om de wrijvingskracht te overwinnen.  
Bereken de grootte van de wrijvingskracht.
- 13 Een skischansspringer heeft bij de afzet aan het eind van de schans een snelheid van 90 km/u.  
Bereken de hoogte van de schans.
- 14 Een hoogspringer met een massa van 60 kg heeft bij de afzet een bewegingsenergie van 1200 J.  
Bereken de hoogte die hij met deze afzet maximaal kan bereiken.
- 15 Op de kermis slaat Wieke met een flinke klap op de 'Kop van Jut' (figuur 30). Daardoor schiet de wijzer met een snelheid van 12 m/s omhoog. De 'Kop van Jut' is 4,7 m hoog.  
Bereken de snelheid waarmee de wijzer tegen de bel aan de bovenkant slaat.

### H3 Oefenen met examenopgaven

- 1 Een auto met een massa van 800 kg rijdt met een snelheid van 20 m/s. Gedurende 20 s ondervindt de auto een versnelling van  $0,5 \text{ m/s}^2$ .
  - a Bereken de bewegingsenergie van de auto aan het *begin* van de beweging.
  - b Bereken de bewegingsenergie van de auto aan het *eind* van de beweging.
  
- 2 Een helikopter met een massa van 2500 kg bevindt zich op een hoogte van 16 m boven de grond. De helikopter blijft op dezelfde plaats (figuur 31).
  - a Bereken de verticale kracht die nodig is om de helikopter op een hoogte van 16 m te houden.
  - b Bereken de zwaarte-energie van de helikopter op die hoogte.
  - c Bereken de bewegingsenergie van de helikopter op die hoogte.
  
- 3 Een schoonspringer laat zich op 10 m boven het wateroppervlak van een duiktoren vallen. Zijn massa is 60 kg. De weerstand die hij tijdens de val van de lucht ondervindt, wordt verwaarloosd. Ook met de lengte van de springer wordt geen rekening gehouden.
  - a Berekeneer of tijdens de val zijn zwaarte-energie ten opzichte van het wateroppervlak toe- of afneemt.
  - b Bereken het verschil in zwaarte-energie tussen het punt vanwaar hij vertrekt en het punt waar hij in het water komt.
  - c Bereken de snelheid van de springer op het moment dat hij het water bereikt.

FIG. 31 Een helikopter hangt stil in de lucht.



FIG. 32 Peter op de schommel.



- 4** Een speelgoedauto wordt aangedreven door een elektromotortje met een vermogen van 5,0 W.
- a** Bereken de arbeid die het motortje in 1,0 s levert. De topsnelheid van de auto op een gladde vloer is 2,5 m/s.
- b** Bereken de kracht die het motortje op topsnelheid uitoefent.
- 5** Een hockeyspeler slaat een bal weg met een snelheid van 72 km/u. De bal heeft een massa van 0,15 kg. Na precies 40 m komt de bal tot stilstand. Bereken de gemiddelde wrijvingskracht die de bal heeft ondervonden.
- 6** Peter is aan het schommelen. Op het hoogste punt ligt het zwaartepunt Z van Peter en de schommel 1,25 m hoger dan in het laagste punt (figuur 32). Bereken de snelheid van Peter in het laagste punt. (Verwaarloos de wrijving.)